



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE NORMATIVAS ASOCIADAS A LA SEGURIDAD  
RADIOLÓGICA, EN LA SALA DE RAYOS X DEL HOSPITAL EN EL PROGRESO, YORO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:**

**INGENIERO EN BIOMÉDICA**

**PRESENTADO POR:**

**21941266**

**WALTER JOSUÉ RIVERA GODÍNEZ**

**ASESOR METODOLÓGICO: REYNA VALLE**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA, OCTUBRE, 2024**

## **DEDICATORIA**

Primero, deseo expresar mi profunda gratitud hacia Dios, quien ha sido mi guía constante desde el inicio de mi trayectoria universitaria. Su sabiduría y fortaleza me han permitido superar cada obstáculo en este camino. También quiero agradecer a mis padres por su apoyo incondicional. Mi padre me enseñó la importancia de la preparación y la humildad, mientras que mi madre, a quien admiro enormemente, me mostró que el éxito se logra con determinación y valentía. Además, dedico este logro a mi tía Maritza Godínez, cuyo amor y apoyo han sido invaluable en mi vida universitaria, al igual que mi abuela Ilse, cuyo constante respaldo ha sido fundamental para mí.

Agradezco también a mis amigos y compañeros de universidad, en especial a María Carballo y Eduardo Díaz, quienes me han brindado su apoyo y conocimientos de manera incondicional. A Isis Martínez, Claudia Villalobos, Pedro García, Carlos Redondo y a mi gran amiga Grecia Casco, les agradezco por su amistad y por haber dejado una huella imborrable en mi experiencia universitaria.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que se involucraron en mi proceso de investigación para esta tesis. Este trabajo es el resultado de mi esfuerzo y dedicación, así como de la confianza que han depositado en mí y en mis capacidades.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía constante y mi compañero fiel durante todo este proceso universitario. También estoy enormemente agradecido con mis padres por brindarme la oportunidad de estudiar y por creer en mí desde el principio. Asimismo, agradezco a toda mi familia por su incondicional apoyo a lo largo de estos cuatro años.

No puedo dejar de mencionar la gratitud que siento hacia cada uno de mis amigos, cuya amistad ha sido un pilar fundamental durante mi tiempo en la universidad.

Además, deseo expresar mi sincero agradecimiento a todos los profesores que me impartieron clases. Gracias por compartir su vasto conocimiento, por sus valiosos consejos y por las correcciones que me ayudaron a mejorar y crecer académicamente.

Un agradecimiento especial merece la ingeniera Stephany, cuyo apoyo y orientación fueron fundamentales en el proceso de elaboración de mi tesis. Sus consejos y palabras de aliento fueron un impulso invaluable para mí.

Quiero también reconocer el invaluable apoyo de mi asesor, