

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

**“RADIACIÓN IONIZANTE EN EL PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO”**

Estudio descriptivo prospectivo realizado en el departamento de radiología de los hospitales:  
General San Juan de Dios, Roosevelt, Regional de Cuilapa, Santa Rosa; General de Enfermedades,  
“Dr. Juan José Arévalo Bermejo” y General de Accidentes “El Ceibal” del Instituto  
Guatemalteco de Seguridad Social -IGSS-

Tesis

Presentada a la Honorable Junta Directiva  
de la Facultad de Ciencias Médicas de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**José Rodríguez Morales Corado  
Juan Pablo Fernández Batres  
Kevin José González Urrutia  
Allan Fernando Godínez Muralles  
Luis Carlos Chocón Chete  
Eduardo David Gálvez Estrada**

**Médico y Cirujano**

Guatemala, septiembre de 2019

El infrascrito Decano y el Coordinador de la Coordinación de Trabajos de Graduación –COTRAG-, de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, hacen constar que:

Los bachilleres:

- |                                    |           |               |
|------------------------------------|-----------|---------------|
| 1. José Rodríguez Morales Corado   | 201210044 | 2375769370101 |
| 2. Juan Pablo Fernández Batres     | 201310028 | 2326614561001 |
| 3. Kevin José González Urrutia     | 201310072 | 2341942190101 |
| 4. Allan Fernando Godínez Muralles | 201310087 | 2493654130101 |
| 5. Luis Carlos Chocón Chete        | 201310129 | 2681932230103 |
| 6. Eduardo David Gálvez Estrada    | 201310173 | 2334988930101 |

Cumplieron con los requisitos solicitados por esta Facultad, previo a optar al título de Médico y Cirujano en el grado de licenciatura, y habiendo presentado el trabajo de graduación titulado:

#### "RADIACIÓN IONIZANTE EN EL PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO"

Estudio descriptivo prospectivo realizado en el departamento de radiología de los hospitales: General San Juan de Dios, Roosevelt, Regional de Cuilapa, Santa Rosa; General de Enfermedades, "Dr. Juan José Arévalo Bermejo" y General de Accidentes "El Ceibal" del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social -IGSS-

Trabajo asesorado por el Dr. Edi Amilcar Rodríguez Pérez y revisado por la Dra. Lucía Eleonora Terrón Gómez, quienes avalan y firman conformes. Por lo anterior, se emite, firman y sellan la presente:

#### ORDEN DE IMPRESIÓN

En la Ciudad de Guatemala, el cuatro de septiembre del dos mil diecinueve

César O. García G.  
Doctor en Salud Pública  
Colegiado 5,950

Dr. C. César Osvaldo García García  
Coordinador



Vo.Bo.  
Dr. Jorge Fernando Orellana Oliva  
Decano



El infrascrito Coordinador de la COTRAG de la Facultad de Ciencias Médicas, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, HACE CONSTAR que los estudiantes:

- |                                    |           |               |
|------------------------------------|-----------|---------------|
| 1. José Rodrigo Morales Corado     | 201210044 | 2375769370101 |
| 2. Juan Pablo Fernández Batres     | 201310028 | 2326614561001 |
| 3. Kevin José González Urrutia     | 201310072 | 2341942190101 |
| 4. Allan Fernando Godínez Muralles | 201310087 | 2493654130101 |
| 5. Luis Carlos Chocón Chete        | 201310129 | 2681932230103 |
| 6. Eduardo David Gálvez Estrada    | 201310173 | 2334988930101 |

Presentaron el trabajo de graduación titulado:

**"RADIACIÓN IONIZANTE EN EL PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO"**

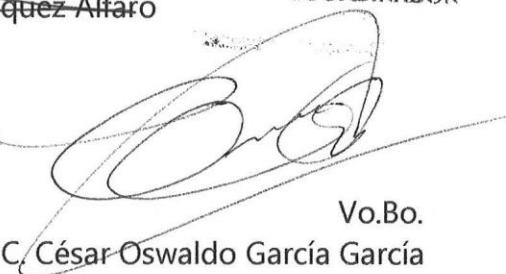
Estudio descriptivo prospectivo realizado en el departamento de radiología de los hospitales: General San Juan de Dios, Roosevelt, Regional de Cuilapa, Santa Rosa; General de Enfermedades, "Dr. Juan José Arévalo Bermejo" y General de Accidentes "El Ceibal" del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social -IGSS-

El cual ha sido revisado por la Dra. María Estela del Rosario Vásquez Alfaro, y al establecer que cumple con los requisitos establecidos por esta Coordinación, se les AUTORIZA continuar con los trámites correspondientes para someterse al Examen General Público. Dado en la Ciudad de Guatemala, a los cuatro días de septiembre del año dos mil diecinueve.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
Dra. María Estela del Rosario Vásquez Alfaro  
Profesor Revisor



  
César O. García G.  
Doctor en Salud Pública  
Colegiado 5,950  
Dr. C. César Oswaldo García García  
Coordinador  
Vo.Bo.

Guatemala, 03 de septiembre del 2019

Doctor  
César Oswaldo García García  
Coordinado de la COTRAG  
Facultad de Ciencias Médicas  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Dr. García:

Le informamos que nosotros:

1. José Rodrigo Morales Corado
2. Juan Pablo Fernández Batres
3. Kevin José González Urrutia
4. Allan Fernando Godínez Muralles
5. Luis Carlos Chocón Chete
6. Eduardo David Gálvez Estrada



Presentamos el trabajo de graduación titulado:

#### "RADIACIÓN IONIZANTE EN EL PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO"

Estudio descriptivo prospectivo realizado en el departamento de radiología de los hospitales:  
General San Juan de Dios, Roosevelt, Regional de Cuilapa, Santa Rosa; General de Enfermedades,  
"Dr. Juan José Arévalo Bermejo" y General de Accidentes "El Ceibal" del Instituto  
Guatemalteco de Seguridad Social -IGSS-

Del cual el asesor, co-asesor y la revisora se responsabilizan de la metodología,  
confiabilidad y validez de los datos, así como de los resultados obtenidos y de la  
pertinencia de las conclusiones y recomendaciones propuestas.

#### FIRMAS Y SELLOS PROFESIONALES

Asesor: Dr. Edi Amilcar Rodríguez Pérez

Revisora: Dra. Lucía Eleonora Terrón Gómez

Registro de personal 20020751

Dr. Edi A. Rodríguez P.  
MEDICO RADIOLOGO  
COL. No. 10,592

  
Lucía Eleonora Terrón Gómez  
MÉDICA Y CIRUJANA  
COLEGIADA N°. 11,111



Dra. César Oswaldo García García, Coordinador

Ve.Bo.

## **Dedicatoria**

**A mis padres:** A mi madre, quien ha sido el soporte emocional a través de toda mi vida a pesar de las adversidades que hemos enfrentado. A mi padre quien ha sido el soporte económico de toda la familia y a pesar de su personalidad siempre nos apoyó en los momentos difíciles.

**A mi hermano y abuelo:** A mi hermano, quien ha sido mi ejemplo a seguir con su dedicación, esfuerzo y por seguir su propio camino. A mi abuelo, quien a pesar de los quebrantos de salud que ha presentado este año, ha perseverado con tal de verme graduado.

**A mi novia:** Andrea Rodas, con quien puedo actuar sin filtros y hablar honestamente de todo los temas que nos interesan sin juzgarnos el uno al otro. Espero que nuestro camino continúe junto.

**A mis tíos y prima:** A mi tía Siria y a mi prima Aricel, quienes han sido como una segunda madre y hermana para mí. A mi tío pesar de nuestras reuniones ocasionales, siempre ofreció y aporto su apoyo en las situaciones que pudiera.

**A mis amigos del colegio y universidad:** Con los que siempre puedo actuar naturalmente sin ser juzgado; aunque no hayan tenido un apoyo directo a la realización del trabajo siempre estuvieron ahí para hablar y aliviar el estrés.

**A mi revisora de la universidad:** Estela Vásquez, quien se dedicó a revisarnos detalladamente en cada reunión con paciencia y resolver todas nuestras dudas.

**José Rodríguez Morales Corado**

**Dios:** Por haberme dado vida para poder seguir esta carrera por siete años, brindarme de sabiduría, fuerza, voluntad, entendimiento y sobre todo de colocarme personas que me ayudaron mucho a lo largo de esta carrera.

**A mi madre:** Mercedes Lisyen Batres Cabrera quien ha sido mi soporte emocional y económico en toda mi vida, a la cual amo mucho por ser la que siempre me apoya, con la que supere adversidades fuertes, la que es el pilar en mi familia y gracias a ella todo este esfuerzo se cumplió.

**A mis abuelos:** Angélica Cabrera Soto y Samuel Batres Obregón quienes han sido mi ayuda a seguir adelante brindándome su apoyo emocional y económico.

**A mi hermana y tía:** Aleisha Mariam quien ha sido mi inspiración a no rendirme y seguir luchando por darle una mejor vida de la que yo he tenido. Rossly Ziromara Batres Cabrera quien me brindo un lugar donde hospedarme en los primeros años de la carrera y quien me ayudo a orientarme al mudarme a la capital.

**A mis amigos:** Quienes me compartieron sus diferentes maneras de ver la vida, su amistad, alegrías, desesperaciones, tristezas, pero nunca dejaron de luchar y aprender. A mi mejor amiga por apoyarme en mis momentos de tristeza y sacarme una sonrisa.

**A la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas y catedráticos:** Por formarme como profesional y brindarme todas las herramientas para crecer como Médico y como persona. A mi asesor y revisor de tesis por su apoyo en esta etapa.

**Juan Pablo Fernández Batres**

**A mi madre:** Marina E. Urrutia quien ha sido ejemplo de vida y me ha dado su apoyo incondicional a lo largo de toda la vida.

**A mi padre:** Quien me dio de forma directa e indirecta lecciones de vida, las cuales he aplicado en los últimos años, en paz descanse.

**A mis hermanos:** Shirley, Elly y Marisol quienes me ha acompañado y aconsejado en los diferentes problemas que se han presentado en la vida.

**A mis abuelos:** Quienes a pesar de las adversidades de la vida siempre han estado ahí brindando su cariño y apoyo.

**A mis catedráticos de la universidad:** por ser una fuente de conocimiento para mi formación como profesional. En especial a Dr. Juan Francisco Morales, Dr. Poggio González y al Dr. Edi Rodríguez., Dr. Erwin Calgua, Dr. Fernando Torres, Dra. Lucia Terrón y Dra. Amy Castro.

**A mis amigos:** Fernando Martínez y Melissa Perusina por su apoyo incondicional y motivación a lo largo de estos años para seguir siempre adelante.

**A mis amigos de la universidad:** con quienes he compartido, tanto alegres como amargos momentos a través de los años durante la carrera.

**A mis compañeros de tesis:** Con los que a pesar de pasar días arduos de trabajo, burocracia y estrés nunca faltaron las bromas y el buen ánimo para seguir adelante.

**A Dios:** Fuente eterna de sabiduría. Por haberme guiado, acompañado, alentado, enseñado a soñar, y rodeado de las mejores personas que jamás pude imaginar, para compartir con ellas sus múltiples bendiciones y muestras de amor.

**A mis padres y hermanos:** A mis padres por ser mis guías permanentes y por brindarme su respaldo incondicional, en cualquier circunstancia. Por constituirse en el soporte económico y emocional, elementos insustituibles para concretar este logro educativo. A mis hermanos, Kevin por su apoyo generoso, su ejemplo de excelencia y por ayudarme a marcar mi camino. A Andrea, por sus múltiples expresiones de amor fraternal.

**A mis abuelos, tíos y primos:** A mis abuelos paternos y maternos, por motivarme siempre a seguir adelante, por medio de sus palabras de estímulo y por sus constantes muestras de afecto sincero. Por esa oportunidad de compartir innumerables experiencias y lecciones de vida. A mis tíos y tías, por toda la bondad, cariño y respeto, que siempre han manifestado hacia mi persona. Mi profundo reconocimiento a mis tías: Lilia, Verónica y Rina. Y de manera muy especial, a mis tíos Aura Godínez y Elizabeth Muralles, quienes me apoyaron y siguieron muy de cerca mi trayectoria estudiantil; así como a mi tío Daniel, mentor por excelencia, con quien hoy comparto una profesión tan digna y humana. A mis primos, por todos esos momentos de alegría y aventuras que hemos disfrutado.

**A la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas y catedráticos:**

Por brindarme las herramientas necesarias en mi formación profesional, punto de partida para seguir creciendo como médico y como persona. De manera muy especial a nuestro asesor y revisora de tesis por confiar en nosotros, y a nuestra asesora de COTRAG, por su paciencia y dedicación.

**Allan Fernando Godínez Muralles**

**A Dios:** Porque nunca me ha dejado solo aún en los días más grises y porque ha preservado cada uno de mis pasos.

**A mis padres:** Carlos y Lesbia, mis mayores ejemplos de amor y sabiduría, porque siempre han estado para mí y jamás me han dejado solo. Sin ellos, no hubiese llegado hasta donde estoy hoy.

**A mis hermanos y cuñados:** Por todo el apoyo y cariño que me han brindado.

**A mi abuela:** Florencia, porque ha sido todo un ejemplo de vida y sabiduría y porque me ha brindado todo su cariño y apoyo.

**A mis amigos de la universidad:** Porque durante estos años han hecho cada uno de ellos toda una experiencia inolvidable.

**A mis compañeros de tesis:** Por todo el esfuerzo invertido a pesar los obstáculos y por formar parte de esta meta.

**A la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas y catedráticos:** Por formarme como profesional y por brindarme de todas las herramientas que me permitirán servir a mi país.

**A mis compañeros de tesis:** Con los que a pesar de pasar días arduos de trabajo, burocracia y estrés nunca faltaron las bromas y el buen ánimo para seguir adelante.

**Luis Carlos Chocón Chete**

**A Dios:** Por haberme dado la oportunidad de estudiar estos siete años tan maravillosa carrera. Gracias por darme fuerzas, sabiduría, y haberme guiado en cada paso, así como colocar a personas tan maravillosas en este largo camino.

**A mi madre:** Quien ha sido el soporte emocional, económico a través de toda mi vida a pesar de las adversidades que hemos enfrentado ha estado aquí para apoyarme en cada situación y sobre todo en esta carrera.

**A mis abuelos y hermanos:** Norfa Marina Navarro y Pedro de Jesús Gálvez por sus consejos llenos de sabiduría, su apoyo emocional y económico en momentos de necesidad que sin ellos no hubiera llegado a esta meta. Gumercinda Sipaque que ella siempre tuvo el anhelo ver un médico en la familia y ahora está viéndome desde el cielo. A mis hermanos Diana Jimena y Jorge Mario por su apoyo incondicional y motivación en estos siete años.

**A mis tíos:** Wendy Estrada, Rigoberto Estrada, Rocío Estrada y Mauricio Ruiz por el apoyo emocional y por sus consejos con palabras de aliento en cada etapa de mi vida y de esta carrera.

**A mi novia y amigos:** Ana Cárdenas quien ha sido mi apoyo emocional y académico desde el segundo año de la carrera acompañándome en cada desvelo, animándome en cada turno a no rendirme y seguir adelante. A mis amigos por la compañía y los buenos divertidos momentos.

**A la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas y catedráticos:** Por formarme como profesional y brindarme todas las herramientas para crecer como Médico y como persona. A mi asesor Edi Rodríguez y revisora de tesis Lucía Terrón por su apoyo en esta etapa.

**Eduardo David Gálvez Estrada**

**De la responsabilidad del trabajo de graduación:**

**El autor o autores es o son los únicos responsables de la originalidad, validez científica de los conceptos y de las opiniones expresadas en el contenido de trabajo de graduación. Su aprobación en manera alguna implica responsabilidad para la Coordinación de Trabajos de Graduación, la Facultad de Ciencias Médicas y para la Universidad de San Carlos de Guatemala. Si se llegara a determinar y comprobar que incurrió en el delito de plagio u otro tipo de fraude, el trabajo de graduación será anulado y el autor o autores deberá o deberán someterse a las medidas legales y disciplinarias correspondientes, tanto de la Facultad, de la Universidad y otras instancias competentes.**

## RESUMEN

**OBJETIVO:** Caracterizar la radiación ionizante en el personal ocupacionalmente expuesto en el departamento de radiología del Hospital General San Juan de Dios, Hospital Roosevelt, Hospital Regional de Cuilapa, Santa Rosa “Lic. Guillermo Fernández Llenera”; Hospital General de Enfermedades, Hospital General “Dr. Juan José Arévalo Bermejo” y Hospital General de Accidentes “Ceibal” del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social en 2019.

**POBLACIÓN Y MÉTODOS:** Estudio descriptivo prospectivo realizado en 104 encuestas, se aplicó análisis estadístico univariado, contó con aval del Comité de Bioética en Investigación en Salud de la Facultad de Ciencias Médicas. **RESULTADOS:** El personal ocupacionalmente expuesto tuvo edad media de 37.65 años, DE  $\pm 9.70$ , el 60.5 % (63) sexo masculino, 54.81 % (57) laboró en rayos X, 81.73 % (85) técnicos y 90.58 % (77) con licencia operativa vigente, 30.77 % (32) con jornadas laborales entre 13 a 24 horas a la semana, 62.5 % (65) trabajó en un solo lugar, 92.31 % (96) conoce los protocolos institucionales, 97.12 % (101) utilizó medidas físicas de protección, 65.38 % (68) utilizó dosímetro, con una media de nivel de radiación ionizante de 1.98 milisievert y DE  $\pm 3.9$ . **CONCLUSIONES:** Del personal ocupacionalmente expuesto casi 6 de cada 10 es masculino, labora en un sector y almacena el dosímetro en un locker, casi 7 de cada 10 usa el dosímetro, 8 de cada 10 es técnico y 9 de cada 10 tiene licencia operativa vigente, la mayoría con nivel de radiación ionizante permitido.

**Palabras Clave:** Radiación ionizante, exposición profesional, dosímetro, protección radiológica.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	1
<b>2. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	3
2.1 Marco de antecedentes.....	3
2.2 Marco referencial .....	5
2.2.1 Radiación .....	5
2.2.2 Epidemiología.....	6
2.2.3 Estructura de la materia y energía.....	6
2.2.4 Radiación ionizante .....	7
2.2.5 Historia de la radiación .....	7
2.2.6 Historia de Radiación en Guatemala .....	8
2.2.7 Los rayos X .....	9
2.2.8 Unidades de medida utilizadas en radiación ionizante.....	9
2.2.9 Radiografía y sus aplicaciones médicas .....	9
2.2.10 Radiobiología .....	10
2.2.11 Macromoléculas y la radiación.....	11
2.2.12 Relación entre dosis de radiación y la respuesta del organismo.....	12
2.2.13 Patologías atribuidas a la exposición de radiación ionizante .....	12
2.2.14 Principios básicos de la protección contra la radiación. ....	14
2.2.15 Radiación y salud pública.....	15
2.3 Marco teórico .....	15
2.3.1 Teoría de los radicales libres y la toxicidad del oxígeno. ....	15
2.3.2 Estrés oxidativo y mecanismos antioxidantes celulares.....	16
2.3.3 Detención del ciclo celular, transformación y muerte celular.....	17
2.3.4 La autofagia mediada por radicales libres .....	17
2.3.5 Puntos de inflexión de la teoría.....	18
2.3.6 Teoría de los efectos de la radiación sobre el ácido desoxirribonucleico .....	18
2.3.7 Vías de reparación del ácido desoxirribonucleico .....	19
2.3.8 Teoría de la respuesta a las dosis bajas de radiación .....	20
2.3.9 Modelo lineal sin umbral.....	21
2.4 Marco conceptual.....	21
2.5 Marco geográfico .....	24
2.6 Marco institucional .....	24

2.7 Marco legal .....	28
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>35</b>
<b>4. POBLACIÓN Y MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
4.1 Enfoque y diseño de la investigación .....	37
4.2 Unidad de análisis y de información.....	37
4.3 Población y muestra .....	37
4.4 Selección de sujetos a estudio.....	38
4.6 Técnica, procesos e instrumentos utilizados en la recolección de datos .....	44
4.7 Procesamiento y análisis de datos .....	45
4.8 Alcances y límites de la investigación .....	46
4.9 Aspectos éticos de la investigación.....	47
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
<b>6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>55</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>9. APORTES.....</b>	<b>65</b>
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
<b>11. ANEXOS.....</b>	<b>79</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la investigación científica sobre el impacto de la radiación ionizante se ha tornado relevante, esto debido principalmente a los efectos en la salud de la población sobreviviente a los eventos nucleares como la explosión de la central nuclear en Chernóbil y Fukushima; así como las bombas atómicas detonadas durante la Primera Guerra Mundial en Hiroshima y Nagasaki, iniciando así a partir de estos incidentes la realización de diversas investigaciones como la Life Span Study, la cual tuvo como finalidad proveer a los investigadores una estimación cuantitativa del riesgo de cáncer asociado a la exposición a radiación, dando como resultado que el 26 % de la población estudiada presentó tumores sólidos asociados a la misma.<sup>1-4</sup>

Debido a los hallazgos encontrados, la investigación científica en este campo adquirió mayor interés y motivó diversos estudios como el estudio INWORKS, que describió efectos a la salud debidos a la exposición profesional y características sociodemográficas, encontrando que el 86 % eran masculinos, con una media de edad de 58 años.<sup>5</sup>

Otro estudio realizado por Söylemes H et al., cuya población diana fueron residentes de urología europeos, buscó evaluar conocimientos y actitudes a través de características laborales y de exposición, entre ellas: tiempo de exposición, uso de medidas de protección a radiación y conocimiento de los protocolos de radiación institucionales durante el uso de fluroscopía. Encontrando que existía una carencia de conocimiento en materia de protección radiológica.<sup>6</sup>

El personal ocupacionalmente expuesto (POE) son los encargados de realizar estudios radiológicos con fines diagnósticos (rayos x, fluroscopia, tomografía, entre otros) por lo que se exponen a radiación ionizante, por tal razón se han implementado a nivel internacional medidas de protección.<sup>7-9</sup>

En Guatemala se dispone de normas y acuerdos basados en dictámenes del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) el cual regula la exposición y protección radiológica con base al artículo 70 del acuerdo 55-2001, en el cual se establece que la radiación ionizante no debe superar 20 milisievert (mSv) anuales en 5 años consecutivos o 50 mSv en un año oficial. El mSv es una unidad de medida de dosis de radiación ionizante.<sup>7,10</sup>

Por tales razones, en algunos hospitales de la red nacional se lleva un control de los niveles de radiación por medio de empresas privadas, quienes reportan mensualmente los registros de dosimetría del personal expuesto. Sin embargo, algunos de los trabajadores laboran en más de una institución y tienen un dosímetro por cada una de ellas, pero no se dispone de un consolidado total de exposición a radiación ionizante por parte de estas personas, esto implica el riesgo de sobrepasar inadvertidamente el límite de dosis establecido y poner en riesgo la salud

del personal, como se determinó en un estudio realizado por Wang F et al., en el año 2015, en trabajadores del área de rayos X del departamento de radiología de hospitales seleccionados y se determinó que este personal se encuentra en riesgo de presentar cáncer de mama y esófago, además concluyó que existe un incremento significativo del riesgo de incidencia de estos cánceres entre los casos expuestos comparados con los controles. Puesto que en nuestro país existe escasa información sobre las características sociodemográficas, situación laboral y de exposición a la radiación, es necesario investigarlo.<sup>6,10-12</sup>

De esta manera surge la interrogante: ¿Cómo es la radiación ionizante en el personal ocupacionalmente expuesto en el departamento de radiología del Hospital General San Juan de Dios, Hospital Roosevelt, Hospital Regional de Cuilapa, Santa Rosa “Lic. Guillermo Fernández Llenera”; Hospital General de Enfermedades, Hospital General “Dr. Juan José Arévalo Bermejo” y Hospital General de Accidentes “Ceibal” del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social en 2019? Para responder esta interrogante se realizó un estudio descriptivo prospectivo, en el cual se aplicó una encuesta para describir las características sociodemográficas (edad y sexo), laborales (área laboral, profesión, jornada laboral, sector de salud y vigencia de licencias operativas) y de exposición a radiación (uso del dosímetro, uso de medidas de protección a radiación ionizante, medidas físicas de protección a radiación ionizante, conocimiento de los protocolos institucionales de protección a la radiación ionizante, almacenamiento del dosímetro, suspensión laboral por sobreexposición a la radiación ionizante, extravío del dosímetro, reporte de radiación ionizante y nivel de radiación ionizante), en los hospitales a estudio.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Marco de antecedentes

Uno de los primeros estudios en donde se investigó los efectos de la radiación ionizante en la salud fue el realizado por la organización Radiation Effects Research Foundation (RERF) denominado Life Span Study (LSS) que inicialmente seleccionó una cohorte de 120 000 sobrevivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki en Japón, quienes experimentaron exposición a altos niveles de radiación en poco tiempo; con el objetivo de reunir data para investigar los efectos a largo plazo que esta exposición pudiera originar. A esta población originalmente se le dio seguimiento entre los años de 1950 al 2000 y su información ha servido de base para investigar la asociación entre radiación y la incidencia de varias clases de cáncer; de importancia se puede mencionar uno de los últimos análisis realizados en esta población por Grant et al., acerca de la incidencia de canceres sólidos, donde decidieron utilizar la información recabada entre los años 1958 al 2009 de solo 105 444 participantes del LSS y cuyos hallazgos de importancia fueron que de la población estudiada, 22 538 casos nuevos de cáncer que se documentaron, 992 fueron directamente asociados con la exposición a la radiación.

<sup>1, 4</sup>

Las extrapolaciones de los resultados encontrados en los sobrevivientes de las bombas atómicas en otras poblaciones en riesgo están sujetos a incertidumbre, ya que las condiciones en que ocurrieron no fueron las mismas, por lo que es necesario investigar el riesgo asociado que conlleva la exposición a radiación ionizante en otras poblaciones en riesgo ocupacional. Por esta razón se realizaron investigaciones como la de Zielinski J et al., en el año 2009, un estudio de cohorte en el cual se utilizó información de la base de datos de incidencia de cáncer de una cohorte de 67 562 trabajadores de la salud canadienses ocupacionalmente expuestos a radiación ionizante entre los años de 1951-1987 (23 580 hombres y 43 982 mujeres) junto con sus reportes de dosimetría asociados con los cuales llegaron a la conclusión de que la mortalidad por cáncer y otras causas no relacionadas con cáncer era menor de lo esperado comparado con la población canadiense no expuesta, sin embargo la incidencia de cáncer de tiroides fue significativamente más elevada tanto en el sexo masculino como femenino en los sujetos a estudio en comparación con la población general en dicho país. Así mismo, reportaron que la implementación de medidas de protección contra la radiación ha sido efectiva para reducir los niveles de exposición.<sup>13</sup>

Jacob P et al., en el año 2009 también abarcaron esta temática al realizar una reseña y análisis de la literatura existente de estudios acerca de la exposición a la radiación ionizante y su asociación como factor de riesgo para la incidencia de cáncer; decidieron incluir 12 publicaciones de diferentes poblaciones europeas de trabajadores expuestos con los cuales llegaron a reportar

que posiblemente las dosis bajas a moderadas de radiación ionizante como factor de riesgo para incidencia de cáncer no eran más bajas en comparación con los sobrevivientes de las bombas atómicas.<sup>14</sup>

Es por estudios como los descritos previamente la razón por la que es necesario llevar un control y reporte de los registros reportados por los dosímetros para determinar si sobrepasan los límites permitidos anuales con la idea de determinar si el trabajador está en riesgo o si hubo algún error en el registro del dosímetro. En Latinoamérica se han realizado dicha clase de investigaciones como la de Tomasina F et al., en Uruguay donde realizaron un estudio descriptivo retrospectivo longitudinal publicado en el año 2010 que reportó los resultados de su programa de vigilancia en salud ocupacional de los trabajadores universitarios expuestos a radiaciones ionizantes durante los años 2003 al 2006 en el cual observaron que las dosimetrías reportadas no sobrepasaban los valores de referencia admitidos como máximos anuales, sin embargo llegaron a encontrar valores en el límite superior como 15.72 milisievert. Delgado O et al., realizaron un perfil de la exposición ocupacional a radiaciones ionizante en Chile en el 2014 donde trabajaron con una población estimada de 25 000 según la cifra total de trabajadores que controlan las empresas que reportan estos datos durante los años 2007 al 2013; entre los resultados y conclusiones de importancia encontraron 16 dosimetrías superiores a 100 milisievert en las que fue necesario realizar un dosimetría citogenética para determinar si la persona se encontraba en riesgo de efectos adversos.<sup>15, 16</sup>

En Guatemala, Ceballos M, Coto B, describieron los niveles de radiación detectados en el año 2012 por los dosímetros en 57 trabajadores del Hospital General San Juan de Dios (radiólogos, médicos residentes y técnicos del departamento de radiología); encontraron que los niveles detectados ese año estuvieron por debajo de 2.6 milisievert por lo que no excedió la dosis anual permitida; sin embargo al encuestar a los sujetos a estudio, también encontraron que la mayoría del personal (54 %) se siente inseguro en cuanto a la protección radiológica de su institución.<sup>11</sup>

Es necesario regresar al ámbito internacional para describir la evidencia más reciente del tema. Richardson D et al., realizaron el estudio de cohorte INWORKS en el 2015, donde se incluyeron 308 297 trabajadores de tres países diferentes: Estados Unidos, Reino Unido y Francia en el cual reportaron que existe un incremento lineal de mortalidad por cáncer a bajas dosis de radiación ionizante en los trabajadores de la industria nuclear de los países participantes. En otro estudio, un caso de cohorte, realizado por Wang F et al., también en el año 2015, se incluyó a trabajadores de la salud expuestos a radiación ionizante de 13 ciudades diferentes de la provincia de Jiangsu, China; con una cohorte de 3961 trabajadores del área de rayos x del departamento de radiología de hospitales seleccionados, se determinó que este personal se encuentra en

riesgo de presentar cáncer de mama y esófago, encontrándose que existe un incremento significativo del riesgo de incidencia de estos cánceres entre los casos expuestos comparados con los controles (OR = 2.90, 95 % CI:1.19-7.04 para cáncer de mama; OR = 4.19, 95 % CI: 1.87-9.38 para cáncer de esófago y OR = 3.43, 95 % CI: 1.92-6.12 para el total de cánceres, respectivamente).<sup>5, 6</sup>

Actualmente, hay escasa información publicada acerca de las características del personal ocupacionalmente expuesto (técnicos y médicos residentes) a la radiación ionizante, por lo que a través de este estudio se buscó caracterizar las características sociodemográficas, laborales y de exposición a la radiación ionizante de las instituciones en estudio.

## 2.2 Marco referencial

### 2.2.1 Radiación

La radiación es un fenómeno físico, que consiste en la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio, ya sea en forma de ondas electromagnéticas o partículas.<sup>17-22</sup>

La radiación ionizante, es un tipo de radiación electromagnética, que se caracteriza por poseer la energía suficiente para producir iones y extraer los electrones del estado ligado al átomo. Puede originarse de manera natural y artificial.<sup>17-22</sup>

Aunque la radiación ionizante se utiliza de manera beneficiosa en diversas áreas de interés para el ser humano, una sobreexposición a la misma puede causar lesiones y en casos extremos, aún la muerte. En virtud de estos peligros, resulta importante la observancia de las normas establecidas de seguridad, a efecto de que no representen un peligro para la salud.<sup>18-22</sup>

La radiación ionizante aplicada en el campo de la medicina, se utiliza principalmente con fines diagnósticos, la cual se ha convertido en una herramienta que complementa la práctica clínica, a fin de lograr un diagnóstico más preciso; también se utiliza para la realización de procesos invasivos, a fin de minimizar riesgos, como también puede utilizarse como terapia en algunos casos. Razón por la cual esta rama de la medicina ha experimentado un crecimiento en especial durante la última década. Sin embargo, la utilización de técnicas que involucran radiación ionizante conlleva una exposición por parte del paciente y del personal encargado de la realización del estudio. Al personal cuya labor involucra exposición a la radiación ionizante se denomina: personal ocupacionalmente expuesto, quienes deben cumplir con un conjunto de normas y acuerdos, para minimizar los efectos a la salud; estos efectos pueden variar desde alteraciones, quemaduras superficiales, alteraciones en el ciclo celular con efectos carcinogénicos, entre otros.<sup>17-22</sup>

## 2.2.2 Epidemiología

Según la Organización Mundial de la Salud cada año se realizan más de 3600 millones de pruebas radiológicas, 37 millones de pruebas que utilizan medicina nuclear y aproximadamente 7.5 millones de tratamientos basados en radioterapia. Según el Organismo Internacional de Energía Atómica una exposición mayor a 100 mSv, durante toda la vida se asoció a un aumento del 12 % en la mortalidad de los pacientes con tumores sólidos y leucemia. También estima un 4 % más de riesgo de padecer un cáncer mortal radioinducido en trabajadores que superen la medida de 1000 mSv. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), han estimado un riesgo de padecer efectos estocásticos a la radicación para los trabajadores de 0. 0056 % de probabilidad por cada mSv absorbido. La OIEA también establece que se tiene una radiación promedio por habitante de aproximadamente 3 mSv por año.<sup>19-22</sup>

El sistema de vigilancia de protección radiológica en Chile, determinó que de sus trabajadores expuestos a radiación 1 de cada 2000 superan el nivel de radiación permitida, y estos datos son corroborados con estudios citogenéticos para determinar si existen cambios a niveles celulares debidos a radiación.<sup>16</sup>

En Guatemala se realizó un estudio en el Hospital General San Juan de Dios durante el 2015 por Ceballos M, Coto B, el cual identificó que el 55 % pertenecían al sexo masculino con un rango de edades entre los 21 y 53 años de edad, y reportes de niveles de dosimetría en 2.45 mSv anuales, encontrándose en el límite de seguridad permitido.<sup>11</sup>

## 2.2.3 Estructura de la materia y energía

Se conoce como materia a todo lo que ocupa un espacio, a la sustancia material dotada de forma y tamaño que compone los objetos físicos. La materia a su vez está compuesta por unidades fundamentales por átomos y moléculas. La materia a su vez está dotada de energía, la cual se presenta en varias formas dependiendo el objeto y le brinda propiedades físicas y químicas a la misma, a continuación, se detallan las más importantes:

- La energía potencial es la capacidad de realizar un trabajo mediante la posición que ocupa el conjunto de masa u objeto.
- La energía cinética es la que adquiere la masa cuando esta se encuentra en movimiento, esta a su vez se encuentra realizando un trabajo.
- La energía química es la energía que se libera cuando dos sustancias generan una reacción química, generalmente se transforma en energía térmica.
- La energía eléctrica es el resultado del movimiento de un electrón a través de un potencial eléctrico, generando un voltaje.

- Energía térmica, esta resulta del movimiento a nivel atómico y molecular, esto genera vibraciones que se transforman en calor.
- Energía nuclear es la energía contenida dentro del núcleo de un átomo, la cual se puede aprovechar en plantas nucleares, esta energía es responsable de las bombas atómicas.
- Energía electromagnética es la energía que se genera cuando una fuente emite una partícula por un espacio, esta es la más importante en radiología debido a que es la que comprende los rayos X.<sup>19-21</sup>

#### 2.2.4 Radiación ionizante

Cuando la energía electromagnética viaja por medio de un espacio e interacciona con la materia se conoce como radiación ionizante. Esta tiene la capacidad de retirar uno o más electrones del orbital del átomo con el que interacciona, Los rayos X, los rayos gamma y la luz ultravioleta son las principales formas de radiación electromagnética con la energía suficiente para producir ionización, existen algunas otras partículas de movimiento rápido también pueden producir ionización.<sup>17,19,21,23</sup>

Existen diferentes tipos de radiación que son inofensivos para el humano, como lo son las ondas de radio y el calor, sin embargo, la radiación ionizante puede causar lesiones en los distintos tejidos. Razón por la cual los técnicos y radiólogos utilizan medios de protección, para minimizar la exposición y con ellos los efectos a corto y largo plazo de la exposición a la misma.<sup>17,19,21,23</sup>

Las fuentes se pueden dividir en dos categorías principales, la radiación ambiental natural y radiación producida por el hombre. La radiación natural procede de tres fuentes: los rayos cósmicos, radiación terrestre y núcleos radioactivos producidos de manera natural en el organismo. Los rayos cósmicos engloban a las partículas provenientes del sol y las estrellas, las cuales se intensifican con la altura. El mayor productor de radiación terrestre es el radón.<sup>23,24,26</sup>

De los producidos por el hombre podemos mencionar que los rayos X son los que contribuyen en mayor medida, la que se estima que produce 0.39 mSv al año, sin embargo, esta puede llegar a 3.2 mSv con el uso de técnicas como la fluoroscopía. Las otras fuentes de radiación producidas por el hombre corresponden a la producción de energía nuclear.<sup>18,19,21</sup>

#### 2.2.5 Historia de la radiación

No fue sino hasta el año 1895, específicamente el 8 de noviembre, cuando Wilhelm Röntgen, descubrió el método para utilizar la radiación en beneficio de la humanidad mientras investigaba los rayos catódicos. Encontró que la radiación de dichos rayos tenía la propiedad de atravesar materiales que absorben la luz, con lo cual posteriormente logró hacer la primera placa

radiográfica. Esta técnica fue posteriormente refinada por diferentes universidades en 1896, con el fin de mejorar el proceso, ya que el que se conocía era muy poco eficiente, durante estos años se utilizaban placas de vidrio. Según los registros de salud pública, la primer víctima mortal por rayos X se registró en 1904, al tener una exposición masiva.<sup>23,24</sup>

Años después, se inició su utilización con fines médicos, uno de los más grandes exponentes en la rama fue Marie Curie, premio nobel de física y química, quien utilizaba un equipo portátil de rayos X, para evaluar fracturas, efectos de la gangrena caseosa y lesiones por tuberculosis en los soldados heridos en el campo de batalla, durante la Primera Guerra Mundial.<sup>23,24</sup>

En la década de 1920, las placas de vidrio fueron remplazadas por las películas fotográficas. En los siguientes años, se implementaron las primeras medidas de seguridad ante la radiación ionizante, la cual consistía en la utilización de guantes y delantales de plomo para el personal encargado de realizar las radiografías. En 1960 se desarrolla un sistema intensificador de tres galones, el cual permitió observar el sistema cardiovascular en vivo, conjuntamente con la aplicación de fluoroscopia.<sup>23,24</sup>

En 1983 luego de varios años de invención, se termina de desarrollar el primer sistema digital radiográfico, sin embargo, contó con poca aceptación durante sus primeros años, debido a que la pobre calidad de la imagen que no permitía hacer distinciones en hallazgos sutiles. Mejoras posteriores en el sistema, permitieron realizar un procesamiento de la imagen en digital para poder observarla en diferentes matices, ventaja sobre el sistema análogo convencional. En 1994 se implementó un sistema tecnológico llamado “Computer-Aided Diagnosis” (CAD), la cual permite que el procesador realice un auto análisis de la imagen obtenida, el cual es conveniente al momento de necesitar una segunda opinión.<sup>23,24</sup>

## 2.2.6 Historia de Radiación en Guatemala

En Guatemala no fue hasta el año 1896 que el Dr. Darío González (de nacionalidad salvadoreña), utilizó los rayos X por primera vez en el país. El primer caso clínico publicado con la incorporación de imágenes de rayos X en Guatemala, fue en abril del 1898, encontrando con ayuda de su aparato, en un paciente de 16 años, osteomielitis de las falanges. Sin embargo, el primer departamento de radiología y electroterapia fue inaugurado en 1907, en el Hospital General San Juan de Dios, por el doctor Mario Wunderlich (cirujano y ginecólogo).<sup>25</sup>

En 1923 se inaugura el segundo departamento de radiología en el hospital militar. No fue hasta en 1933 que, debido a la situación de guerra mundial, se nombra al Dr. Kurt Wittowsky, médico radiólogo de origen alemán, como jefe del departamento del Hospital general, quien posteriormente inició el entrenamiento de nuevos radiólogos. Sin embargo, el primer posgrado

en radiología no fue acreditado sino hasta en 1996 en el Hospital General San Juan de Dios como en el Hospital Roosevelt.<sup>25</sup>

### 2.2.7 Los rayos X

Los rayos X son una manifestación de la energía electromagnética, como también lo son los rayos gamma, pero con una energía mejor que los fotones. Estos se generan cuando un cátodo dispara un haz de electrones hacia un ánodo, dentro de un tubo de vidrio con vacío interno, esto produce los rayos X, el espectro del mismo depende del material del ánodo y de la energía que el cátodo genere. Este es el mecanismo utilizado por las máquinas de rayos X, que permiten generarlos cuando se necesiten, ventaja utilizada en la industria médica.<sup>2,26</sup>

### 2.2.8 Unidades de medida utilizadas en radiación ionizante

Esta energía por su naturaleza ionizante, puede causar daño a los tejidos por lo cual su uso debe ser controlado. Para tal efecto la energía que se deposita en el organismo debe cuantificarse por medio de una magnitud la cual se denomina dosis. Se le conoce como dosis absorbida a la cantidad de energía de radiación en su relación por kilogramo de peso y se mide en unidades llamadas grays (Gy). Sin embargo, esta medida engloba partículas alfa, beta o gamma, aun cuando la misma dosis de partículas alfa provocan un daño mayor que las otras. Años después se crea la unidad de medida sievert (Sv), como un método para comparar las dosis absorbidas de diferentes tipos de radiación en comparación con su potencial de provocar daños biológicos. A esto se le conoce como dosis equivalente, para rayos X se usa el milisievert.<sup>2,26</sup>

Debe considerarse también que cada tejido tiene una resistencia a la radiación diferente, haciendo que algunos sean más vulnerables como el cristalino, mientras que otros tejidos son más resistentes como el hígado. Por lo que para comparar las dosis en los diferentes órganos que son sometidos a radiación, se ponderan según dosis equivalentes en los diferentes tejidos, esto es conocido como dosis efectiva, también expresada en sieverts. Existe también la dosis colectiva y ésta se basa en describir medidas de radiación promedio por persona y no dosis individual, esto con la finalidad de tener un estimado poblacional sobre la exposición a radiación. Actualmente la radiación colectiva de la población mundial es de aproximadamente 3 mSv por persona por año.<sup>2,26</sup>

### 2.2.9 Radiografía y sus aplicaciones médicas

En el ámbito médico el uso de rayos X se emplea para técnicas de diagnóstico radiológico, o la minimización de complicaciones al realizar un procedimiento invasivo con imágenes in vivo. Para formar la imagen se debe realizar una transferencia de información u energía a través del paciente, esto se logra cuando el haz de rayos X que sale de tubo del equipo y estas partículas

que están distribuidas uniformemente por el espacio, chocan con el paciente y esto causa que la distribución uniforme cambie en función del tejido que atravesese. De esta forma en la película queda una imagen con áreas radiopacas y radiolucidas.<sup>18,19,21,27</sup>

A la distribución que adquieren los rayos posteriormente al atravesar al paciente se denomina haz de salida, este haz debe de transferirse de una forma segura para que sea evaluada por el radiólogo, lo que se logra con la película de rayos X, y receptores que permitan observar su distribución como en el caso de la fluoroscopía, estos sistemas se denominan receptores de imagen. Estos receptores de imagen tienen dos partes fundamentales, la base y la emulsión. La base proporciona rigidez a la película proporcionando estabilidad, generalmente hechas de triacetato de celulosa. La emulsión es el medio por el cual los rayos X, transfieren la información a las películas, esta mezcla consta de gelatina y cristales de haluro de plata y forman una fina capa de grosor, con lo cual finalmente forman las imágenes en la película sin embargo estas son invisibles por lo que deben someterse a un procesado. Este proceso consiste en la humectación, revelado, lavado de baño, fijado, segundo lavado y finalmente el secado, generalmente se realiza de forma automática en equipos especializados.<sup>18,19,21,27</sup>

#### 2.2.10 Radiobiología

Los rayos X, al ser una manifestación de radiación ionizante ejercen efectos sobre los diferentes tejidos, siendo estos perjudiciales, estos pueden variar en base a la exposición a la que haya sido expuesto, algunos ejemplos pueden ser quemaduras superficiales, cataras procesos linfoproliferativos como cáncer y leucemia. Por lo que pese a sus beneficios en los diferentes procedimientos para los cuales precisan de imágenes de calidad, se recomienda que sean con la menor exposición posible. La radiobiología es la parte de la radiología que se enfoca al estudio de los efectos de las radiaciones ionizantes en los tejidos biológicos. Así mismo se enfoca en la investigación de las nuevas técnicas más eficaces de realizar los diferentes procedimientos en el área médica.<sup>18,19,21,26,27</sup>

El efecto de los rayos X en el ser humano son el resultado de la interacción que tienen los rayos x sobre los átomos celulares, al producir ionización y excitación electrónica que produce liberación de energía radioactiva que se deposita en el tejido. Cuando se acumula la energía en los tejidos histológicos, pueden provocar un cambio molecular que se traduce un comportamiento aberrante, que puede terminar en un deterioro de la funcionalidad o la muerte celular. Estos átomos ionizados pueden volver a su estado original atrayendo un electrón libre, si esto ocurre la molécula puede ser reparada, y las células y tejidos pueden regenerarse tras la agresión.<sup>18,19,21,27</sup>

## 2.2.11 Macromoléculas y la radiación

Estos efectos se clasifican en dos grupos en base al tiempo de aparición: se le conoce como efectos inmediatos a la radiación si el mismo aparece inmediatamente o días posteriores, manifestándose como síndrome hematológico, síndrome gastrointestinal lesión hística local como quemaduras o lesión citogenética. Si el daño se presenta meses o años después se conoce como efecto tardío a la radiación y entre estos se engloban un conjunto de enfermedades malignas como leucemia y otros tipos de cáncer, y acortamiento de la esperanza de vida.<sup>12,19,24</sup>

Desde el punto de vista químico el cuerpo humano está constituido por átomos en su forma más básica, esta composición atómica del organismo determina el grado de afección y la vulnerabilidad a la radiación ionizante. Esta interacción radiactiva produce cambios moleculares los cuales pueden producir un desarrollo deficiente, alteraciones en el ciclo de vida, y un metabolismo anómalo. Según los adelantos que postula la teoría celular estas células alteradas pueden continuar replicándose y con ellas las alteraciones.<sup>13,19,24</sup>

En el organismo existen 5 tipos principales de moléculas, macromoléculas: proteínas, lípidos, hidratos de carbono y ácidos nucleicos, siendo esta última especialmente radiosensible, y concentrada principalmente en el núcleo de la célula. La otra molécula es el agua, la más simple y abundante del organismo.<sup>19,28</sup>

Los ácidos nucleicos toman importancia al momento de la proliferación celular, debido a que la célula madre replica el material genético, se replica también la anomalía de esta. Durante la replicación celular el daño estructural es visible durante la metafase. si la célula se reproduce por meiosis, ésta por el entrecruzamiento puede producir rasgos hereditarios.<sup>19,28</sup>

Según la ley de Bergonie y Tribondeau la radiosensibilidad de los tejidos varía en función de su madurez, y el metabolismo de las células que lo conforman. Por lo que existen factores que explican el por qué algunos tejidos son más radiosensibles que otros, entre estos se encuentran: la disponibilidad de oxígeno, ambientes anaeróbicos presentan mayor radiosensibilidad, la edad que estos tengan también determina parte de esa vulnerabilidad y la capacidad de recuperación. Experimentos in vitro sugieren que algunas células tienen el potencial de recuperarse, si ésta dosis de radiación no es suficiente como para causar una muerte de interfase, dando como resultado que esta se logre replicar y en algunos casos corregir el daño.<sup>18,19,33,34</sup>

La reacción a la radiación de las macromoléculas es bastante variada sin embargo existen lesiones puntuales claves que siempre están presentes, como lo es la escisión de la cadena principal, lo cual reduce el tamaño de la molécula aumentando su viscosidad. También causa uniones cruzadas anómalas, aumentando más la viscosidad de la molécula, que actúan como sustancias pegajosas. De esta manera la radiación disminuye la síntesis macromolecular y además impide un correcto aprovechamiento por el organismo.<sup>19,29</sup>

#### 2.2.12 Relación entre dosis de radiación y la respuesta del organismo

La aparición de efectos adversos para la salud se relaciona directamente con la cantidad de radiación que el organismo ha absorbido, sin embargo, no en todos los casos se tiene un umbral a partir del cual sucedan los efectos. Para su mayor comprensión se clasifican en dos grupos como efectos determinísticos y efectos estocásticos. Se conocen como efectos determinísticos aquellos que se presentan después de superar cierta dosis umbral de radiación, sin presentarse en los casos que no superen este umbral. Y se llaman efectos estocásticos a los cuales no existe ninguna dosis umbral para que estos se presenten, y pueden presentarse desde pequeñas exposiciones o una sola.<sup>14,30,31</sup>

Se han relacionado diferentes niveles de radiación con diferentes efectos a la salud, una exposición de hasta 10 mSv no han mostrado algún efecto sobre la salud humana. Niveles de 10 mSv hasta 1000 mSv hay presencia de efectos deterministas y aumento de la incidencia de ciertos tipos de cáncer. Niveles de 1000 mSv hasta 10 000 mSv producen enfermedad por radiación aguda, y aumento de la incidencia de ciertos tipos de cáncer. Dosis por encima de 10 000 tienen resultados fatales causando la muerte. En caso de no estar expuesto solo a rayos X basta con una dosis mayor a 15 Gy para causar la muerte en 48 horas posterior a la exposición.<sup>21,32,33</sup>

#### 2.2.13 Patologías atribuidas a la exposición de radiación ionizante

Cada órgano se ve afectado de diferente manera con la radiación, debido a que ante una exposición no todos los órganos se ven igualmente afectados se producen efectos en respuesta a la injuria producida por radiación. Por lo regular produce atrofia de los tejidos debido a la muerte celular.<sup>19,20,32,34</sup>

En el caso de la piel al someterse a una exposición intensa, todas las capas de la piel presentan respuestas variadas, sin embargo, las más conocidas son las de la epidermis al producir áreas de eritema, y descamación de las células maduras, también hay perdida de anexos como vellosidades y cabello. Estos efectos se observan a partir de 6 mSv.<sup>19,34</sup>

Las gónadas son órganos diana importantes al someterse a radiación debido a su sensibilidad, dosis de 0.6 Gy pueden producir esterilidad en ambos sexos. Dosis de 2.5 miligrays (mGy) se han asociado a incrementos en mutaciones genéticas, Las gónadas tienden a experimentar atrofia debida a radiación. Posterior a una exposición de 4 Gy toman alrededor de 5 años una recuperación en caso esta se pueda dar.<sup>19,32,34</sup>

En el sistema hematopoyético, dosis de 2 a 3 mSv pueden disminuir razonablemente la cantidad de células en conteos hematológicos, con la consiguiente aparición de anemia,

trombocitopenia, y aumento de las infecciones al disminuir los anticuerpos. Esto se debe a que este sistema tiene una tasa alta de replicación. A esto se le conoce como síndrome hematopoyético por radiación. Este sistema tiene una alta tasa de replicación, lo que facilita la reproducción de células defectuosas o anómalas que pueden producir incluso leucemias.<sup>19,32,34</sup>

El cristalino es especialmente radiosensible debido que se mantiene en división continua, dosis de 1 mSv pueden ocasionar opacidades microscópicas en el mismo. El riesgo de padecer cataratas se incrementa con dosis de 2 a 3 mSv.<sup>34</sup>

A nivel tiroideo se ha determinado que la radiación ionizante puede causar hipotiroidismo subclínico y a largo plazo la enfermedad nodular además de incrementar el riesgo de ocasionar cáncer. Si esta se expone a otros tipos de radiación nuclear especialmente la que involucre yodo, si estos isótopos son captados por la glándula producirán hipertrofia y si la exposición continua se desarrollará cáncer.<sup>19,32,34</sup>

A pesar que el pulmón no es un órgano muy radiosensible, con dosis de 6 a 10 mSv se puede llegar a producir un cuadro de neumonitis por radiación y luego se convierte en fibrosis pulmonar a lo largo de 8 a 16 semanas disminuyendo así las capacidades pulmonares.<sup>19,32</sup>

A nivel cardíaco puede ocasionar complicaciones valvulares (especialmente derecha), pericarditis o afección del nodo sinusal, arritmias y bloqueos atrio-ventriculares. El miocardio es especialmente sensible a la radiación y este puede causar miocarditis, y deterioro de la contractibilidad de los miocitos.<sup>19,32,34</sup>

El epitelio de la mucosa intestinal y gástrica son muy susceptibles a radiación ionizante provocando depleción de las vellosidades intestinales lo que provoca disentería grave causando la muerte y secreción excesiva de ácidos gástricos con niveles de radiación ionizante de 10 mSv, sin embargo, niveles de 15 a 20 mSv pueden ocasionar perforaciones intestinales y complicaciones letales.<sup>19,34-36</sup>

El síndrome agudo por radiación es una entidad que engloba un conjunto de signos y síntomas que producen la exposición a radiación. Este es de tipo determinista y afecta a varios órganos produciendo un conjunto de signos y síntomas por lo que para su aparición se requiere una dosis elevada y generalmente ese da por una combinación de varios tipos de energía ionizante. Se distinguen 4 fases de esta entidad:

- Fase prodrómica: Suele presentarse de 1 a 3 días después de la exposición y se manifiesta como fiebre, náuseas, vómitos, anorexia y eritema de la piel.
- Fase latente: En esta etapa hay mejoría de los síntomas y puede confundirse con la curación de la enfermedad, no obstante, puede existir linfopenia y granulocitopenia.
- Fase de la enfermedad manifiesta: En esta fase se presentan síntomas y signos de los cuadros clínicos y que dependerá de la dosis de exposición.

- Fase final: Que puede ser la curación o la muerte.<sup>14,15</sup>

El síndrome neurovascular ocurre cuando la dosis corporal total supera los 10 Gy, ocurre cuando los cambios se localizan en el sistema nervioso central, como alteración de la circulación capilar o en la barrera hematoencefálica, además puede haber edema intersticial, hemorragias petequiales, hipertrofia de los astrocitos perivasculares. Se caracteriza porque tiene una fase prodrómica y latente corta, luego se manifiesta con síntomas neurológicos como cefalea, déficits neurológicos y cognitivo, pérdida del equilibrio, desorientación<sup>32,33</sup>

#### 2.2.14 Principios básicos de la protección contra la radiación.

A fin de evitar lesiones al personal ocupacionalmente expuesto, que según como sugieren estudios actuales pequeñas dosis de radiación constantes como la dosis absorbida durante la realización de estudios radiológicos, pueden ser perjudiciales.<sup>18,19,36</sup>

Debido a esto se han desarrollado protocolos y acuerdos de carácter internacional a fin de minimizar estas exposiciones, como primer punto debe llevarse un detector de radiación. Los cuales son instrumentos que se utilizan para realizar medidas de radiactividad en el ambiente, esto suelen basarse en la ionización de gases, excitación por luminiscencia o detectores semiconductores. Los dosímetros son dispositivos que se utilizan para registrar la radiación durante un periodo de tiempo, y todo personal ocupacionalmente expuesto debe portarlo mientras labora, a fin de conocer si ha acumulado más radiación de la recomendada. También se recomienda normar el horario laboral, a fin de minimizar tiempo de exposición del técnico o médico radiólogo. Pequeñas dosis de radiación por largos periodos de exposición producen efectos dañinos a la salud.<sup>19,32,36</sup>

El personal que se estará expuesto a radiación ionizante, debe portar la ropa de protección adecuada la cual cuenta con guantes y delantales impregnados con plomo, también es recomendable cubrir el cuello del técnico y su uso debe ser de carácter obligatorio. Existen también barreras gonadales y estos deberían ser utilizados por el paciente y el técnico o médico radiólogo, al exponerse a radiación. También debe de estar a una distancia adecuada de la fuente de los rayos.<sup>19,22,36</sup>

Las instalaciones deben contar con barreras protectoras lugar en donde se ubicará la consola de control radiográfico y a su vez estas deben rodear el área a fin de evitar irradiar lugares vecinos, y deben contar con revestimientos de plomo.<sup>19,22,36</sup>

### 2.2.15 Radiación y salud pública.

Teniendo en cuenta los efectos negativos que provocan a la salud, el uso de radiación ionizante, como lo fueron las bombas nucleares. Las plantas de tratamiento de energía ionizante. Esta debe estar normada por las autoridades gubernamentales a fin de evitar catástrofes que puedan afectar a la población. El Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), es un organismo internacional que brinda información respecto a la radiación ionizante. Esta organización ha realizado estudios en la población afectada por desastres radiológicos y los efectos que producen en la salud, así como también alientan a la creación de programas nacionales, para normar y crear informes sobre niveles de radiación ionizantes y radiactividad ambiental. Estos análisis han llevado a una reducción significativa de la exposición mundial a radiación innecesaria tanto exposición médica como exposición pública. La UNSCEAR sirve de enlace entre diversas entidades que juntas procuran disminuir la posibilidad de atentados radiológicos contra seres humanos, como lo es la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la OIEA, la OMS, entre otras, estos lineamientos se detallarán en el apartado del marco legal.<sup>16,34,38</sup>

## 2.3 Marco teórico

Actualmente se describen diversas teorías sobre cómo la radiación produce sus efectos en el cuerpo humano y cómo este responde a la misma. Algunos de estos planteamientos son históricos y se han descrito desde que se descubrió la radiación y otros más actuales se han formulado gracias a las nuevas tecnologías disponibles. A continuación, se presentan algunas teorías aún vigentes hoy en día.

### 2.3.1 Teoría de los radicales libres y la toxicidad del oxígeno.

Se ha planteado históricamente que la radiación ionizante es capaz de generar radicales libres por medio de la ionización de ciertas moléculas, como el oxígeno; el resultado es la formación de radicales libres tales como ion hidroxilo (-OH), radicales orgánicos (R<sup>·</sup>) y superóxido O<sub>2</sub>(<sup>·-</sup>) que pueden producir daños a varias estructuras celulares (ej. al ácido desoxirribonucleico (ADN) en forma indirecta); este último ion, es considerado tanto un radical libre como un anión (por su carga negativa), además, es un potente agente oxidante. En general, estos radicales libres al tener electrones impares, los hace muy reactivos, inestables y con vida media muy corta; no obstante, son capaces de producir daños intracelulares si no son contrarrestados por los mecanismos antioxidantes de la célula.

Luego de la producción de los radicales libres, se forman otras especies reactivas de oxígeno, como el peróxido de hidrógeno e hidroperóxidos orgánicos, que contribuyen al daño

inducido por radiación por medio de reacciones tipo Fenton (consiste en la adición de sales de hierro en un medio ácido, en presencia de peróxido de hidrógeno, con la generación de iones hidroxilo y perhidroxilo, desencadenando reacciones de oxidación en cadena, para eliminar materia oxidable); no obstante, la producción de estas especies es esencial para la homeostasis y por lo tanto, para la vida; la protección contra sus efectos tóxicos debe estar balanceada.<sup>39-43</sup>

### 2.3.2 Estrés oxidativo y mecanismos antioxidantes celulares.

La radiación ionizante puede ser de dos tipos según el efecto que tenga en los sistemas biológicos: transferencia lineal de energía baja o low-LET y de transferencia lineal de energía alta o high-LET (la transferencia lineal de energía es una medida de la energía transferida a un objeto o sustancia cuando la radiación pasa a través del mismo). A nivel celular, la radiación Low-LET genera radicales libres, como las especies reactivas de oxígeno (ROS) o especies reactivas de nitrógeno (RNS) por medio de mecanismos mitocondriales.<sup>44</sup>

La exposición a la radiación ionizante puede ser de corta duración y producir cambios en el estado de óxido-reducción celular, pero estos efectos se pueden extender en el tiempo y durar no solo días, sino meses después de la exposición, por la generación continua de ROS y RNS. Es importante mencionar que, el estado de oxidación celular inducido por radiación se puede extender a otras células por medio de mecanismos de comunicación intercelular. La progenie de éstas células también muestra daños oxidativos como carbonilación, peroxidación lipídica y aumento del número de mutaciones genéticas espontáneas con la consecuente transformación neoplásica; los daños al ADN en genes clave tales como los genes supresores de tumores p53 y RB (retinoblastoma) pueden estar involucrados en la inducción de dicha transformación.<sup>45,46</sup>

Cuando se crea un ambiente prooxidante (como sucede en las lesiones causadas por radiación ionizante) y se sobrepasa la capacidad antioxidante, se establece a nivel celular un estado de estrés oxidativo el cual, si persiste de forma prolongada, es capaz de generar lesiones celulares como mutagénesis (por daño indirecto al ADN), carcinogénesis, senescencia acelerada o muerte celular.

Para contrarrestar los daños causados por los ROS y RNS, la célula ha desarrollado un conjunto de mecanismos antioxidantes capaces de responder y reducir los radicales libres que normalmente se producen en sus procesos bioquímicos. Este arsenal de enzimas y proteínas mantienen un estado estable de máxima reducción intracelular; dentro de estos mecanismos se pueden mencionar a las enzimas antioxidantes (catalasa, superóxido dismutasa), vitaminas (vitamina C, E, beta caroteno) y cofactores (glutatión, NADPH, piruvato).<sup>39,43,44</sup>

Previamente se ha descrito cómo se producen los radicales libres y cómo éstos pueden crear un ambiente prooxidante que, si no se restablece es capaz de generar lesiones en

diferentes estructuras celulares. A continuación, se describirá específicamente cómo los radicales libres producen daño celular.

### 2.3.3 Detención del ciclo celular, transformación y muerte celular.

Los eventos que suceden a nivel citoplasmático pueden desencadenar procesos de activación y expresión a nivel nuclear (como sucede con los radicales libres generados por lesiones inducidas por radiación). Los ROS pueden desencadenar activación de múltiples vías de transducción de señales citoplasmáticas, como de crecimiento, apoptosis y autofagia.<sup>44</sup>

La apoptosis mediada por radicales libres se ha determinado que se produce de la siguiente manera: el óxido nítrico (una especie reactiva de nitrógeno) reacciona con el ion superóxido generando anión peroxinitrito el cual induce un estado de estrés oxidativo. Como consecuencia, se libera de la mitocondria hacia el citoplasma, citocromo c, que posteriormente se conjuga con caspasa-9 y Apaf-1 formando el complejo del apoptosoma, este activa las caspasas 3 y 7. La activación de la caspasa-3 induce la activación en cadena de las caspasas 2,6,8 y 10 que finalmente promueven la apoptosis.<sup>44,46</sup>

### 2.3.4 La autofagia mediada por radicales libres

La muerte celular inducida por radiación no solo ocurre por medio de la apoptosis (familia de proteínas Bcl-2 y las proteasas caspasas), sino que se ha descrito otro mecanismo: la muerte celular programada tipo 2 dependiente de autofagia (PCDT2, en sus siglas en inglés). La autofagocitosis es un mecanismo de autodegradación de los componentes celulares, de la que se distinguen 3 tipos: autofagia mediada por chaperonas, macroautofagia y microautofagia. De éstas tres, la macroautofagia es la más representativa; bajo condiciones normales, es responsable de la degradación de organelos defectivos o redundantes, grandes macromoléculas y patógenos.<sup>44,47</sup>

Macroautofagia puede ser inducida por la exposición a la radiación, secundaria al estrés citotóxico que puede ser protector o perjudicial. La PCDT2 está relacionada con el modulador de la autofagia regulado por daños (DRAM), proteíncinasa asociada a muerte (DAPK), eliminación masiva autofágica de las mitocondrias apoptóticas y la activación oxidativa de Atg4 serínproteasa, las cuales pueden ocurrir vía mecanismos de radicales libres activados por la radiación ionizante.<sup>44,47</sup>

Por lo expuesto anteriormente, se deduce que todas estas alteraciones moleculares son capaces de desencadenar lesiones celulares las que, en principio, explicarían la fisiopatología del síndrome de radiación aguda y el desarrollo de neoplasias en los individuos expuestos a la radiación ionizante.

### 2.3.5 Puntos de inflexión de la teoría.

Se ha planteado que la teoría de los radicales libres y el estrés oxidativo crónico no tienen un rol muy importante en los daños producidos por la radiación y el fallo orgánico en tejidos de respuesta tardía. De modo que existe únicamente evidencia indirecta del estrés oxidativo crónico después de la irradiación.<sup>40</sup>

### 2.3.6 Teoría de los efectos de la radiación sobre el ácido desoxirribonucleico.

La radiación ionizante no solo puede dañar indirectamente las estructuras celulares por medio de radicales libres, sino también de forma directa. Hay fuerte evidencia que el ADN es la principal diana para los efectos biológicos de la radiación, pues su alteración es capaz de generar muerte celular, carcinogénesis y mutaciones.<sup>48</sup>

Se ha determinado que, a nivel del núcleo, el material genético puede ser alterado por la radiación de varias maneras, dependiendo de la dosis de radiación absorbida y el tipo de radiación: low-LET o high-LET. La radiación ionizante high-LET (neutrones, partículas alfa, partículas pesadas de energía cósmica) causa daño directo al ADN el cual es más complejo y difícil de reparar que el producido por la radiación low-LET; por otra parte, la radiación ionizante low-LET (rayos gamma y rayos X) causa daño de forma indirecta por medio de la formación de radicales libres.

Específicamente, la radiación produce: daño de bases, ruptura de una hebra (single strand breaks, SSBs), ruptura de dos hebras (doble strand breaks, DSBs) y enlaces cruzados de ADN. Estas lesiones se presentan cuando se alcanza una dosis  $D_0$ , esta se define como “una dosis de radiación que induce como promedio un evento letal por célula y deja el 37 % de las células irradiadas aún viables”. Para las células de los mamíferos, la dosis  $D_0$  es de 1 a 2 Gy.

<sup>45,48-50</sup>

Tanto SSBs como DSBs, pueden ser reparadas por mecanismos nucleares que se discutirán más adelante, sin embargo, si no se logran reparar, tendrán consecuencias importantes. La ruptura de una sola hebra es reparada fácilmente, pues la hebra complementaria sirve como marco de reparación, pero si la reparación es errónea, resulta en una mutación con consecuencias posteriores. Por otro lado, la ruptura de las dos hebras puede escindir la cromatina en dos partes; se cree que DSBs es la lesión más importante producida por la radiación en los cromosomas, porque la interacción de dos DSBs puede resultar en muerte celular, carcinogénesis y mutagénesis.<sup>44,48,50,51</sup>

El mecanismo por el que la radiación ionizante puede generar SSBs o DSBs en el ADN se explicó por Mozumder A, Magee JL, en la teoría de la química de la radiación en 1966, la cual describió que la energía de la radiación ionizante no se deposita uniformemente en el medio

absorbente, sino que en las trayectorias de las partículas puestas en movimiento (en el caso de los rayos X y rayos gamma, electrones; en el caso de los neutrones, protones y partículas alfa). La teoría habla específicamente en términos de spurs, blobs y short tracks. Para entender estos términos, es importante mencionar que la ionización de los tejidos depende del tipo de radiación; esta ionización se clasifica según su energía, cantidad de ionización y la forma en que se agrupan los iones.<sup>48,52</sup>

Con estos criterios de clasificación, se pueden agrupar los iones en tres grupos:

- Spars: contiene arriba de 100 electrovoltios (eV) e incluye en promedio, tres pares de iones. Se producen por la radiación electromagnética.
- Blobs: Contienen en promedio 12 pares de iones y energía en los rangos de 100 a 500 eV.
- Short tracks: tienen energías de 500 a 5000 eV. Se producen por radiación corpuscular (neutrones).<sup>48,52</sup>

Tanto los spars como los blobs tienen un tamaño muy similar al de la doble hélice del ADN por lo que, si al agruparse estos se sobreponen a la misma, pueden producir múltiples ataques radicales en ella, tales como DSBs y daños de base. Este fenómeno de denomina lesión en clúster y forma parte de la teoría química de la radiación aún vigente hoy en día.<sup>48,52</sup>

### 2.3.7 Vías de reparación del ácido desoxirribonucleico

Los mamíferos han desarrollado formas especializadas para identificar, responder y reparar el daño de base, DSBs, SSBs y enlaces cruzados del ADN-ADN. Las dos vías principales de reparación son la recombinación homóloga (RH) y la unión no homóloga (UNH). La UNH es la principal vía de reparación de DSBs inducida por radiación en la fase G1 y también en S y G2 del ciclo celular.<sup>44,48,53</sup>

LA UNH se da de la siguiente forma: Las proteínas reparadoras del ADN conformadas por MRE11, NBS1, RAD17, RAD1, RAD9 y HUS1 se unen al DSBs inducidas por radiación ionizante para formar complejos; estos son detectados por las cinasas de ataxia-telangiectasia mutada (ATM). Luego, MCD1, 53BP, BRCA1 y TopBP1 median la fosforilación de CHK2 por ATM y cinasas relacionadas. La CHK2 fosforilada posteriormente fosforila a p53 y CDC25. Consecuente a estas fosforilaciones, p53 detiene el ciclo celular en G1/S y la CDC25 detiene el ciclo tanto en S como en G2/M, esto permitirá reparar el ADN y evitar que los errores y lesiones adquiridos por la radiación sean transmitidos a la progenie o bien, que se induzca la muerte celular, carcinogénesis y mutagénesis.<sup>44,50,53,54</sup>

Actualmente, se ha demostrado que la fosforilación de ATM dependiente de DSBs, activa el gen NF-κB, por medio del siguiente mecanismo: ATM fosforilado se une y fosforila al inhibidor

de kappa B kinasa (IKK $\gamma$ ) en el núcleo; luego, ATM-IKK $\gamma$  salen del núcleo y se asocian a IKK $\alpha$  e IKK  $\beta$  y forman un complejo IKK el cual libera a NF- $\kappa$ B de sus inhibidores. Este último evento es muy importante, porque el NF- $\kappa$ B activado desencadenará una cascada de transducción de señales que finalmente tendrá los siguientes resultados: reparación del ADN, control del ciclo celular, antioxidantes mitocondriales, apoptosis y sobrevivencia, entre otros.<sup>44</sup>

Por lo tanto, la teoría del daño celular trata de explicar los principios físicos, químicos y biológicos de cómo la radiación ionizante puede dañar directamente al ADN. Además, de cómo la célula ha desarrollado un sistema complejo de reparación del daño causado, por medio de las vías de transducción de señales.

### 2.3.8 Teoría de la respuesta a las dosis bajas de radiación

Para entender qué es el modelo lineal sin umbral o LNT, se debe retroceder en el tiempo, en 1928, cuando Olson y Lewis propusieron el modelo de LNT, un año después que el reporte de Mueller indicara que los rayos X inducían mutaciones en las células germinales de la mosca macho de la fruta. Olson y Lewis describieron que la radiación ionizante de fondo causaba cambios genéticos en el genoma, por lo que proponían una explicación mecanicista de la teoría de la evolución de Darwin. No obstante, su hipótesis fue rechazada ampliamente en esa época porque no se demostraron las mutaciones en múltiples modelos experimentales aún con dosis de radiación superiores a la radiación de fondo.<sup>55, 56, 57</sup>

A pesar de que la radiación de fondo no era capaz de desencadenar cambios mutacionales en los estudios en esa época, Mueller y la Comunidad Genética de la Radiación adoptaron el modelo, en un intento de predecir los efectos biológicos de la radiación en el genoma. Para ello, desarrollaron un escenario de éxito y ecuaciones matemáticas para describir respuestas mutacionales teóricas.

En las siguientes dos décadas, Mueller y sus colegas trabajaron para que su modelo fuera aceptado, no obstante, no tuvo éxito hasta 1955, cuando la Academia Nacional de las Ciencias estableció el primer comité de los Efectos Biológicos de la Radiación Atómica (Biological Effects of Atomic Radiation, BEAR), conformado por 12 genetistas de la radiación, incluido Mueller, quien persuadió al comité de adoptar el modelo LNT como predictor de riesgos. Posteriormente, se reformuló el comité y se nombró como Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante (Biological Effects of Ionizing Radiation Committee, BIER). Los reportes de BIER (incluido el actual, BIER VII) continúan usando el LNT como piedra angular de la evaluación del riesgo. Dichos reportes han sido utilizados a nivel mundial como fuente para generar normas y leyes de protección a la radiación ionizante.<sup>56</sup>

### 2.3.9 Modelo lineal sin umbral

El LNT es un modelo que se usa para estimar los riesgos a la salud producidos por una dosis baja de radiación. Este modelo carece de umbrales de seguridad y postula que los riesgos a la salud causados por la radiación son directamente proporcionales a la dosis, por lo que una pequeña dosis de radiación o bien, cualquier dosis baja de radiación puede causar efectos deletéreos tales como cáncer y mutaciones genéticas sin una dosis umbral.<sup>58,59</sup>

Este modelo fue adoptado a nivel mundial y ampliamente aceptado. Sin embargo, el modelo descuida los hechos más importantes, como que todos los seres humanos en la tierra han evolucionado y se han adaptado a ambientes de radiación natural más severos durante millones de años. Actualmente, hay un cuerpo creciente de evidencia experimental y epidemiológica que no apoya el modelo LNT para estimar el riesgo de cáncer a bajas dosis y plantean usar nuevos paradigmas y estudios moleculares modernos para estimar el riesgo de cáncer.<sup>56, 58-61</sup>

## 2.4 Marco conceptual

- Ánodo: electrodo en el que usualmente se encuentra el blanco sobre el que impactan los electrones acelerados formando un haz.<sup>62</sup>
- Antioxidante: Sustancia natural que previene o retrasa algunos tipos de daño celular.<sup>63</sup>
- Apoptosis: Modalidad específica de muerte celular programada, que participa en el control del desarrollo y del crecimiento celulares.<sup>64</sup>
- Átomo: Partícula indivisible por métodos químicos, formada por un núcleo rodeado de electrones.<sup>64</sup>
- Cátodo: Se observa en un tubo de rayos X como la fuente de los electrones.<sup>62</sup>
- Carcinogénesis: mutaciones genéticas que ocasionan la modificación de los productos que en condiciones normales codificaría el gen que finalmente termina en un cáncer.<sup>65</sup>
- Coulomb: Es la unidad de cantidad de electricidad del sistema internacional, equivalente a la cantidad de electricidad transportada en 1 segundo por una corriente de 1 amperio (símbolo “C”).<sup>66</sup>
- Centellografía: Procedimiento mediante el cual se obtiene imágenes de las estructuras internas del cuerpo, incluso de las áreas donde hay células cancerosas.<sup>67</sup>
- Contaminación radioactiva: La presencia no deseada de nomenclatura de sustancias orgánicas, sustancias radiactivas en el medio ambiente.<sup>66</sup>
- Dosímetro: Instrumento con el cual se registra los niveles de radiación a los cuales se someten el personal ocupacionalmente expuesto.<sup>66</sup>

- Dosímetro de termoluminiscencia: Sistema de medición de dosis de radiación basado en la propiedad que tienen algunos cristales para cambiar el estado energético de sus electrones cuando interactúan con la radiación X, aumentando su energía de forma estable si no varían las condiciones de temperatura.<sup>62</sup>
- Dosis de radiación: La dosis de radiación es una medida de la energía depositada en un tejido u órgano.<sup>68</sup>
- Espectro electromagnético: Es el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas. Incluye rayos gamma, rayos X, radiación ultravioleta, luz visible, luz infrarroja y ondas radioeléctricas.<sup>66</sup>
- Estado prooxidante: Estado que condiciona el daño oxidativo a proteínas, lípidos, ácidos nucleicos y carbohidratos.<sup>69</sup>
- Estrés oxidativo: es un aumento negativo en la reducción del potencial celular o una disminución en la capacidad reductora de los pares redox celulares como el glutatión.<sup>69</sup>
- Fenómeno de ionización: Propiedad de los rayos X que, al interactuar con las partículas, genera iones cargados eléctricamente.<sup>62</sup>
- Físico médico: Es un profesional sanitario especializado en aplicar la física a la medicina y tiene conocimiento y responsabilidad sobre la protección de los pacientes, del personal y del público.<sup>68</sup>
- Fluoroscopia: La fluoroscopia es el método de obtención de imágenes de rayos X en tiempo real, lo que es especialmente útil para guiar una gran variedad de exámenes diagnósticos e intervenciones.<sup>68</sup>
- Ion: Átomo o agrupación de átomos que por pérdida o ganancia de uno o más electrones adquiere carga eléctrica.<sup>64</sup>
- Medicina nuclear: Rama de la medicina en la que se implica el uso de una sustancia marcada por un trazador débilmente radiactivo, la cual se inyecta, se ingiere o se inhala con fines de diagnóstico o tratamiento.<sup>68</sup>
- Molécula: Unidad mínima de una sustancia que conserva sus propiedades químicas y puede estar formada por átomos iguales o diferentes.<sup>64</sup>
- Muerte interfase: Muerte de las células irradiadas antes de comenzar su división.<sup>71</sup>
- Mutagénesis: Producción de mutaciones o cambios sobre el ADN.<sup>64</sup>
- Número atómico: Número de protones presentes en el núcleo de los átomos de un elemento, que determina la situación de este en el sistema periódico y, por tanto, sus propiedades químicas.<sup>64</sup>
- Partícula: Parte pequeña de materia.<sup>64</sup>

- Pixel: Superficie homogénea más pequeña de las que componen una imagen, que se define por su brillo y color.<sup>64</sup>
- Radiación Alfa: Es una radiación corpuscular constituida por partículas alfa, que están formadas por 2 protones y 2 neutrones, es decir, el núcleo de un átomo de Helio, y por consiguiente tiene dos cargas positivas.<sup>28</sup>
- Radiación Beta: Está constituida por electrones del núcleo emitidos por las sustancias radiactivas a velocidades próximas a la luz.<sup>28</sup>
- Radiación de fondo: Se le conoce también como radiación natural, la cual procede de los materiales radiactivos, presentes en pequeñas cantidades en el suelo, en los edificios donde vivimos, en la comida que ingerimos, en nuestro propio cuerpo, y de la radiación del espacio.<sup>28</sup>
- Radiólogo: Es un médico especializado en radiología diagnóstica o intervencionista.<sup>68</sup>
- Radionucleido: Se refiere al isótopo que es radiactivo.<sup>67</sup>
- Radioisótopo: Son aquellos isótopos radiactivos ya que tienen un núcleo atómico inestable y emite energía y partículas cuando cambia de esta forma a un isótopo más estable.<sup>67</sup>
- Radio sensibilización: Utilización de un medicamento que hace que las células tumorales se vuelvan más sensibles a la radioterapia.<sup>67</sup>
- Radioterapia: En esta especialidad se utilizan rayos X, rayos gamma y otros tipos de radiación, para tratar cáncer y otras enfermedades.<sup>68</sup>
- Rayos catódicos: Corrientes de electrones observados en tubos de vacío, es decir los tubos de cristal que se equipan por lo menos con dos electrodos, un cátodo (electrodo negativo) y un ánodo (electrodo positivo) en una configuración conocida como diodo.<sup>66</sup>
- Rayos cósmicos: Los rayos cósmicos son partículas altamente energéticas que bombardean la superficie de la Tierra procedentes del espacio exterior.<sup>68</sup>
- Rayos Gamma: La radiación gamma es un flujo de ondas electromagnéticas de alta energía.<sup>68</sup>
- Rayos x: En sentido estricto, los rayos X son radiación electromagnética de alta energía y penetrante, pero también se utiliza el término para designar el examen o imagen producida por la exposición a los rayos X con fin de diagnóstico.<sup>68</sup>
- Recombinación homóloga: Es un mecanismo que repara una variedad de lesiones del ADN, incluyendo rupturas de doble cadena, de cadena simple y enlaces cruzados. Consiste en un entrecruzamiento de cadenas de ADN que se asemejan, en el cual se produce un intercambio de material genético.<sup>72</sup>
- Sievert: Unidad derivada del sistema internacional que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos. 1

Sv es equivalente a un julio por cada kilogramo (J kg<sup>-1</sup>). Esta unidad da un valor numérico con el que se pueden cuantificar los efectos no estocásticos o determinísticos por las radiaciones ionizantes.<sup>66</sup>

- Técnico en radiología: Es un profesional sanitario formado para operar equipo radiológico y ejecutar procedimientos de toma de imágenes y terapéuticos.<sup>68</sup>

## 2.5 Marco geográfico

La República de Guatemala es un país localizado en la parte norte del istmo centroamericano, tiene una extensión de 108 889 kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) con una elevación de cero a 4000 metros sobre el nivel del mar. Políticamente están ubicados 22 departamentos, 334 municipios y 28 000 lugares poblados, teniendo en total 25 comunidades lingüísticas, divididas en cuatro pueblos (maya, garífuna, xinca y mestizos).<sup>73</sup>

El departamento de Guatemala, capital del país, colinda al norte con el departamento de Baja Verapaz, al este con los departamentos de El Progreso, Jalapa y Santa Rosa, al sur con el departamento de Escuintla y al oeste con los departamentos de Sacatepéquez y Chimaltenango. En todo el departamento se habla español, pero, en algunos municipios se habla el pócoman y kaqchiquel, esto es resultado de la migración de los pueblos a la capital.<sup>73</sup>

El departamento de Santa Rosa ubicado en la región suroriental de la República de Guatemala, tiene una extensión territorial de aproximadamente 2956 km<sup>2</sup>, y con una altitud de 214 metros. Su división política consta de 14 departamentos siendo la cabecera departamental Cuilapa, ubicada a 36 km de la ciudad capital. Colindante con los departamentos de Guatemala, Jalapa, Jutiapa y Escuintla.<sup>74</sup>

Según la caracterización de la República de Guatemala, realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), reporta que Guatemala es el departamento que cuenta con la mayor población. En cuanto a municipios se reporta que Guatemala y Mixco están entre los municipios más poblados. El municipio de Cuilapa ocupa el quinto lugar a nivel departamental en cuanto a población. Las microrregiones más densamente pobladas son: La cabecera municipal, El Molino y San Juan de Arana. La población del municipio está concentrada en comunidades rurales (70 %) y habiendo un 30 % en el área urbana.<sup>75</sup>

## 2.6 Marco institucional

### 2.6.1 Hospital General San Juan de Dios

El Hospital General San Juan de Dios, ubicado en la dirección primera avenida 10-50 zona 1 ciudad de Guatemala, fue puesto al servicio público en octubre de 1778, no se sabe con certeza

el día que esto ocurrió, pero a través de su vida se ha celebrado el 24 de octubre, día de San Rafael Arcángel, patrono desde entonces, como fecha de aniversario.

Actualmente el Hospital General San Juan de Dios, es una estructura asistencial y docente del tercer nivel de atención del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala. El Hospital General San Juan de Dios cuenta con aproximadamente 3000 empleados, distribuidos de la siguiente forma: 1300 entre auxiliares de enfermería y enfermeras graduadas, 500 médicos y 1200 trabajadores administrativos y de apoyo.

El hospital dentro de su estructura sanitaria cuenta con diferentes servicios de acuerdo a las especialidades distribuido en 8 niveles con encamamiento de medicina interna, pediatría, ginecología, obstetricia, cirugía así mismo cuenta con laboratorio y área de atención de emergencias. En el primer nivel se encuentra el departamento de radiología que cuenta con 3 salas para realización de rayos X, 2 salas para realización de fluoroscopía, 1 sala para realización de mamografía, 1 sala para realización de ultrasonido, 1 sala para lectura de imágenes, 1 salón de clase, 1 sala de archivo, 1 sala de recepción, 1 sala para realización de tomografía y la jefatura del departamento. Cuenta con 19 médicos residentes y 23 técnicos de rayos X.<sup>76,77</sup>

## 2.6.2 Hospital Roosevelt

El Hospital Roosevelt inicio su construcción en 1944. Una obra que fue encargada al ingeniero Héctor Quezada, impulsada por el Instituto de Asuntos Interamericanos. La construcción culmina en 1955 con un aporte económico por parte del gobierno de Guatemala y el Gobierno de Estados Unidos para un total invertido de Q.8 millones 282 mil. Ubicado en la 5ta calle zona 11 de la ciudad de Guatemala; el nombre del hospital fue en honor al presidente estadounidense Franklin Delano Roosevelt, ya que fue su gobierno el que apoyó en gran parte la construcción de uno de los emblemáticos hospitales de la capital guatemalteca. La calzada que conecta la ciudad con el occidente también lleva el mismo nombre.

Cabe destacar la donación de un nuevo laboratorio de radioisótopos es inaugurado en el Hospital Roosevelt. El equipo fue adquirido en Estados Unidos por gestión de la comisión de energía nuclear. La gestión para la compra de este aparato empezó en mayo de 1958. La unidad de cobalto-60 fue otra que participó con una donación. Así mismo, se informó que la compra se debía a que en Guatemala había médicos que se habían entrenado en el uso de ese moderno equipo. La inauguración estuvo a cargo de John O Bell, embajador norteamericano.

La estructura sanitaria de tercer nivel cuenta con 4 niveles para los encamamientos de las especialidades de medicina interna, cirugía, ortopedia, pediatría y clínicas de consulta externa en el edificio principal, dos edificios aledaños para el encamamiento de ginecología, obstetricia y otro

para la atención de emergencias. El Hospital Roosevelt cuenta con más de 3100 colaboradores distribuidos entre personal médico, de enfermería, auxiliar, técnico, nutrición, trabajo social, atención al usuario y usuaria, personal de seguridad, intendencia y administrativo. La unidad de radiología se encuentra ubicada en el segundo nivel la cual cuenta con 4 salas para realización de rayos X, 1 sala para realización de tomografías, 1 sala de ultrasonido con 4 equipos para ultrasonografía, 1 sala de estudio de imágenes, 1 sala de recepción, 1 sala de archivo y 1 sala de jefatura de radiología. La unidad cuenta con 12 médicos residentes de radiología y 24 técnicos de rayos X.<sup>78,79</sup>

#### 2.6.3 Hospital Regional de Cuilapa, Santa Rosa “Lic. Guillermo Fernández Llenera”

Ubicado en la 4ta calle 1-51 zona 4 Cuilapa, Santa Rosa. Su estructura consta de 2 niveles el cual el primer nivel alberga encamamiento de medicina interna, cirugía, pediatría e intensivo de adultos, laboratorio y el área de atención de emergencias. En el segundo nivel se encuentra encamamiento de cirugía de hombres, ginecología y obstetricia, banco de sangre y área de alto riesgo neonatal

Cuenta con 1 sala de rayos X, 1 sala de ultrasonido y una sala de tomografía (por servicios contratados con Tecniscan). En la sala de rayos X, tienen 1 equipo convencional y 1 equipo digital. En la sala de ultrasonido, solo un equipo de ultrasonido. Cuenta con 10 técnicos de rayos X.

#### 2.6.4 Hospital General de Enfermedades del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social

El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social es una institución autónoma, de derecho público de personería jurídica propia y plena capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones, fundada el 30 de Octubre de 1946 mediante el Congreso de la República de Guatemala que emitió es Decreto número 295, "La Ley Orgánica Del Instituto Guatemalteco De Seguridad Social" (IGSS), cuya finalidad es aplicar en beneficio del pueblo de Guatemala, un régimen nacional, unitario y obligatorio de seguridad social, de conformidad con el sistema de protección mínima. Se encuentra ubicado en 9<sup>a</sup> calle 7-55 zona 9 Ciudad de Guatemala. El IGSS se dedica a brindar servicios de salud en todos los niveles y seguridad social a la población que cuente con afiliación al instituto.

El instituto cuenta con un total de 80 unidades médicas, que incluyen consultorios y puestos de salud; también brinda atención por medio de 48 unidades integrales de adscripción que apoyan el trámite de servicios de salud contratados en lugares donde no hay infraestructura institucional, distribuidas en los 22 departamentos del país.

El Hospital General de Enfermedades es el de mayor afluencia de pacientes con el que cuenta el IGSS para brindar servicios médicos, también es el de mayor resolución a nivel institucional y el de mayor aceptación de referencias realizadas por otras unidades para la resolución y atención de casos médicos. Su mayor servicio lo presta a nivel de tratamiento de casos que requieren hospitalización médica, cuenta con 800 personas de enfermeras graduadas y auxiliares, 120 médicos y 200 personas encargadas de trabajos administrativos. En su estructura cuenta con 8 áreas de encamamiento para medicina interna y cirugía, dos áreas de cuidado crítico repartido en dos niveles y así también cuenta con servicio de atención de emergencias y laboratorio, abierto las 24 horas los 365 días del año. El área de radiología cuenta con 1 sala para realización de rayos X, 1 sala para realización de tomografía (esta manejada por servicios contratados), 1 sala para realización de fluoroscopías, 2 salas para realización de ultrasonido, 2 salas para archivo de rayos X, 1 sala de estudio de imágenes, 1 sala de jefatura de la unidad y 1 sala de recepción para la solicitud de estudios. Cuenta con 2 médicos residentes que rotan en el área, 12 técnicos de rayos X y 4 personas para labores administrativas.<sup>80,81</sup>

#### 2.6.5 Hospital “Dr. Juan José Arévalo Bermejo” del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.

El hospital general, Doctor Juan José Arévalo Bermejo, se fundó el 15 de mayo de 1987, en la zona 6 de esta capital. Se encuentra ubicado en la 19 avenida 7-14, zona 6 Ciudad de Guatemala. El día 15 de marzo de 1988, el hospital general Doctor Juan José Arévalo Bermejo amplió su cobertura a los afiliados implementando el programa de atención por enfermedad común para los adultos de ambos sexos residentes en su zona de influencia. Con los servicios que presta el hospital brinda promoción de la salud y prevención específica de las enfermedades, asistencia médica-quirúrgica, general y especializada, hospitalización, asistencia odontológica, asistencia farmacéutica, suministro de aparatos ortopédicos y protésicos.

Este recinto cuenta en su estructura con 8 niveles que comprenden el encamamiento de cirugía, pediatría, ginecología, obstetricia y medicina interna. Así mismo con un área de atención de emergencias en el primer nivel y el área reservada para realización de rayos X, la cual se encuentra en el sótano del hospital a las cercanías de la emergencia. La misma cuenta con 4 salas destinadas realización de procedimientos radiológico, para lograr cubrir la demanda de procedimientos que el hospital tiene cuenta con 7 máquinas de rayos X, 3 de las cuales son portátiles y 4 son fijas. No se cuenta con fluoroscopio y se tiene una máquina para realización de ultrasonidos. Dentro del personal que labora dentro de esta área hay 14 técnicos en rayos, 4 personas administrativas (laboran dentro del área), 1 personal de servicios varios, quien moviliza

a los pacientes y 1 enfermera, cabe destacar que estos últimos dos solo se encuentran dentro del área durante el día, y un médico radiólogo quien es jefe del departamento.<sup>82</sup>

#### 2.6.6 Hospital General de Accidentes “Ceibal” del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.

El Hospital General de accidentes Ceibal, pertenece a la red hospitalaria del IGSS, según el acuerdo de fundación 3607. Se encuentra ubicado en la calle de San Juan Sacatepéquez, 13 avenida calzada San Juan zona 4 de Mixco, Ciudad de Guatemala. Inició sus funciones el día 18 de junio de 1948 y en las nuevas instalaciones el 2 de mayo de 1997. Es llamado unidad número 1 del seguro social, por ser la primera en ser fundada. Es un hospital de traumatología con asistencia médica-quirúrgica especializada preventivo y curativo al afiliado.

Este hospital cuenta 3 niveles de forma modular para encamamiento de cirugía y ortopedia y áreas de cuidado crítico, con un área de rayos X que se divide en diferentes espacios, se encuentra localizada en la planta baja del hospital cerca del área de emergencias. En el área de rayos se encuentra un área de pasillo el cual es el área de espera para los pacientes. El hospital cuenta con un área apartada en un solo cuarto para realización de tomografías la cual cuenta con una sola maquina en buen estado. El área de rayos X cuenta con 4 salas de rayos la cuales tienen una maquina cada una; también existe un área designada como archivo donde se almacenan todas las placas de rayos y un área de revelado de placas de rayos X. Aledaño a esta área se encuentra un área de secretaria para rayos X y un cuarto para realización de ultrasonidos el cual cuenta con dos aparatos de ultrasonidos. Dentro del personal que labora hay 24 técnicos de rayos los cuales trabajan por turnos, 3 secretarias, 2 en secretaría de rayos X y una en archivo. Trabajan 8 médicos residentes de los cuales son repartidos en las diferentes áreas y 2 jefes, uno que es el jefe de departamento y otro jefe de sección de radiología. De todas las unidades del IGSS que cuentan con unidad de rayos X. esta es la que mayor cantidad de estudios radiográficos reporta, debido a la naturaleza de casos que se atiende, siendo principalmente estas de traumatología y ortopedia.<sup>83</sup>

#### 2.7 Marco legal

Estado de la República de Guatemala tiene como función la protección de las personas y su fin primordial es la realización del bien común de las mismas, por lo que las leyes pueden evaluarse tomando en cuenta que los legisladores están legitimados para dictaminar las medidas que tiendan a la consecución del bien común. Al respecto conviene tener presente que la fuerza debe perseguir objetivos generales permanentes, nunca fines particulares.<sup>84</sup>

La Constitución Política de la República constituye las bases de todas las leyes de la república de Guatemala, en el artículo 1 y 2 se establece que el estado debe velar, garantizar la justicia y el desarrollo integral de la persona, para lo cual debe adoptar las medidas que a su juicio sean convenientes según lo demanden las necesidades y condiciones del momento, que pueden ser no solo individuales sino también sociales por la vida de los habitantes, así como su seguridad y libertad.<sup>84</sup>

En la séptima sección de este documento denominada de salud, seguridad y asistencia, el artículo 93 y 95 se reconoce el derecho a la salud y a la protección de la salud, por el que todo ser humano pueda disfrutar de un equilibrio biológico y social que constituya un estado de bienestar en relación con el medio que lo rodea; implica el poder tener acceso a los servicios que permitan el mantenimiento o la restitución del bienestar físico, mental y social.<sup>84</sup>

Esto a través de lo indicado en el artículo 94 y 96 donde se establece la creación y desarrollo de instituciones, actividades de prevención, promoción, recuperación y rehabilitación de salud, control de calidad de los insumos o equipos que puedan dañar de alguna manera la salud o el bienestar de las personas, además de coordinar acciones complementarias para lograr el bienestar físico, mental y social.<sup>84</sup>

En la octava sección denominada trabajo en el artículo 102 inciso G, se establecen los derechos sociales mínimo en los cuales encontramos, la limitación de horarios de trabajo, en jornada diurna no se pueden exceder 8 horas diarias o 44 horas semanales de trabajo, en jornada nocturna no puede ser mayor a 6 horas diarias o más de 36 horas semanales y en caso se jornada mixta este no puede sobre pasar las 7 horas diarias ni las 42 horas semanales.<sup>84</sup>

En el inciso K se establece la protección de las mujeres trabajadoras sin discriminación al estar casada o soltera, además de velar por la protección de la salud en caso de maternidad. Es importante mencionar que en el artículo 206 se establece que el trabajador en ninguna instancia puede renunciar a sus derechos laborales por lo cual estado velará y protegerá el cumplimiento de estos.<sup>84</sup>

En el Código de Trabajo constituye los derechos y obligaciones en el ámbito laboral, tanto para los empleadores como lo empleados en la República de Guatemala. En el título quinto denominado; higiene y seguridad en el trabajo, abarca los artículos 197 al 205, al inicio de este en el artículo 197; con el título medidas mínimas obligatorias para el empleador, indica que la institución o los empleadores están obligados a tomar medidas adecuadas para la protección eficaz de la vida, la seguridad y la salud de los trabajadores al estar realizar la prestación de sus servicios.<sup>85</sup>

Esto a través de acciones de prevención entre las más importante podemos mencionar:

- Mantener la maquinaria o equipo a operar se encuentre en un adecuado estado de conservación, funcionamiento y uso. Realizando inspecciones y mantenimiento rutinario
- Promover un ambiente sano de trabajo y suministrar ropa o equipo de protección destinados a disminuir riesgos laborales.
- La maquinaria y las instalaciones debe poseer resguardos o protecciones para disminuir el riesgo de lesiones hacia los trabajadores
- Informar a los trabajadores de los posibles riesgos de salud e integridad que pueden adquirir al realizar dicha actividad labora
- Realizar capacitaciones constantes sobre higiene y seguridad a los trabajadores

Si en caso alguna de estas acciones de prevención no se cumpliera y el personal sufriera algún accidente de trabajo que provoque una alguna incapacidad o muerte del trabajador la parte empleadora quedará obligada de indemnizar a los perjuicios causados hacia el trabajador en salud con la independencia de pensiones que pudiese ser cubierto por un régimen de seguridad social como el IGSS.<sup>85</sup>

En el artículo 201 denominado “Labores, instalaciones e industriales insalubres y peligrosas” se expone que las condiciones o los materiales utilizados y generados pueden propiciar la aparición de efectos nocivos a los trabajadores, por lo cual es de importancia que este tipo de situaciones se acaten normas adecuadas para restringir o someter normas especiales para estas actividades.<sup>85</sup>

El Código de Salud establece las responsabilidades del sector salud en la república de Guatemala tanto a nivel privado como público. Establece las funciones del Ministerio de Salud (MSPAS), la importancia de las acciones de prevención y promoción de salud, los recursos que dispone el sector y la importancia de la investigación de salud.<sup>86</sup>

En el capítulo 4 del Código de Salud; denominado las unidades de apoyo diagnóstico para el tratamiento de la enfermedad, sección IV sobre las fuentes radiactivas, equipo generador de radiaciones ionizantes, no ionizantes y personas expuestas a las radiaciones; abarcando los artículos 206 al 212. Al inicio de esta sección en el artículo 206 indican que para operar equipo generador de radiación debe acatar las normas que dicte el Ministerio de Energía y Minas.<sup>86</sup>

En el artículo 207 establece el MSPAS está obligado a realizar vigilancia médica hacia el personal que esté expuesto a radiación. Además, el Ministerio de Energía y Minas debe realizar control de la exposición a través de un sistema de dosimetría personal para el monitoreo de la dosis de radiación limitando los niveles que reciben y evitando que se superen los niveles permitidos.<sup>86</sup>

Es importante mencionar que el artículo 208 indica que es necesario contar con la autorización del ministerio de energía y minas o en casos especiales por el ministerio de salud poder realizar actividades relacionadas radiación; como comercialización, suministro, manipulación, generación de radiación u otras actividades.<sup>86</sup>

El artículo 210 se establece que las personas o instituciones en las cuales los trabajadores este relacionados con fuentes radioactivas y equipo generador de radiación deben velar por su seguridad, esto a través de proveer de equipos y medios de protección, realización periódica del estado de salud, capacitación continua en protección radiológica y contar con los requisitos necesarios para las respectivas licencias que garanticen el cumplimiento de la normativa nacional.<sup>86</sup>

En Guatemala los principales reglamentos sobre protección sanitaria en materia de radiaciones ionizantes son el decreto 11-86 denominado: “Ley Para El Control, Uso Y Aplicación De Radioisótopos Y Radiaciones Ionizantes y el acuerdo 55-2001”; “Reglamento De Seguridad Y Protección Radiológica De La Ley Para El Control, Uso Y Aplicación De Radioisótopos Y Radiaciones Ionizantes”. Los acuerdos anteriores se encuentran basados en el normativo de “Protección Radiológica y Seguridad de las Fuentes de Radiación: Normas Básicas Internacionales de Seguridad de la OIEA”.<sup>5,86</sup>

Estos normativos abarcan diferentes aspectos a evaluar, entre ellos están la explotación de minerales radiactivos la producción, tratamiento, manipulación, utilización, posesión, almacenamiento, transporte, eliminación de sustancias radiactivas, la aplicación a los aparatos productores de radiaciones ionizantes y a cualquier actividad que implique un riesgo producto de las mismas.<sup>87,88</sup>

En el acuerdo gubernativo 55-2001 los artículos 9 y 70 mencionan la importancia de establecer los límites de dosis de radiación que se puede recibir. Estos límites no pueden ser rebasados y pueden ser rebajados a través de la optimización adecuada de estudios. Actualmente el límite de dosis de radiación se evalúa en un periodo de 1 año, cambia según el tipo de profesional o población en general y si son circunstancias especiales como el embarazo o la lactancia.<sup>88</sup>

Los límites establecidos para los trabajadores son una dosis efectiva de 20 mSv por año, en un periodo de 5 años consecutivos, una dosis efectiva de 50 mSv en un solo año, una dosis equivalente para el cristalino de 150 mSv en un año o una dosis equivalente para las extremidades o piel de 500 mSv en un año. Siendo estos límites establecidos con base a los niveles orientativos internacionales normados por la OIEA.<sup>88</sup>

En el caso de los estudiantes y aprendices el artículo 76 indica los límites aceptados son una dosis efectiva de 6 mSv en un año, una dosis equivalente para el cristalino de 50 mSv o para

extremidades 150 mSv en un año. Además, el artículo 72 limita la dosis para el público general una dosis efectiva de 1 mSv en 1 año o en casos especiales 5 mSv en 1 año; siempre que no sobrepase el promedio de 1 mSv en 5 años consecutivos. Para las dosis equivalentes son 15 mSv para el cristalino o 50 mSv para la piel.<sup>88</sup>

Es importante mencionar que el artículo 83 indica si un POE se encuentra en estado gestante o en periodo de lactancia debe informar a las autoridades del servicio, las condiciones en estos casos deben ser igual al público general intentando no exceder una dosis efectiva mayor de 1 mSv durante la lactancia o el embarazo. Además, el área donde se encuentre la profesional no debe provocar un riesgo significativo de contaminación radioactiva.<sup>88</sup>

En el artículo 90 se establece la necesidad de establecer la importancia de la vigilancia médica a través del cumplimiento de los principios de medicina laboral y diseñar condiciones adecuados para la salud de los trabajadores. El artículo 91 indica el registro de dosimetría de los trabajadores ocupacionalmente expuesto, estos registros deben especificar la práctica que se realiza, la dosis de radiación recibida y otras dosis registradas en otras instalaciones o prácticas, estos registros deben ser proporcionados a las autoridades de las instituciones donde labora.<sup>88</sup>

Por último, el artículo 92 indica las responsabilidades de los titulares respecto al registro de dosis, en donde se establece que se debe proporcionar el acceso y copia a los trabajadores o a los encargados de protección radiológica sobre los registros de dosis de radiación, además de mantener dicho registro de forma confidencial y conservar el registro toda la vida laboral de los trabajadores a menos hasta que tengan 75 años o 30 años después de a ver cesado actividades en dicha institución.<sup>88</sup>

Las licencias profesionales u operacionales son permiso otorgados por la dirección o entidad competente, en este caso la Dirección General de Energía, del Ministerio de Energía y Minas, que autoriza el instalar u operar equipo generador de radiación ionizante debido a que cumple con todos los requisitos necesarios de la norma establecida. En el título II del acuerdo gubernativo 55-2001; denominado licencias y del procedimiento para su otorgamiento. Abarca del artículo 22 al 47, establece todos los lineamientos y requisitos que debe optar un individuo o institución para poder operar, trasportar, importar o exportar, comercializar entre otras actividades relacionadas con equipo de radiación ionizante.<sup>88</sup>

Entre los aspectos más importantes para optar a una licencia operacional el interesado debe poseer un grado académico adecuado; este caso puede ser a nivel universitario o técnico dependiendo el tipo de licencia a solicitar, poseer cursos aprobados de protección radiológica reconocidos por el Ministerio de Energía y Minas.; dependiendo del tipo de licencia puede ser avanzado o básico, el poseer experiencia y conocimiento del equipo a utilizar. En caso de

renovación de licencia es necesario contar con un registro de dosimetrías personales o examen médico autorizado.<sup>89,90</sup>

Además de lo anterior las instituciones donde se labore con equipos de radiación ionizante es necesario que posea licencia y acreditación para realizar dicha práctica, es necesario contar con un encargado de protección radiológica, un especialista en física médica, un listado de los operadores de la institución que cumplan con la licencia de operador, así como un manual de procedimientos el cual contara con requisitos de mantenimiento, protección seguridad, garantía de calidad, situaciones de emergencia o de exposición potencial y garantía de calidad.<sup>89,90</sup>



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General**

3.1.1. Caracterizar la radiación ionizante en el personal ocupacionalmente expuesto en el departamento de radiología del Hospital General San Juan de Dios, Hospital Roosevelt, Hospital Regional de Cuilapa, Santa Rosa “Lic. Guillermo Fernández Llenera”; Hospital General de Enfermedades, Hospital General “Dr. Juan José Arévalo Bermejo” y Hospital General de Accidentes “Ceibal” del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social en 2019.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- 3.2.1. Describir las características sociodemográficas según edad y sexo del personal ocupacionalmente expuesto.
- 3.2.2. Indicar las características laborales según: área laboral, profesión, jornada laboral, sector de salud y vigencia de licencias operativas, en el personal ocupacionalmente expuesto.
- 3.2.3. Identificar las características de exposición a radiación ionizante según: uso del dosímetro, uso de medidas de protección a la radiación ionizante, medidas físicas de protección a la radiación ionizante, conocimiento de los protocolos institucionales de protección a la radiación ionizante, almacenamiento de dosímetro, suspensión laboral por sobreexposición a radiación ionizante, extravío del dosímetro, reporte de radiación ionizante y nivel de radiación ionizante en el personal ocupacionalmente expuesto.



## 4. POBLACIÓN Y MÉTODOS

### 4.1 Enfoque y diseño de la investigación

#### 4.1.1 Enfoque

Cuantitativo

#### 4.1.2 Diseño

Descriptivo prospectivo

### 4.2 Unidad de análisis y de información

#### 4.2.1 Unidad de análisis

Datos sociodemográficos, laborales y de exposición a radiación ionizante, obtenidos por el instrumento de recolección de datos, y niveles de radiación.

#### 4.2.2 Unidad de información

El personal ocupacionalmente expuesto compuesto por técnicos y residentes de radiología, y los niveles de radiación proporcionados por la jefatura del departamento de radiología de los hospitales estudiados.

### 4.3 Población y muestra

#### 4.3.1 Población

Población diana: Personal ocupacionalmente expuesto a radiación ionizante de los departamentos de radiología.

Población de estudio: técnicos y residentes que laboraron en los departamentos de radiología de los hospitales incluidos en el estudio.

#### 4.3.2 Muestra

En el presente estudio no se realizó cálculo de muestra ya que se trabajó con la población de los departamentos de radiología.

#### 4.3.2.1 Marco muestral

Unidad primaria de muestreo: la conformaron los departamentos de radiología incluidas en el estudio.

Unidad secundaria de muestreo: estuvo conformada por técnicos y residentes del departamento de radiología de los hospitales a estudio.

#### 4.3.2.2 Tipo y técnica de muestreo

Se aplicó un muestreo no probabilístico cuya técnica de muestreo fue por conveniencia.

### 4.4 Selección de sujetos a estudio

#### 4.4.1 Criterios de inclusión

- Técnico y residente que aceptó participar y firmó el consentimiento informado de manera voluntaria, que fue contratado por el departamento de radiología de la institución a estudio y que tuvo un registro del nivel de dosimetría durante el 2018.

#### 4.4.2 Criterios de exclusión

- Técnico y residente que se encontró en periodo vacacional.
- Técnico en radiología contratado por medio de empresas privadas.

#### 4.5 Definición y operacionalización de las variables

Macro-variable	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición	Criterios de clasificación
Características sociodemográficas	Edad	Tiempo que ha vivido un individuo desde su nacimiento.	Edad en años que refirió el personal ocupacionalmente expuesto al momento de realizar la encuesta.	Numérica discreta	Razón	Años
	Sexo	Condición orgánica masculina o femenina de los animales o las plantas.	Auto-percepción de la identidad sexual que refirió el personal ocupacionalmente expuesto en la encuesta.	Categórica Dicotómica	Nominal	Masculino Femenino
Características laborales	Área laboral	Espacio o ambiente en donde las personas realizan diferentes labores.	Área del departamento de radiología en la que desempeñó labores el personal ocupacionalmente expuesto, las cuales refirió en la encuesta.	Categórica Politómica	Nominal	Rayos X Fluoroscopio Otros
	Profesión	Actividades que realiza durante la jornada de trabajo, en base a su preparación técnica.	Cargo que desempeñó durante la jornada de trabajo el personal ocupacionalmente expuesto en el momento que realizó la encuesta.	Categórica Dicotómica	Nominal	Técnico Médico Residente de radiología

<b>Características laborales</b>	Jornada laboral	Tiempo que cada trabajador dedica a la ejecución del trabajo	Rango de horas que laboró el personal ocupacionalmente expuesto por semana al momento que realizó la encuesta.	Categórica Politómica	Ordinal	<12 horas/semana De 13 a 24 horas/semana De 25 a 36 horas/semana De 37 a 48 horas/semana >48 horas/Semana
	Sector de salud	Conjunto de bienes y servicios encaminados a preservar y proteger la salud de las personas.	Subsectores públicos, privados y seguro social en donde laboró el personal ocupacionalmente expuesto y que anotó en la encuesta.	Categórica Politómica	Nominal	Privado MSPAS IGSS
			Número de lugares en donde trabajó el personal ocupacionalmente expuesto y que anotó al realizar la encuesta.	Numérica Discreta	Razón	1 2 3 Más de 4
	Vigencia de licencias operativa.	Permiso escrito otorgado a técnicos de radiología por la dirección para instalar u operar equipo generador de radiación	Vigencia de licencia de operación de equipo con emisión de radiación de los técnicos al momento que realizó la encuesta.	Categórica Politómica	Nominal	SI No No aplica

<b>Características de exposición a radiación</b>	Uso del dosímetro	Uso y apego de dosímetro durante la jornada laboral.	Uso de dosímetro por el personal ocupacionalmente expuesto cuando realizó la encuesta.	Categórica dicotómica	Nominal	Si No
	Uso de medidas de protección a la radiación ionizante	Uso del equipo provisto por la institución para protección contra la radiación ionizante durante la jornada laboral	Uso del equipo de protección contra radiación ionizante por el personal ocupacionalmente expuesto durante la jornada laboral referido cuando realizó la encuesta.	Categórica dicotómica	Nominal	Si No
	Medidas físicas de protección a la radiación ionizante	Equipo que posee blindaje que reduce la penetración de radiación ionizante a los tejidos expuestos.	Conjunto de blindajes para evitar la exposición directa a la radiación que utilizó el personal ocupacionalmente expuesto y anotó al momento de la encuesta.	Categórica Politómica	Nominal	Chaleco de plomo Cuello de plomo Gafas de protección Ninguna

<b>Características de exposición a radiación</b>	Conocimiento de los protocolos institucionales de protección a la radiación ionizante	Conocimiento de los protocolos de protección contra radiación dentro de la institución	Conocimiento y aplicación de los protocolos de protección contra radiación ionizante, referida por el personal ocupacionalmente expuesto durante la encuesta.	Categórica dicotómica	Nominal	Si No
	Almacenamiento de dosímetro	Lugar de resguardo para el dosímetro al finalizar la jornada laboral.	Lugar de resguardo del dosímetro al finalizar la jornada laboral, la cual fue referida por el personal ocupacionalmente expuesto.	Categórica Politómica	Nominal	Caja de protección Locker Casa Otros
	Suspensión laboral por sobreexposición a radiación ionizante	Suspensión de labores debido a sobreexposición a radiación ionizante.	Suspensión laboral debida a sobreexposición a radiación ionizante, referida por el personal ocupacionalmente expuesto durante la encuesta.	Categórica dicotómica	Nominal	Si No

<b>Características de exposición a radiación</b>	Extravío del dosímetro	Pérdida temporal del dosímetro.	Pérdida o extravió en el 2018 del dosímetro, la cual fue referida por el personal ocupacionalmente expuesto.	Categórica dicotómica	Nominal	Si No
			Tiempo de extravió del dosímetro durante el 2018 referido por el personal ocupacionalmente expuesto durante la encuesta.	Categórica Politómica	Ordinal	1 a 2 Semanas 3 a 4 Semanas 5 a 8 semanas 9 o más semanas No aplica
	Reporte de radiación ionizante	Notificación mensual y anual del registro de dosimetría del personal expuesto.	Sectores de salud que reportaron el nivel de dosimetría mensual y anual al personal ocupacionalmente expuesto al que se realizó la encuesta.	Categórica Politómica	Nominal	MSPAS Privado IGSS
	Nivel de radiación ionizante	Cantidad de energía cedida por irradiación por la materia irradiada por unidad de masa.	Registro de nivel de radiación ionizante personal del 2018 reportada por las institucionales a los investigadores.	Numérica continua	Razón	Valor en mSv

## 4.6 Técnica, procesos e instrumentos utilizados en la recolección de datos

### 4.6.1 Técnicas

Se realizó una encuesta guiada por los investigadores y se hizo una revisión sistematizada y exhaustiva de los reportes de dosimetría del año 2018 proporcionados por cada hospital.

### 4.6.2 Procesos

- Se obtuvo la aprobación de las autoridades de los hospitales y por la Coordinación de Trabajos de Graduación (COTRAG) junto con la aprobación del Comité de Bioética en Investigación en Salud, se procedió a realizar el trabajo de campo.
- Se coordinó con las autoridades hospitalarias y departamentos correspondientes, la programación de reuniones con los sujetos a estudio. Los sujetos que no asistieron a dichas reuniones se les citó en otra fecha para la realización de la encuesta.
- Previo a que las personas incluidas en el estudio respondieran la encuesta, se les informó que la misma era de carácter voluntario y sobre la confidencialidad del estudio, posteriormente se les entregó el consentimiento informado y se resolvieron dudas en cuanto a aspectos éticos.
- Posterior a la autorización voluntaria y firma del consentimiento informado, los participantes respondieron la encuesta.
- Se procedió a recolectar las encuestas contestadas para su tabulación y creación de una base de datos. Además, se solicitó a los departamentos de radiología los consolidados de dosimetría del año 2018 de cada encuestado.
- Al finalizar el período del trabajo de campo, se solicitaron las cartas que certificaron la ejecución del mismo en las diferentes instituciones en estudio.
- Se presentó la base de datos construida a la revisora de COTRAG quien la revisó y la aceptó.
- Se obtuvo los datos del ingreso de la información generada por la encuesta que posteriormente fueron sometidos a un análisis estadístico univariado, en el que se aplicó medidas de tendencia central, dispersión, frecuencias, proporciones y porcentajes.
- Se discutió sobre los resultados obtenidos y se construyeron las conclusiones del estudio.
- Posteriormente se evaluó el informe final por el asesor, revisor y COTRAG para su presentación final.
- Los datos permitieron generar un informe para cada hospital con base a los resultados obtenidos.

#### 4.6.3 Instrumentos

Para recolectar los datos requeridos en este estudio, se elaboró una encuesta la cual consistió en 15 preguntas cerradas dando opción a marcar una o en algunos casos más de una respuesta, variando entre 2 a 6 opciones para responder. El encuestado guiado por el investigador marcó cada encuesta a fin de determinar características sociodemográficas, laborales y de exposición. Esta encuesta se complementó con los reportes de dosis de radiación a la que fue expuesto el sujeto durante el 2018, la cual fue brindada por las instituciones a estudio.

### 4.7 Procesamiento y análisis de datos

#### 4.7.1 Procesamiento de datos

- Se utilizó el instrumento de recolección de datos para recabar la información de cada personal ocupacionalmente expuesto de los distintos hospitales a estudio.
- Se solicitó los datos de dosimetría del año 2018 de los hospitales a estudio para la recolección de niveles de radiación ionizante.
- Luego se tabularon los datos utilizando la hoja electrónica de procesamiento de datos de Microsoft Office Excel 2010 para la creación de una base de datos, luego a cada variable se le asignó un código numérico para que sea reconocido por el programa Excel.
- Por medio del instrumento de recolección de datos se evaluaron 14 variables y por medio de los reportes de dosimetría del año 2018 se evaluó la variable nivel de radiación. La tabla de codificación de variables consta de 7 columnas las cuales son en orden: macro-variables, variables, definición conceptual, definición operacional, tipo de variable, escala de medición, criterios de clasificación y se compone de 15 filas en las cuales se encuentran las variables a estudio. La tabla de la codificación que se creó contiene tres macro-variables las cuales derivan las variables las cuales son en orden: características sociodemográficas que contiene a su vez las variables edad y sexo que fueron evaluadas por medio de la encuesta; las características laborales que contiene a su vez las variables: área laboral, profesión, jornada laboral, número de instituciones en las que labora en el sector salud y vigencia de licencia de operación que fueron evaluadas por medio de la encuesta; por último la macro-variable exposición a la radiación que contiene las variables: utilización del dosímetro, uso de medidas físicas de protección a radiación, conocimiento de los protocolos de radiación institucionales, almacenamiento de dosímetro, suspensión laboral por sobreexposición, extravío

del dosímetro, reporte de radiación y nivel de radiación la cuales fueron evaluadas con la encuesta con excepción de la variable nivel de radiación la cual se evalúa mediante los resultados de dosimetría del año 2018 del personal ocupacionalmente expuesto de los hospitales a estudio.

#### 4.7.2 Análisis de datos

Los datos obtenidos por medio del instrumento de recolección de datos se analizaron de la siguiente manera:

Para el primer objetivo que corresponde a la identificación de características sociodemográficas se tomaron los datos de la variable edad, debido a su naturaleza numérica se le aplicó medias de tendencia central y dispersión. Al dato obtenido por la variable sexo, se le analizó con medias de tendencia central, porcentaje, razón y proporción.

En cuanto al segundo objetivo planteado las características laborales de tipo categórica siendo estas: área laboral profesión jornada laboral y vigencia de licencia operativa, las cuales se les aplicó un análisis por medio de medidas de tendencia central, razón y porcentaje. Para la variable sector salud se precisó de un análisis mixto, el cual fue por medio de medias de tendencia central, porcentaje, proporción y dispersión.

En el tercer objetivo se analizó los datos de exposición a radiación ionizante, siendo estas las variables de tipo categórica: uso de dosímetro, usos de medias de protección a la radiación ionizante, medidas físicas de protección a la radiación ionizante, conocimiento de los protocolos de radiación ionizante, almacenamiento de dosímetro, suspensión laboral debido a sobreexposición a radiación ionizante, extravió de dosímetro y reporte de radiación, estas se analizaron por medio de medidas de tendencia central, proporción y porcentaje. Para la variable numérica nivel de radiación se aplicó un análisis por medio de medidas de tendencia central, medidas de dispersión y posición.

### 4.8 Alcances y límites de la investigación

#### 4.8.1 Obstáculos

El estudio sobre la radiación ionizante fue de tipo descriptivo prospectivo, lo cual fue limitante para establecer una relación causal entre las características sociodemográficas, laborales, nivel de radiación ionizante y exposición de la misma, así como la relación con la salud de dicho personal, únicamente se logró caracterizar al personal ocupacionalmente expuesto.

#### 4.8.2 Alcances

El estudio permitió describir las características sociodemográficas, laborales y de exposición a radiación ionizante en personal ocupacionalmente expuesto en 6 instituciones hospitalarias a través de un estudio descriptivo prospectivo, por medio de una encuesta y un análisis estadístico univariado, lo cual facilitó el estudio de múltiples variables en un tiempo determinado, cuya información fue confiable y certera, ya que se trató de un estudio prospectivo, con esto se fortaleció la brecha de estudios locales en la comunidad científica sobre esta temática.

### 4.9 Aspectos éticos de la investigación

#### 4.9.1 Principios éticos generales

La presente investigación se fundamentó por los principios éticos que deben seguir todos los estudios realizados, se siguieron las pautas éticas internacionales para la investigación relacionada con la salud con seres humanos. Se respetó la pauta 1, porque al momento de realizar el estudio no se tuvo ningún tipo de conflicto con el personal ocupacionalmente expuesto, respetando sus derechos y autonomía, valorando la protección de su integridad, datos personales y cumpliendo las normas de los establecimientos. Los datos personales no fueron revelados al momento de presentar el informe final a los diferentes hospitales a estudio. Se cumplió con la pauta 9 del derecho del participante de dar un consentimiento informado, no se obligó a ningún personal de radiología a participar, ni se amenazó en ningún momento; se dio libertad a los sujetos de no participar si así lo deseaban. Se cumplió de igual manera con la pauta 12 en la que la información recolectada fue solo para fines de investigación, no se presentó ningún dato personal de ningún trabajador y se usaron los datos en beneficio de la investigación. También se cumplió con la pauta 18 al no discriminar a la mujer de la investigación, ya que se tomó en cuenta y fueron datos valiosos que ayudaron a la investigación, y no se vulneró ningún aspecto ético del trabajador, preservando el principio de beneficencia y no maleficencia. Los investigadores no tuvieron ningún tipo de conflicto de interés dentro del estudio.<sup>90</sup>

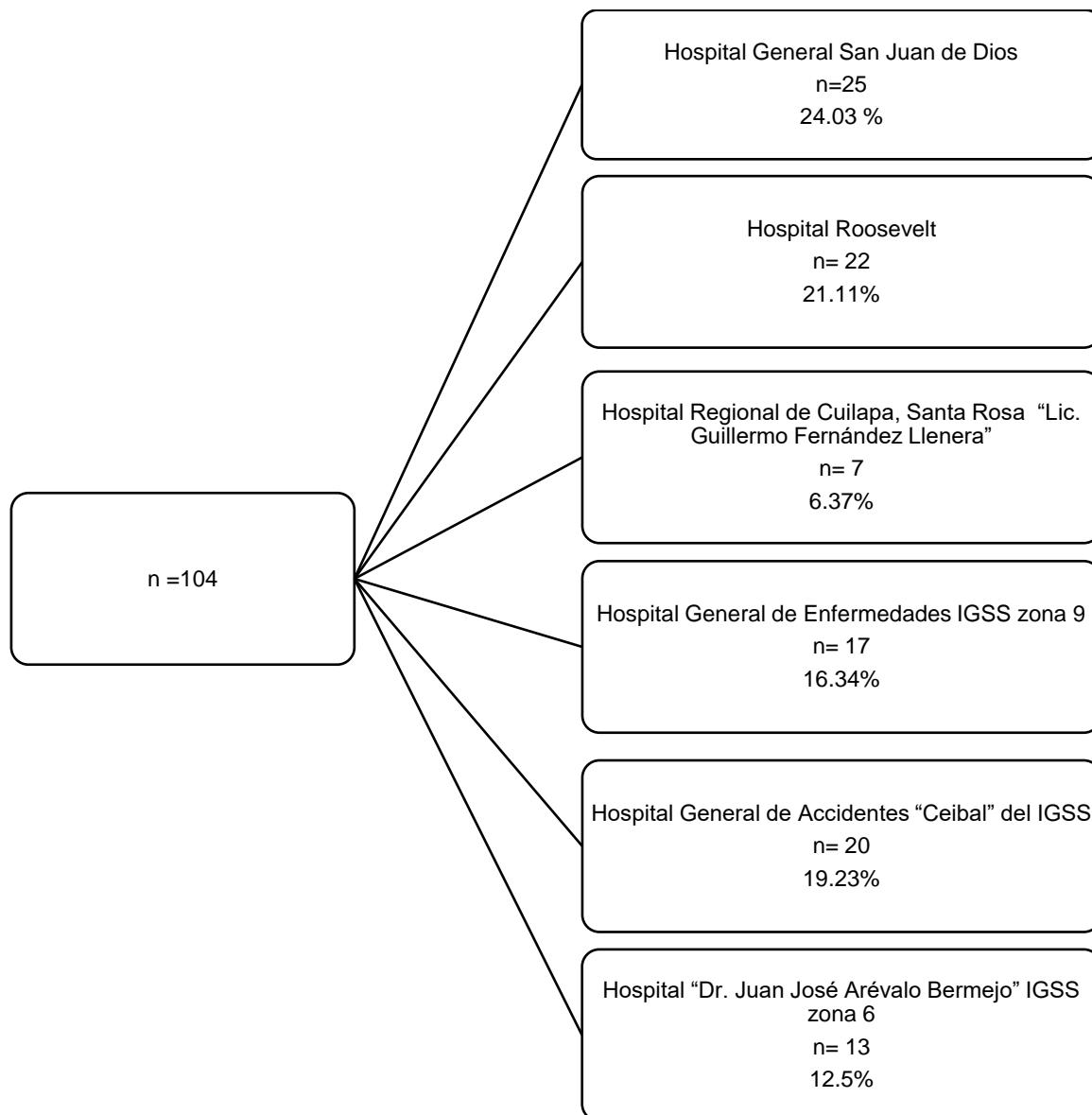
#### 4.9.2 Categoría de riesgo

Este estudio pertenece a la categoría de riesgo I. Eso es debido a que la investigación, solo precisó de datos laborales y no se intervino en la intimidad de las personas ya que previamente se les brindó un consentimiento informado para su autorización. Los datos se recolectaron por medio de una encuesta guiada por el investigador y los niveles de dosimetrías brindada por el hospital.



## 5. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos por medio del análisis de los datos generados por el instrumento de recolección de datos aplicado a los técnicos y los médicos residentes en el departamento de radiología del Hospital General San Juan de Dios, Hospital Roosevelt, Hospital Regional de Cuilapa, Santa Rosa “Lic. Guillermo Fernández Llenera”; Hospital General de Enfermedades, Hospital General “Dr. Juan José Arévalo Bermejo” y Hospital General de Accidentes “Ceibal” del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social en 2019, con el fin de realizar una caracterización sociodemográfica, laboral y de exposición a radiación ionizante.



**Tabla 1.** Características sociodemográficas en el personal ocupacionalmente expuesto a radiación ionizante a estudio.

**n=104**

<b>Características</b>	<b>f</b>	<b>%</b>
<b>Edad (<math>\bar{x}</math>; DE) 37.65 ±9.70</b>		
22-27	19	18.27
28-32	20	19.23
33-37	16	15.38
38-42	18	17.31
43-47	11	10.58
48-52	11	10.58
53-57	6	5.77
58-62	3	2.88
<b>Sexo</b>		
Masculino	63	60.58
Femenino	41	39.42

$\bar{x}$ = media muestral

DE= desviación estándar

**Tabla 2.** Características laborales en el personal ocupacionalmente expuesto a radiación ionizante a estudio.

**n=104**

<b>Características</b>	<b>f</b>	<b>%</b>
<b>Profesión</b>		
Técnico	85	81.73
Médico residente	19	18.27
<b>Área laboral</b>		
Rayos X	57	54.81
Fluoroscopía	3	2.88
Rayos X y fluoroscopía	44	42.31
<b>Vigencia de licencia operativa*</b>		
Sí	77	90.58
No	8	9.41

\* Este dato corresponde al personal técnico.

**Tabla 3.** Características laborales en el personal ocupacionalmente expuesto a radiación ionizante a estudio.

Características	f	%
<b>Sectores laborales del POE</b>		
IGSS	32	30.77
Privado	-	-
MSPAS	36	34.62
MSPAS e IGSS	11	10.58
MSPAS y privado	13	12.50
IGSS y privado	9	8.65
IGSS, privado y MSPAS	3	2.88
<b>Número de instituciones donde labora</b>		
Una	65	62.50
Dos	36	34.62
Tres	3	2.88
Cuarto o más	-	-
<b>Horas laborales por semana</b>		
<12 horas	23	22.12
13-24 horas	32	30.77
25-36 horas	26	25.00
37-48 horas	9	8.65
48-60 horas	8	7.69
>60 horas	6	5.77

**Tabla 4.** Características de exposición a radiación ionizante en el personal ocupacionalmente expuesto a estudio.

Características	f	%
<b>Uso de dosímetro</b>		
Sí	68	65.38
No	36	34.62
<b>Uso de medidas de protección</b>		
Sí	101	97.12
No	3	2.88
<b>Medidas físicas de protección</b>		
Chaleco	25	24.04
Cuello	1	0.96
Gafas	-	-
Chaleco y cuello	36	34.62
Chaleco y gafas	2	1.92
Cuello y gafas	-	-
Cuello, gafas y chaleco	35	33.65
Ninguna	5	4.81
<b>Almacenamiento del dosímetro</b>		
Caja Protección	23	22.12
Locker	61	58.65
Casa	4	3.85
Otros*	16	15.38
<b>Extravío del dosímetro</b>		
SI	3	2.88
No	101	97.12
<b>Tiempo de extravío del dosímetro</b>		
De 1 a 2 Semanas	1	33.33
De 3 a 4 semanas	-	-
De 5 a 8 Semanas	1	33.33
Más de 9 Semanas	1	33.33

\* Dentro de la opción otros se registró los siguientes lugares: carro, mochila, perchero de dosímetros, escritorio en archivo de radiología.

**Tabla 5.** Características de exposición a radiación ionizante en el personal ocupacionalmente expuesto a estudio.

Característica	f	%
<b>Conocimiento de los protocolos institucionales de protección</b>		
Sí	96	92.31
No	8	7.69
<b>Suspensión laboral por sobreexposición.</b>		
Sí	2	1.92
No	102	98.08
<b>Reporte de radiación ionizante</b>		
MSPAS	23	22.12
IGSS	28	26.92
Privado	8	7.69
IGSS y MSPAS	7	6.73
MSPAS y privado	4	3.85
IGSS y privado	7	6.73
IGSS, privado y MSPAS	2	1.92
Ninguno	25	24.04
<b>*Nivel de radiación ionizante (<math>\bar{x}</math>;DE) <math>1.98 \pm 3.90</math> mSv</b>		
0.24 a 5.12	94	97.92
5.13 a 10.00	-	0.00
10.01 a 14.89	1	1.04
14.90 a 34.42	-	0.00
34.43 a 39.30	1	1.04

$\bar{x}$ = media muestral

DE= desviación estándar

\*El límite anual permitido en 5 años consecutivos a exposición es menor a 20 mSv.



## 6. DISCUSIÓN

Este estudio trató sobre características sociodemográficas, laborales y de exposición a radiación en el personal ocupacionalmente expuesto, el cual permitió registrar el apego a las normas de protección radiológica de los mismos; esta acción sumamente importante asegura la salud de los mismos, sin embargo, las normas no hacen énfasis en las características del POE que lo predisponen a exponerse a dosis de radiación fuera de los límites permitidos.

Por tales razones, se realizó un estudio descriptivo prospectivo que incluyó el departamento de radiología del Hospital General San Juan de Dios, Hospital Roosevelt, Hospital Regional de Cuilapa, Santa Rosa “Lic. Guillermo Fernández Llenera”; Hospital General de Enfermedades, Hospital General “Dr. Juan José Arévalo Bermejo” y Hospital General de Accidentes “Ceibal” del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social en 2019, el estudio se estructuró de tal manera que se encuestó a 104 técnicos y médicos residentes de radiología, y se recabó los registros de dosimetrías proporcionados por las jefaturas de rayos X de cada hospital.

De las características sociodemográficas estudiadas, la edad media fue de 37.65 años y desviación estándar de  $\pm 9.70$ , estos resultados fueron muy similares a los encontrados por Coto B, Ceballos M, con una edad media de 35 años, no obstante, el estudio INWORKS tuvo una muestra con una edad media de 58 años, es importante mencionar que, las edades de los encuestados se encontraron dentro de los límites estipulados en el Código del Trabajo de nuestro país.<sup>6,11,13,85</sup>

Con respecto al sexo el 60.58 % fue de sexo masculino, muy similar a lo encontrado por Coto B, Ceballos M, con 55 % de sexo masculino y el 45 % femenino; en contraste, con otros estudios como el de Zielinski J et al., el 65 % de los participantes fue femenino y en el estudio INWORKS en el que el 87 % fue masculino, se debe destacar que, tanto en nuestro estudio como en los descritos, no hay un patrón que sugiera que haya mayor exposición laboral de acuerdo al sexo.<sup>6,11,13,85</sup>

En cuanto a las características laborales, 54.81 % se desempeñó en el área de rayos X, el 42.31 % tanto en rayos X como en fluoroscopía y el 2.88 % sólo en el área de fluoroscopía, se debe hacer mención de un estudio realizado por Linet M et al., en el que se identificó que los trabajadores del área de fluoroscopía se expuso a mayor radiación ionizante y, por lo tanto, a un mayor riesgo de desarrollar neoplasias.

En relación a técnicos y médicos residentes, el 81.73 % fue técnicos y el 18.27 % médicos residentes de radiología, similar a lo que Coto B, Ceballos M, encontró en su estudio, en el que 63.15 % fue técnicos, 21.05 % médicos residentes y 15.78 % médicos radiólogos.<sup>6,11,87,88</sup>

En tanto a la jornada laboral, en la cual se establece el total de horas laboradas por el personal ocupacionalmente expuesto en todos los sectores laborales, se encontró que el 22.12 % tuvo jornadas laborales menores de 12 horas/semana, el 30.77 % de 13 a 24 horas/semana, el 25 % tuvo jornadas de 25 a 36 horas/semana y un 5.77 % jornadas de más de 60 horas/semana, estos resultados son similares con el estudio realizado por Söylemez, H et al., que se enfocó en el personal médico de urología expuesto a radiación por los procedimientos urológicos con fluoroscopía, en quienes se determinó que el 100 % se expuso al menos 1 vez a la semana y un 72.5 % lo hizo 3 veces a la semana.<sup>91</sup>

Lo anterior se complementó con lo que establece el Código de Trabajo de Guatemala en el capítulo tercero y artículo 116, en donde la jornada ordinaria de trabajo efectivo diurno no puede ser mayor a 8 horas diarias, ni exceder de un total de 48 horas a la semana; no obstante, las jornadas laborales del POE en las instituciones públicas y del IGSS están estandarizadas en 5 horas diarias de trabajo con el fin de dar un margen de seguridad en materia de protección radiológica, limitando los tiempos de exposición a radiación; dicha condición se desconoce si se cumple en las instituciones privadas donde laboran los técnicos, debido a que no está definido en el marco legal nacional.<sup>85,87,88</sup>

Respecto a los sectores de salud, se encontró que el 34.62 % laboró sólo en el MSPAS, 30.77 % sólo en el IGSS, 12.5 % en el MSPAS y sector privado, 10.58 % en MSPAS e IGSS y un 2.88 % trabajó en el IGSS, MSPAS y sector privado.

En cuanto al número de instituciones, el 62.5 % indicó que durante el año previo trabajó en una institución, el 34.62 % en dos instituciones y el 2.88 % en tres; este dato adquirió valor debido a que en el marco legal actual no se contempla un máximo de instituciones en las que el POE puede laborar y el nivel de radiación ionizante adquirido en cada una de ellas, por lo que este personal pudo sobrepasar fácilmente el nivel de radiación ionizante permitido; en otros países latinoamericanos como Chile, cuentan con un sistema de vigilancia radiológica que supervisa los niveles de radiación a las que se expone el POE.<sup>16</sup>

El 90.58 % de los técnicos de radiología tuvo licencia operativa vigente, sin embargo, 9.41 % indicó que no tenía dicha vigencia, la tenencia de la respectiva licencia certifica que el personal está capacitado para manejar el equipo radiológico y conoce los protocolos de protección, tomando en consideración que dicha licencia debe ser renovada cada 2 años según el reglamento nacional, siendo esta de carácter obligatorio.<sup>88</sup>

En materia de exposición a la radiación, en el momento en que se realizó la encuesta, el 65.38 % sí utilizó el dosímetro, pero el 34.62 % no, aunque este parámetro no es representativo del uso del dosímetro, sí permite vislumbrar el apego al mismo; situación similar reportó Tomasina F et al., donde identificó que durante la realización de su estudio hay falta de seguridad respecto al uso permanente y adecuado del dosímetro.<sup>15</sup>

El 97.12 % utilizó medidas de protección y un 2.88 % no lo hizo; éstos resultados se pueden contrastar con los encontrados por Coto B, Ceballos M, en el 2015 en el Hospital General San Juan de Dios donde encontró que el 93 % de los sujetos a estudio cumplieron las normas de protección, el uso de medidas de protección está estipulado en el artículo 69 del acuerdo 55-2001, que establece que es responsabilidad del trabajador usar sistemas de protección y monitoreo proporcionados por su institución empleadora.<sup>11,88</sup>

En cuanto a las medidas de protección, el 34.62 % de los encuestados, registró que usó cuello y chaleco; el 33.65 % cuello, chaleco y gafas; el 24.04 % usó sólo chaleco; y el 4.81 % ninguna medida de protección; un estudio realizado en residentes de urología europeos determinó que el 75 % de los residentes usó chaleco de plomo, no obstante, el uso de las demás medidas de protección (cuello, gafas, protector gonadal, guantes) fue muy bajo.<sup>91</sup>

El 92.31 % de los encuestados refirió conocer los protocolos institucionales de protección a la radiación ionizante, no obstante, el 7.69 % indicó desconocerlos, a pesar de que es un porcentaje bajo quienes los desconocen, es importante resaltar que todos los trabajadores deben conocer el protocolo de protección radiológica institucional y nacional para evitar sobreexponerse a radiación ionizante. Söylemez M et al., encontró en su estudio que un 44.4 % nunca tomó cursos de protección radiológica, por lo que desconocían los protocolos de seguridad; se debe resaltar que el cumplimiento de las normas en materia de protección radiológica es responsabilidad de la persona que funge con la figura de Encargado de Protección Radiológica (EPR) el cual es uno por cada servicio de radiología, esta figura está establecida en el Reglamento de la Ley Nuclear del país.<sup>84-88,91</sup>

De los sujetos a estudio, el 58.65 % de los trabajadores guardó su dosímetro en un locker, el 22.12 % en una caja de protección, 15.38 % en otros lugares y el 3.85 % en su casa, los sujetos que indicaron que guardaron su dosímetro en otros lugares, algunos lo hicieron en el carro, perchero de dosímetros, escritorio en archivo de radiología y mochila, según el Reglamento de seguridad y protección radiológica de la ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes que estipula que los dosímetros deben ser almacenados dentro de una caja o locker a prueba de radiación para evitar lectura incorrectas.<sup>87,88</sup>

Del total de los encuestados, el 1.92 % refirió haber sido suspendido por sobrepasar el nivel de radiación ionizante permitido, como se estipula en el artículo legislativo 18-93 de la

Constitución Política de República Guatemala el cual establece que las instituciones que manejan radioisótopos deben coordinar actividades complementarias de bienestar físico, mental y social de las personas que laboran en ellas, además, el decreto 207 del Código de Salud estipula que el MSPAS está obligado a realizar vigilancia médica hacia al personal que está expuesto a radiación y realizar control de la exposición a través de un sistema de dosimetría personal para el monitoreo de la dosis de radiación limitando los niveles que reciben y evitando que se superen los niveles permitidos.<sup>86</sup>

En cuanto al extravío del dosímetro, el 2.88 % del POE lo extravió, de estos, el 33.33 % lo extravió por 1 a 2 semana, el 33.33 % de 5 a 8 semanas y 33.33 % más de 9 semanas; este parámetro permitió determinar si los registros de dosimetría anuales de cada uno de ellos están infravalorando la dosis total de radiación recibida. Según el decreto 207 del Código de Salud en Guatemala, todo POE debe contar con un dosímetro funcional para realizar sus labores.<sup>84,87</sup>

Al POE se le reportó su nivel de radiación ionizante individual de la siguiente manera: al 26.92 % le reportó en el IGSS, 22.12 % en el MSPAS, el 7.69 % en el sector privado, 6.73 % tanto en el IGSS como en el MSPAS, 6.73 % IGSS y sector privado, 3.85 % tanto en MSPAS como en el sector privado, 1.92% en IGSS, MSPAS y sector privado, y al 24.04 % de los POE no se le informó su registro de dosimetría, es importante mencionar que los reportes de dosimetrías no siempre se informan directamente al POE, sino que ellos deben preguntar por los mismos, por lo que, si no lo hacen, no podrán conocer su dosimetría anual; según el artículo 90, 91 y 92 del acuerdo gubernativo 55-2001 estos datos deben ser reportados de manera obligatoria a cada trabajador.<sup>86-88</sup>

El nivel de radiación ionizante del personal ocupacionalmente expuesto durante el año 2018 tuvo una media de 1.98 mSv que corresponden al 10 % de la dosis anual permitida, desviación estándar de  $\pm 3.9$  y un rango de 0.24 a 37.28 mSv; es importante mencionar que aunque el 97.92 % de las dosimetrías estuvieron comprendidas entre 0.24 y 5.12 mSv, una de ellas sobrepasó 1.88 veces la dosis anual permitida (37.28 mSv), evidenciándose que la mayoría de los trabajadores estudiados tuvieron niveles de radiación en los límites permitidos, estos resultados fueron muy similares a los encontrados a nivel nacional por Coto B, Ceballos M, quienes encontraron que el POE del Hospital San Juan de Dios tienen niveles de radiación debajo 2.6 mSv anuales, dosis en el límite permitido; por otra parte, Tomasina F et al., y Zielinski J et al., en dos estudios diferentes demostraron que los niveles de radiación en el POE fueron de 0.27 y 0.36 mSv respectivamente.<sup>11,13,15</sup>

Fue importante resaltar que las dosimetrías registradas corresponden únicamente a las instituciones en dónde se realizó el estudio, por lo que los registros dosimétricos de las otras

instituciones en las que labora el POE se desconocen, esto se debió a que no se dispone un sistema nacional que se encargue de vigilar el nivel de radiación total a la que se expone el POE.

En Chile, se implementó un sistema de vigilancia radiológica personal ocupacional, el cual recibe registros dosimétricos trimestrales y realiza análisis de los mismos para implementar medidas en caso de ser necesarias; en un reporte del 2014, titulado Perfil de la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en Chile se encontró que 1 de cada 2000 trabajadores (0.05 % de las dosimetrías estudiadas) tuvo alertas por pasar la dosis trimestral permitida (5 mSv) y que al mantener la tendencia, se superarían las dosis anual permitida (20 mSv), en el 2011 y 2013 se reportó 51 alertas, de las cuáles, el 27 % de los trabajadores recibió dosis de radiación arriba de 100mSv, determinadas por dosimetría citogenética con el fin de determinar la índole de la lectura.<sup>16</sup>

Los datos previos fueron importantes, puesto que en este estudio se determinó que aproximadamente, casi 1 de cada 100 trabajadores sobrepasó el límite de radiación anual; el trabajador con reporte de radiación ionizante de 37.28 mSv encontrado en el estudio no fue sometido a un análisis citogenético para determinar el origen de la radiación registrada por el dosímetro, por lo que no fue posible establecer la causa del registro de radiación sin embargo el departamento de radiología realizó una investigación con el fin de determinar el apego a las normas de protección.<sup>16</sup>

Durante la realización del estudio se identificó como fortaleza, la actualización de la temática en relación a radiación ionizante en el personal ocupacionalmente expuesto dentro de los seis hospitales incluidos en el estudio, esto adquirió significancia debido a que son escasos los estudios que abordan este tema, y forma un precedente para futuras investigaciones; así mismo, el estudio demostró una fortaleza legislativa debido a que se demostró que la mayoría de los técnicos y médicos residentes incluidos en el estudio cumplió y conocían con los normativos de protección radiológica. Sin embargo, el estudio presentó debilidades ya que de todos los encuestados, se pudo corroborar que llevaron sus respectivos registros dosimétricos dentro de una misma empresa privada, y los registros de los centros hospitalarios privados no se pudieron obtener, se evidenció la oportunidad de realizar estudios de mayor complejidad y con enfoque epidemiológico que permita establecer asociaciones entre exposición a radiación y efectos nocivos a la salud; que permita la creación programas preventivos de salud ocupacional.



## 7. CONCLUSIONES

- 7.1. En relación a las características sociodemográficas, el personal ocupacionalmente expuesto tiene una edad media de 37.65 años, y casi 6 de cada 10 es masculino.
- 7.2. En relación a las características laborales del personal ocupacionalmente expuesto, más de la mitad labora en el área de rayos X, 8 de cada 10 es técnico, tres de cada 10 tiene jornadas laborales de 13 a 24 horas/semana, más de un tercio labora solo en el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 6 de cada 10 labora en un solo sector, 9 de cada 10 técnicos cuenta con licencia operativa vigente.
- 7.3. En relación a las características de exposición a radiación ionizante, el nivel de radiación ionizante la media es de 1.98 mSv, la mayoría conoce los protocolos de protección radiológica, usan medidas de protección radiológica, no se suspende laboralmente por sobreexposición y no extravía su dosímetro, casi 7 de cada 10 usa dosímetro, un tercio utiliza el chaleco y cuello, casi 6 de cada 10 almacena el dosímetro en un locker, casi 3 de cada 10 no reciben su reporte de radiación ionizante individual.



## 8. RECOMENDACIONES

### 8.1. A las jefaturas de las unidades de radiología de los hospitales estudiados:

- Fomentar el correcto uso y almacenamiento del dosímetro en el lugar indicado a los técnicos y médicos residentes, así como realizar capacitaciones de manera periódica para fortalecer los conocimientos sobre protección a la radiación ionizante como se establece en el artículo 67 del capítulo 4 dentro del acuerdo 55-2001 en donde describe que es necesario proveer los elementos de protección personal, dosimetría y capacitación a los trabajadores para el adecuado cumplimiento de sus labores.
- Se recomienda informar de manera personal a los técnicos y médicos residentes de su reporte anual de dosimetría como establece el artículo 92 del Reglamento de seguridad y protección radiológica de la ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes, el cual declara que se debe proporcionar el acceso y copia a los trabajadores o a los encargados de protección radiológica sobre los registros de dosis de radiación ionizante; debido a que en este estudio se registró que a 3 de cada 10 no se les reportó su nivel de radiación ionizante individual.

### 8.2. A la población de los técnicos radiólogos y médicos residentes de las unidades de radiología de los hospitales estudiados:

- Proseguir con la utilización de medidas de protección personal contra la radiación ionizante (cuello, chaleco y gafas) así como fomentar el uso al momento de realizar estudios radiográficos según lo establece el artículo 69 del capítulo 4 del acuerdo 55-2001, donde se instituye que es responsabilidad del trabajador usar sistemas de monitoreo y de protección proporcionados por la institución.

### 8.3. A la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala

- Promover la investigación relacionada en el campo de la salud ocupacional radiológica en otras poblaciones, debido a que a nivel nacional se cuenta con escasa información acerca de esta temática, se recomienda realizar estudios longitudinales con enfoque epidemiológico.



## 9. APORTES

El presente estudio aportó conocimiento científico en el ámbito de salud ocupacional al determinar las características sociodemográficas, laborales y de exposición a la radiación ionizante en los técnicos y médicos residentes en el departamento de radiología del Hospital General San Juan de Dios, Hospital Roosevelt, Hospital Regional de Cuilapa, Santa Rosa “Lic. Guillermo Fernández Llenera”; Hospital General de Enfermedades, Hospital General “Dr. Juan José Arévalo Bermejo” y Hospital General de Accidentes “Ceibal” del Instituto Guatemalteco de seguridad social; así mismo fue un precedente para la creación de estudios posteriores en diferentes poblaciones expuestas e instituciones médicas públicas o privadas con mayor complejidad y que determinen una relación causal entre las diferentes variables a estudio con enfoque epidemiológico.

Con los datos obtenidos se generó un informe acerca de la caracterización actual de la radiación ionizante en seis hospitales guatemaltecos el cual se entregó a la jefatura médica y al departamento de radiología del Hospital General San Juan de Dios, al departamento de docencia e investigación y a jefatura del departamento de radiología e imágenes diagnósticas del Hospital Roosevelt, al departamento de docencia e investigación del , Hospital Regional de Cuilapa, Santa Rosa “Lic. Guillermo Fernández Llenera”, a jefatura del departamento de radiología del Hospital General de Enfermedades, a la jefatura de radiología del Hospital General “Dr. Juan José Arévalo Bermejo”, a la jefatura de radiología de Hospital General de Accidentes “Ceibal” y al departamento de capacitación y desarrollo del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. National Research Council. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2 [en línea]. Washington, D.C.: National Academies Press; 2006 [citado 30 Abr 2019]. Disponible en:  
[http://www.philrutherford.com/Radiation\\_Risk/BEIR/BEIR\\_VII.pdf](http://www.philrutherford.com/Radiation_Risk/BEIR/BEIR_VII.pdf)
2. Garzón Ruipérez L, Cavero Á. Fukushima: energía nuclear y medio ambiente. Arch Med [en línea]. 2011 [citado 30 Abr 2019]; 7(3:2):1–9. Disponible en:  
<http://www.archivosdemedicina.com/medicina-de-familia/fukushima-energa-nuclear-y-medio-ambiente.pdf>
3. Kiang JG, Olabisi AO. Radiation: a poly-traumatic hit leading to multi-organ injury. Cell Biosci [en línea]. Mar 2019 [citado 5 Mayo 2019]; 9 (25):1-15 Disponible en:  
[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6417034/pdf/13578\\_2019\\_Article\\_286.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6417034/pdf/13578_2019_Article_286.pdf)
4. Grant EJ, Brenner A, Sugiyama H, Sakata R, Sadakane A, Utada M, et al. Solid cancer incidence among the life span study of atomic bomb survivors: 1958–2009. Radiat Res [en línea] 2017 Mayo [citado 5 Mayo 2019]; 187(5):513-37. Disponible en:  
<https://bioone.org/journals/radiation-research/volume-187/issue-5/RR14492.1/Solid-Cancer-Incidence-among-the-Life-Span-Study-of-Atomic/10.1667/RR14492.1.full>
5. Richardson D, Cardis E, Daniels E, Gillies M, O'Hagan J, Hamra G, et al. Risk of cancer from occupational exposure to ionizing radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). BMJ [en línea]. 2015 [citado 8 Mayo 2019]; 351(h5359):1-8 Disponible en:  
<https://www.bmjjournals.org/content/bmjj/351/bmj.h5359.full.pdf>
6. Wang F, Fang Q, Tang W, Xu X, Mahapatra T, Mahapatra S, et al. Nested case-control study of occupational radiation exposure and breast and esophagus cancer risk among medical diagnostic X ray workers in Jiangsu of China. Asian Pac J Cancer Prev [en línea]. 2015 [citado 8 Mayo 2019]; 16(11):4699–704. Disponible en:  
<http://journal.waocp.org/?sid=Entrez:PubMed&id=pmid:26107226&key=2015.16.11.4699>

7. Organismo Internacional de Energía Atómica. Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: normas básicas internacionales de seguridad [en línea]. Viena: OIEA; 2016. [citado 9 Mayo 2019]. Disponible en: [https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/p1578\\_s\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/p1578_s_web.pdf)
8. España. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Decreto 783/2001: Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes [en línea]. España: Ministerio de Presidencia; 2007. [citado 11 Mayo 2019]. Disponible en: [https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2001/783\\_01/PDFs/realdecreto7832001de6dejulioporelquesearpruebaelreglaTxtAnt.pdf](https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2001/783_01/PDFs/realdecreto7832001de6dejulioporelquesearpruebaelreglaTxtAnt.pdf)
9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Radiaciones ionizantes: normas de protección [en línea]. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo; 2001. Disponible en: [https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp\\_614.pdf/ef28c36c-66d4-4bc9-a5cb-451c705927a9?version=1.0](https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_614.pdf/ef28c36c-66d4-4bc9-a5cb-451c705927a9?version=1.0)
10. Acuerdo gubernativo 55-2001. Reglamento de seguridad y protección radiológica de la ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes [en línea]. Guatemala: 14 de febrero 2001. [citado 11 Mayo 2019] Disponible en: [http://cretec.org.gt/wp-content/files\\_mf/acuerdogubernativo552001.pdf](http://cretec.org.gt/wp-content/files_mf/acuerdogubernativo552001.pdf)
11. Coto Pacheco BE, Ceballos García MA. Dosimetría de la energía ionizante en médicos y técnicos del departamento de radiología [tesis de Maestría]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas, Escuela de Estudios de Postgrado; 2015.
12. Decreto de ley Número 11-86. Ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes. [en línea]. Guatemala: 10 de enero 1986. [citado 13 Mayo 2019] Disponible en: <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/05/1.2-Ley-para-el-Control-Radioisotopos-y-Radiaciones-Dec-Ley-No.-11-86.pdf>
13. Zielinski JM, Garner MJ, Band PR, Krewski D, Shinikova NS, Jiang Huixia, et al. Health outcomes of low-dose ionizing radiation exposure among medical workers: a cohort study of the Canadian national dose registry of radiation workers. IJOMEH [en línea]. 2009 [citado 29

Mar 2019]; 22(2): 149-156. Disponible en: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/ijmh.2009.22.issue-2/v10001-009-0010-y/v10001-009-0010-y.pdf>

14. Jacob P, Rühm W, Walsh L, Blettner M, Hammer G, Zeeb H. Is cancer risk of radiation workers larger than expected?. *Occup Environ Med* [en línea]. 2009 [citado 8 Mayo 2019] 66: 789–96. Disponible en: <https://oem.bmj.com/content/66/12/789>
15. Tomasina F, Laborde A, Spontón F, Blanco D, Pintado C, Stolovas N et al. Vigilancia de la exposición a radiaciones ionizantes en el personal universitario de la salud. *Rev cub salud pública* [en línea]. 2009 [citado 29 Mar 2019]; 36(1): 119-127. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-34662010000100012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662010000100012)
16. Delgado O, Espinoza A, Edding O, Ponce L. Perfil de la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en Chile. Chile: Instituto de Salud Pública de Chile [en línea]. 2014 [citado 29 Mar 2019]. Disponible en: [http://www.ispch.cl/sites/default/files/Nota\\_Tecnica\\_N\\_012\\_Perfil\\_de\\_la\\_Exposicion\\_Ocupacional\\_a\\_Radiaciones\\_Ionizantes\\_en\\_Chile.pdf](http://www.ispch.cl/sites/default/files/Nota_Tecnica_N_012_Perfil_de_la_Exposicion_Ocupacional_a_Radiaciones_Ionizantes_en_Chile.pdf)
17. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Ionizing Radiation, Part 1: X- and Gamma ( $\gamma$ )-Radiation, and Neutrons. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2000. [en línea] (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 75.). [citado 5 Mayo 2019] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK401323/>
18. González A. Los efectos biológicos de las dosis bajas de radiación ionizante: una visión más completa [en línea]. Austria: OIEA; 1994 [citado 8 Mayo 2019] Disponible en: [https://www.iaea.org/sites/default/files/36405843745\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/36405843745_es.pdf)
19. Bushong S. Manual de radiología para técnicos: física radiológica. 9na ed. España: Elsevier; 2010.
20. Hall E, Giaccia A. Radiobiology for the radiologist. 8 ed. Filadelfia: Wolters Kuwer; 2019.

21. González Tardiu F. Información sobre radiaciones ionizantes [en línea]. España: Sociedad Nuclear Española; 2019 [citado 30 Abr 2019]. Disponible en: <https://www.sne.es/images/stories/recursos/publicaciones/notas/NT%200315%20-%20Informaci%C3%B3n%20sobre%20radiaciones%20ionizantes.pdf>
22. Organización Mundial de la Salud. Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección [en línea]. Suiza: OMS; 2016 [citado 31 Abr 2019]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
23. Scalfi J, Morris P. From Röntgen to magnetic resonance imaging: the history of medical imaging. NCMJ [en línea]. 2014 [citado 05 Ene 2019]; 75(2): 111-113. Disponible en: <http://www.ncmedicaljournal.com/content/75/2/111.long>
24. Doi K. Diagnostic imaging over the last 50 years: research and development in medical imaging science and technology. Phys Med Biol [en línea]. 2006 [citado 05 Ene 2019]; 51(13): R5-R27. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/51/13/R02>
25. Sosa AM, Borjas L. Historia y evolución de la radiología en Centroamérica. Rev Fac Cienc Méd [en línea]. 2015 [citado 05 Ene 2019]; 30-40. Disponible en: <http://www.bvs.hn/RFCM/pdf/2015/pdf/RFCMVol12-2-2015-5.pdf>
26. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Radiation: effects and sources [en línea]. Viena, Austria: PNUMA; 2016 [citado 1 Mayo 2019]. Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/Radiation\\_Effects\\_and\\_sources-2016Radiation\\_-\\_Effects\\_and\\_Sources.pdg.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/Radiation_Effects_and_sources-2016Radiation_-_Effects_and_Sources.pdg.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
27. Zeballos Palacios C, Padilla CD, García Calderón JH, Pezúa Vivanco J, Catacora Cama J, Torres Sales J, et al. Protocolos de diagnóstico y evaluación médica para enfermedades profesionales [en línea]. Lima, Perú: Comisión Técnica Médica; 2004. Capítulo IX: Enfermedades ocupacionales por radiaciones ionizantes; [citado 1 Mayo 2019]. Disponible en: <ftp://ftp2.minsa.gob.pe/docconsulta/documentos/Protocolos/PDEMPEOrdenado.pdf>
28. Bushong S. Radiologic science for technologists: essential concepts of radiologic science, the structure of matter. 11 ed. Missouri: Elsevier; 2016.

29. Huda W. Review of radiologic physics: X-ray, production, X-ray interactions. 3a ed. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins; 2011.
30. Güerci A, Córdoba E. Nuevo enfoque de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Rev Argentina Radiol [en línea]. 2015 [citado 4 Mayo 2019] 79: 224-225. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/3825/382543178010.pdf>
31. Dörr H, Meineke V. Acute radiation syndrome caused by accidental radiation exposure - therapeutic principles. BMC Med [en línea]. 2011 [citado 5 Mayo 2019] 9(126):1-6. Disponible en: <https://bmcmedicine.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1741-7015-9-126>
32. Macià i Garau M, Lucas Calduch A, Casanovas López E. Radiobiology of the acute radiation syndrome. Rep Pr Oncol Radiother [en línea]. 2011 [citado 9 Mayo 2019] 16(4):123–30. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3863296/pdf/main.pdf>
33. Donelly E, Nemhauser J, Smith J, Kazzi Z, Farfán E, Chang A, et al. Acute radiation syndrome: assessment and management. South Med J [en línea]. 2010 [citado 9 Mayo 2019] 103(6):541–6. Disponible en: <https://europepmc.org/abstract/med/20710137>
34. Singh VK, Hauer-Jensen M.  $\gamma$ -Tocotrienol as a promising countermeasure for acute radiation syndrome: current status. Int J Mol Sci [en línea]. 2016 Mayo [citado 13 Mayo 2019] 17(5):663. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4881489/>
35. Cherry RN. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo [en línea]. Madrid: Chantal Dufresne; 1998. Capítulo 48, Radiaciones ionizantes. [citado 10 Abr 2019]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+48.+Radiaciones+ionizantes>
36. Williams JP, McBride WH. After the bomb drops: a new look at radiation-induced multiple organ dysfunction syndrome (MODS). Int J Radiat Biol [en línea]. 2011 Ago [citado 7 Jul 2019];87(8):851–68. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/09553002.2011.560996?journalCode=irab20>

37. Viniegra G. Las radiaciones y la salud. Salud publica México [en línea]. 1959 [citado 1 Mayo 2019];(5):1-11. Disponible en: <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/4434>
38. Decreto de ley Número 11-86. Ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes. [en línea]. Guatemala: 10 Ene 1986. [citado 13 Mayo 2019]; Disponible en: <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/05/1.2-Ley-para-el-Control-Radioisotopos-y-Radiaciones-Dec-Ley-No.-11-86.pdf>
39. Spitz DR, Azzam EL, Li JJ, Gius D. Metabolic oxidation/reduction reactions and cellular responses to ionizing radiation: a unifying concept in stress response biology. *Cancer Metastasis Rev* [en línea]. 2004 [citado 13 Mayo 2019] 23(3-4):311–22. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15197331>
40. Cohen SR, Cohen EP. Chronic oxidative stress after irradiation: an unproven hypothesis. *Med Hypotheses* [en línea]. 2014 [citado 9 Mayo 2019] 80(2):172–5. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3545011/>
41. Hayyan M, Hashim MA, AlNashef IM. Superoxide Ion: generation and chemical implication. *Chem Rev* [en línea]. 2016 [citado 5 Mayo 2019] 116(5):3029–2085. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.5b00407>
42. Rubio-Clemente A, Chica EL, Peñuela GA. Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *Ing Compet* [en línea]. 2014 [citado 5 Mayo 2019]; 16(2):211–23. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v16n2/v16n2a19.pdf>
43. Pathak R, Cheema AK, Boca SM, Krager KJ, Hauser-Jensen M, Aykin-Burns N. Modulation of radiation response by the tetrahydrobiopterin pathway. *Antioxidants (Basel)* [en línea]. 2015 [citado 5 Mayo 2019] 4(1):68–81. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4665563/>
44. Kiang JG, Olabisi AO. Radiation: a poly-traumatic hit leading to multi-organ injury. *Cell Biosci* [en línea]. 2019 Mar [citado 5 Mayo 2019] 9:25. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6417034/>

45. Azzam EI, Jay-Gerin JP, Pain D. Ionizing radiation-induced metabolic oxidative stress and prolonged cell injury. *Cancer Lett* [en línea]. 2012 Dec [citado 5 Mayo 2019] 327(1-2):48-60. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3980444/>
46. Robles AI, Linke SP, Harris CC. The p53 network in lung carcinogenesis. *Oncogene* [en línea]. 2002 [citado 5 Mayo 2019]; 21(45):6898–907. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/1205563>
47. Levine B, Klionsky DJ. Molecular mechanisms and biological functions of autophagy. *Dev Cell* [en línea]. 2004 [citado 6 Mayo 2019]; 6(4):463–77. Disponible en: <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S1534-5807%2804%2900099-1>
48. Hall EJ, Giaccia AJ. Radiobiology for the Radiologist [en línea]. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012. Molecular mechanisms of DNA and chromosome damage and repair; [citado 6 Mayo 2019]; p. 12–22. Disponible en: [http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user\\_upload/Mtahghihat/parto\\_darmani/book/Radiobiology.pdf](http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user_upload/Mtahghihat/parto_darmani/book/Radiobiology.pdf)
49. Brooks AL, Hoel DG, Preston RJ. The role of dose rate in radiation cancer risk: evaluating the effect of dose rate at the molecular, cellular and tissue levels using key events in critical pathways following exposure to low LET radiation. *Int J Radiat Biol* [en línea]. 2016 [citado 6 Mayo 2019]; 92(8):405–26. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4975094/>
50. Rothkamm K, Löbrich M. Evidence for a lack of DNA double-strand break repair in human cells exposed to very low x-ray doses. *Proc Natl Aca Sci USA* [en línea]. 2003 [citado 6 Mayo 2019]; 100(9):5057–62. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC154297/>
51. Boss M-K, Bristow R, Dewhirst MW. Linking the history of radiation biology to the hallmarks of cancer. *Radiat Res* [en línea]. 2014 [citado 6 Mayo 2019]; 181(6):561–77. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4072211/>
52. Mozumder A, Mangee J. Theory of radiation chemistry VII structure and reactions in low LET tracks. *J Chem Phys* [en línea]. 2004 [citado 6 Mayo 2019]; 45(9). Disponible en: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1728111>

53. Riballo E, Kühne M, Rief N, Gennery A, Jeggo PA. A pathway of double-strand break rejoining dependent upon ATM, artemis, and proteins locating to gamma-H2AX foci. *Mol Cell* [en línea]. 2004 [citado 7 Mayo 2019]; 16(5):715–24. Disponible en: <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S1097-2765%2804%2900654-9>
54. Tichý A, Vávrová J, Pejchal J, Řezáčová M. Ataxia-telangiectasia mutated kinase (ATM) as a central regulator of radiation-induced DNA damage response. *Acta Médica (Hradec Králové)* [en línea]. 2010 [citado 7 Mayo 2019] 53(1):13–7. Disponible en: [https://actamedica.lfhk.cuni.cz/media/pdf/am\\_2010053010013.pdf](https://actamedica.lfhk.cuni.cz/media/pdf/am_2010053010013.pdf)
55. Olson AR, Lewis GN. Natural reactivity and the origin of species. *Nature* [en línea]. 1928 [citado 14 Mayo 2019] 121:673–4. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/121673a0>
56. Calabrese EJ, O'Connor MK. Estimating risk of low radiation doses – a critical review of the BEIR VII report and its use of the linear no-threshold (LNT) hypothesis. *Radiat Res* [en línea]. 2014 [citado 14 Mayo 2019]; 182(5). Disponible en: <https://www.rrjournal.org/doi/full/10.1667/RR13829.1>
57. Muller H, Altenburg E. The frequency of translocations produced by x-rays in drosophila. *Genetics* [en línea]. 1930 [citado 14 Mayo 2019]; 15:283–310. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1201066/pdf/283.pdf>
58. Tharmalingam, Sujeenthar, Sreetharan S, Brooks AL, Boreham H. Re-evaluation of the linear no-threshold (LNT) model using new paradigms and modern molecular studies. *Chem Biol Interact* [en línea]. 2019 [citado 14 Mayo 2019]; 301:54–67. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009279718310858>
59. Seong KM, Seo S, Lee D, Kim M-J, Lee S-S, Park S, et al. Is the linear no-threshold dose-response paradigm still necessary for the assessment of health effects of low dose radiation? *J Korean Med Sci* [en línea]. 2016 [citado 14 Mayo 2019]; 31:10–23. Disponible en: <https://jkms.org/DOIx.php?id=10.3346/jkms.2016.31.S1.S10#B8>

60. Cardarelli JJ, Ulsh BA. It is time to move beyond the linear no-threshold theory for low-dose radiation protection. *Dose-response* [en línea]. 2018 [citado 14 Mayo 2019]; 16(3). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6043938/>
61. Tubiana M, Feinendegen LE, Yang C, Kaminski J. The linear no-threshold relationship is inconsistent with radiation biologic and experimental data. *Radiology* [en línea]. 2009 [citado 14 Mayo 2019]; 251(1): Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2663584>
62. Diccionario médico [en línea]. Madrid: Clínica Universidad de Navarra [citado 2 Mayo 2019]. Disponible en: <https://www.cun.es/diccionario-medico>
63. MedlinePlus en español [en línea]. Bethesda: National Institute of Health; [actualizada 8 Feb 2019; citada 13 Mayo 2019]; Antioxidantes; [2 pantallas]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/antioxidants.html>
64. Real Academia Española: Diccionario de la lengua española [en línea]. 23a ed. Madrid: Enclave; 2014 [citado 2 Mayo 2019]. Disponible en: <https://dle.rae.es/>
65. Martín MT, Civetta, JD. Carcinogénesis. Salud Pública Méx [en línea]. 2011 Oct [citado 13 Mayo 2019]; 53(5):405-414. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342011000500008&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342011000500008&lng=es)
66. EcuRed [en línea]. La Habana: EcuRed; 2013 [citado 24 Mar 2019]. Disponible en: [https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia\\_cubana](https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana)
67. Diccionario de cáncer [en línea]. Bethesda: National Cancer Institute; 2016 [citado 1 Mayo 2019]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario>
68. Consejo de Seguridad Nuclear. Dosis de radiación. [en línea] Madrid: CSN; 2010. [citada 11 Mar 2019]. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Dosis%20de%20radiaci%C3%B3n>

69. Calderón Salinas JV, Muñoz Reyes EG, Quintanar Escorza MA. Estrés oxidativo y diabetes mellitus. *Rev educ bioquím* [en línea]. 2013 [citado 11 Mayo 2019]; 32( 2 ): 53-66. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-19952013000200002&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-19952013000200002&lng=es).
70. Viada Pupo E, Gómez Robles L, Campaña Marrero IR. Estrés oxidativo. [en línea]. 2017 Mar [citado 15 Mayo 2019]; 21(1): 171-186. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1560-43812017000100014&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1560-43812017000100014&lng=es)
71. Becker WM, Kleinsmith KJ, Hardin J, Klug WS, Cummings MR, Spencer CA, et al. Reproducción sexual, meiosis y recombinación genética. En: Biología celular y molecular. 1era ed. México: Pearson; 2012. P 783-90.
72. Krejci L, Altmannova V, Spirek M, Zhao X, Homologous recombination and its regulation. *Nucleic Acids Research* [en línea] 2012 Jul [citado 14 Mayo 2019] 40(13):5795–5818. Disponible en: <https://academic.oup.com/nar/article/40/13/5795/1015492>
73. Guatemala. Instituto Nacional de Estadística. Caracterización de la población de la república de Guatemala [en línea]. Guatemala: INE; 2015 [citado 1 Mayo 2019]. Disponible en: <https://www.ine.gob.gt/index.php/estadisticas/caracterizacion-estadistica>
74. -----. Boletín informativo departamento de Santa Rosa [en línea]. Guatemala: INE; 2010 [citado 1 Mayo 2019]. Disponible en: <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2013/12/10/MVdhUf5YNLubC3ZikAABJekA0ettQNw1.pdf>
75. -----. Indicadores de Guatemala: informe anual [en línea]. Guatemala: INE; 72 2015 [citado 1 Mayo 2019]. Disponible en: <https://www.ine.gob.gt/index.php/estadisticas/tema-indicadores>
76. Guatemala. Hospital General San Juan de Dios. Historia del Hospital General San Juan de Dios [en línea]. 2019 [citado 2 Mayo 2019]. Disponible en: <https://hospitalsanjuandedios.mspas.gob.gt/hospital/historia>
77. Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Historia y estadísticas del Hospital General San Juan de Dios: Informe anual [en línea]. Guatemala: MSPAS; 2016 [citado 2 Mayo 2019]. Disponible en: <https://hospitalsanjuandedios.mspas.gob.gt/hospital/historia>

- 2019]. Disponible en: <http://www.hospitalsanjuandediosguatemala.com/pages/inicio.php#.WpDkgVrOXIW>
78. Hospital Roosevelt - Nuestra Historia [en línea]. Hospital Roosevelt. 2018 [citado 2 Mayo 2019]. Disponible en: <https://hospitalroosevelt.gob.gt/historia/>
79. -----. Departamento de información. Desarrollo e implementación. [en línea] Guatemala: El Hospital; 2012. [citado 2 Mayo 2019]. Disponible en: <http://www.hospitalroosevelt.gob.gt/HR2/Home/InfoGeneral>
80. Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. Listado de unidades del área metropolitana y departamental [en línea]. Guatemala: IGSS; 2014 [citado 3 Abr 2019]. Disponible en: [http://www.igssgt.org/servicios\\_medicos/unidades\\_del\\_instituto\\_ver2.pdf](http://www.igssgt.org/servicios_medicos/unidades_del_instituto_ver2.pdf)
81. -----. Historia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. [en línea]. Guatemala: IGSS; 2012 [citado 2 Mayo 2019]. Disponible en: [http://www.igssgt.org/sobre\\_nosotros/historia\\_igss.html](http://www.igssgt.org/sobre_nosotros/historia_igss.html)
82. Medina Galindo RC. Propuesta para la implementación del hospital de día, en el IGSS zona 6, Doctor Juan José Arévalo Bermejo, Ciudad Guatemala [tesis Ingeniera Industrial en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial; 2007 [citado 2 Mayo 2019]. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1783\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1783_IN.pdf)
83. Coronado Leveron FO. Análisis técnico para la readecuación del proceso de distribución de las dietas modificadas prescritas a pacientes intrahospitalarios del Hospital General De Accidentes “Ceibal”, del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social [tesis de Maestría en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2012 [citado 2 Mayo 2019]. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06\\_3259.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3259.pdf)
84. Constitución Política de la República de Guatemala. Reformada por acuerdo legislativo No. 18-93 del 17 de Nov de 1993 [en línea]. Guatemala: Asamblea Nacional Constituyente; 1993. [citado 11 Mayo 2019] Disponible en: [https://www.oas.org/juridico/mla/sp/gtm/sp\\_gtm-int-text-const.pdf](https://www.oas.org/juridico/mla/sp/gtm/sp_gtm-int-text-const.pdf)

85. Guatemala. Congreso de la República. Decreto número 1441. Reformas al Código de Trabajo. Diario de Centroamérica. 2009. [citado 10 Mayo 2019] Disponible en: [https://asisehace.gt/media/CODIGO\\_DE\\_TRABAJO\\_DE\\_GUATEMALA\\_SEPT2011.pdf](https://asisehace.gt/media/CODIGO_DE_TRABAJO_DE_GUATEMALA_SEPT2011.pdf)
86. Decreto número 90-97. Código de salud nuevo [en línea]. Diario de Centroamérica. 1997. [citado 10 Mayo 2019] Disponible en: [https://asisehace.gt/media/GT\\_Codigo\\_Salud\\_90\\_97.pdf](https://asisehace.gt/media/GT_Codigo_Salud_90_97.pdf)
87. Decreto de ley Número 11-86. Ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes. [en línea]. Diario de Centroamérica. 1986. [citado 10 Mayo 2019] Disponible en: <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/05/1.2-Ley-para-el-Control-Radioisotopos-y-Radiaciones-Dec-Ley-No.-11-86.pdf>
88. Acuerdo gubernativo 55-2001. Reglamento de seguridad y protección radiológica de la ley para el control, uso y aplicación de radioisótopos y radiaciones ionizantes. Diario de Centroamérica. 2011. [citado 10 Mayo 2019] Disponible en: [http://cretec.org.gt/wp-content/files\\_mf/acuerdogubernativo552001.pdf](http://cretec.org.gt/wp-content/files_mf/acuerdogubernativo552001.pdf)
89. Organización Internacional de Energía Atómica. Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad [en línea]. Viena: OIEA; 1957. [citado 10 Mayo 2019] Disponible en: [https://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1578\\_S\\_web.pdf](https://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1578_S_web.pdf)
90. Organización Panamericana de la Salud y Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médica. Pautas éticas internacionales para la investigación relacionada con la salud con seres humanos. 4 ed. Ginebra: Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS); 2016.
91. Söylemez H, Sancaktutar A, Silay M, Penbegül N, Bozkurt Y, Atar M, et al. Knowledge and attitude of European urology residents about ionizing radiation. Urology [en línea]. 2013 [citado 9 ago 2019]; 81(1):30-5. Disponible en: <http://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/es/mj-23153952>



## 11. ANEXOS

Anexo 11.1 Consentimiento Informado:



Estimado (a) Participante: a continuación, se le presenta el consentimiento informado, el cual deberá leer detenidamente **previo a realizar la encuesta**.

Reciba un cordial saludo de parte del equipo investigador del estudio de tesis denominado: "Radiación Ionizante en el Personal Ocupacionalmente Expuesto" durante el año 2018. Este equipo, está conformado por los siguientes estudiantes del último año de la carrea de Médico y Cirujano de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala: José Rodrigo Morales Corado, Juan Pablo Fernández Batres, Kevin José González Urrutia, Allan Fernando Godínez Muralles, Luis Carlos Chocón Chete y Eduardo David Gálvez Estrada.

El formulario de consentimiento informado, se orientó éticamente en base a las pautas éticas internacionales para la investigación relacionada con la salud (CIOMS). Por lo tanto, se le invita a ser partícipe en esta investigación que está dirigida a todos los técnicos y residentes de las áreas de radiología de los Hospitales General de Enfermedades, Dr. Juan José Arévalo Bermejo, y de Accidentes Ceibal, del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), y hospitales nacionales: General San Juan de Dios, Roosevelt y Regional de Cuilapa, Santa Rosa.

Es muy importante hacer de su conocimiento, que su participación es absolutamente voluntaria y no afectará su puesto de trabajo en ningún momento. Sin embargo, antes de decidirse, puede consultar sobre la investigación con cualquier persona con quien se sienta cómodo. En dado caso tuviera dudas concretas con respecto a este estudio, puede hacerlo del conocimiento de alguno de los investigadores a cargo, para aclarar sus interrogantes y de la mejor manera posible.

El estudio tiene como objetivo principal realizar un perfil de exposición a radiación ionizante, dentro de los hospitales en estudio, con el fin de describir las características sociodemográficas (edad, sexo, hospital) y laborales de los trabajadores que podrían, de forma inadvertida, provocar sobreexposición a radiación ionizante, debido a que actualmente, en nuestro país no se cuenta con estudios que evalúen condiciones sociodemográficas y laborales en el personal de radiología.

Por esta razón, estamos invitando a los técnicos y residentes que laboran en los hospitales anteriormente mencionados, para poder realizar un estudio que permita brindar un precedente que ayude a investigar la posible sobreexposición a radiación ionizante del personal de radiología

de los diferentes hospitales y mejorar las condiciones en las cuales labora.

Si elige participar o no en el estudio, no tendrá ninguna repercusión en su puesto de trabajo. En adición, los datos de las personas entrevistadas no serán publicados y se manejarán de forma anónima, al momento de presentar los resultados del estudio. En dado caso usted cambiara de parecer durante el proceso investigativo, puede abandonar el estudio aun cuando haya dado su anuencia inicialmente. También es importante resaltar, que estas encuestas no tienen ningún valor económico, y su participación no es remunerada. Sin embargo, la información que proporcione, es esencial para el desarrollo de la misma.

El procedimiento investigativo que se va a llevar a cabo, es el siguiente:

a. Se le realizará una encuesta de 15 preguntas, donde se recopilará información sobre las condiciones sociodemográficas y laborales de su persona, por lo cual se le solicitarán las respuestas a todas las preguntas.

b. Se recopilará información sobre el registro anual del 2018 de dosimetría de la institución en donde labora, con el fin de investigar si ha estado sobreexpuesto.

c. Se le proporcionara información personal y privada, si se llega a encontrar niveles altos de exposición a radiación ionizante en su caso particular.

He sido invitado (a) a participar en la investigación “Radiación Ionizante en el Personal Ocupacionalmente Expuesto”. Entiendo que se me proporcionará una encuesta, la cual debo llenar de forma honesta y que se utilizará el registro anual de dosimetría de mi persona. He sido informado (a) sobre el estudio y he comprendido lo que se me solicita. Me han informado, que en el caso que mis niveles de exposición a radiación ionizante son superiores al nivel establecido, me notificarán de manera personal y privada. Se me ha proporcionado el nombre, teléfono y dirección de un investigador, para poder contactarlo rápidamente.

He leído y comprendido la información proporcionada, o me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y me han contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado. Consiento voluntariamente a participar en esta investigación, entendiendo que tengo el derecho de retirarme en cualquier momento, sin que me afecte en alguna manera a mi persona.

Nombre del participante

---

Firma del participante

---

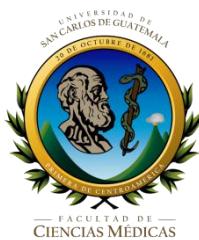
Edad: \_\_\_\_\_ Tel/Cel.: \_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

**“LA RADIACIÓN IONIZANTE EN EL PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO”**



**INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

A continuación se le presenta una serie de preguntas, las cuales deberá responder solamente si usted firmó previamente el consentimiento informado, y aceptó participar en la investigación. Las respuestas de la siguiente encuesta, servirán para la realización del tema de tesis “Radiación ionizante en el personal ocupacionalmente expuesto”, llevada a cabo por los estudiantes de séptimo año de la carrera de médico y cirujano de la Facultad de Ciencias Médicas: José Rodrigo Morales Corado, Juan Pablo Fernández Bautista, Kevin José González Urrutia, Allan Fernando Godínez Muralles, Luis Carlos Chocón Chete y Eduardo David Gálvez Estrada, estudio que tiene como fin describir características sociodemográficas y laborales, e identificar posibles riesgos de sobreexposición. Cabe recalcar que los datos serán confidenciales, y no serán revelados públicamente. Las preguntas serán orientadas por un investigador. **Si usted ha realizado esta encuesta en otra institución no debe llenarla de nuevo.**

Nombre:

**Marque con una X la institución donde se realiza la encuesta y con un cheque (✓) si trabaja en alguna de las instituciones mencionadas:**

Edad:

- Hospital Roosevelt
- Hospital General San Juan de Dios
- Hospital Regional de Cuilapa
- Hospital General de Enfermedades –IGSS–
- Hospital General de Accidentes –IGSS–
- Hospital Dr. Juan José Arévalo –IGSS

Sexo:  Masculino

Femenino

<input type="checkbox"/>

1. ¿Qué profesión desempeña dentro la institución en la que se le encuesta?

- Residente de radiología
- Técnico radiólogo


2. Indique las áreas con exposición a la radiación donde ha laborado durante el año 2018 (Tome en cuenta todas las instituciones en las que labora. Puede marcar ambas opciones.)

- Rayos X
- Fluoroscopía


3. ¿Cuántas horas efectivas a la semana labora dentro del departamento de radiología, y que implique exposición a la radiación? (Si trabaja en otras instituciones, tome en cuenta el tiempo laboral en total).

- Menos de 12 horas/semana
- De 13 a 24 horas/semana
- De 25 a 36 horas/semana
- De 37 a 48 horas/semana
- De 48 a 60 horas/semana
- Más de 60 horas/semana


4. ¿Está utilizando el dosímetro, en el momento de realizar la encuesta?

- Si
- No


5. Durante el año 2018, ¿extravió o se dañó alguna vez su dosímetro, en las instituciones donde laboró?

- Si
- No


6. **Si su respuesta en la pregunta anterior fue afirmativa**, ¿cuántas semanas no utilizó el dosímetro, mientras obtuvo uno nuevo?

- De 1 a 2 semanas
- De 3 a 4 semanas
- De 5 a 8 semanas
- 9 semanas o mas
- No aplica


7. ¿Conoce los protocolos de protección a la exposición a la radiación ionizante del lugar donde labora?

- Si
- No


8. ¿Utiliza medidas físicas de protección para la radiación ionizante, durante la jornada de trabajo?

- Si
- No


9. Si su respuesta anterior es afirmativa, conteste la siguiente: ¿Cuáles son las medidas físicas de protección que utiliza? (Puede marcar más de una opción)

- Chaleco de plomo
- Cuello de plomo
- Gafas de protección
- Ninguna


10. Al finalizar la jornada de trabajo ¿En qué lugar guarda el dosímetro?

- Caja de protección
- Locker
- Casa
- Otros


11. Durante sus años de trabajo ¿alguna vez ha sido suspendido de sus labores, por haber sobrepasado la dosis permitida anual de radiación ionizante?

- Si
- No


12. **Solo responda si usted es un técnico en radiología** ¿Usted cuenta con licencia operativa vigente?

- Si
- No
- No aplica


13. **Si laboró en más de 1 institución durante el 2018.** ¿En cuántas instituciones laboró en áreas de exposición a radiación ionizante?

- Dos
- Tres
- Cuatro o más
- No aplica


14. ¿En qué sector de salud laboró durante el 2018? (Puede marcar más de una opción)

- IGSS
- MSPAS
- Privada


15. ¿Se le informó sobre su registro de dosimetría del año 2018? **(Marque su respuesta según sector o sectores donde se haya reportado el nivel).**

- MSPAS
- IGSS
- Privado
- No se me informó
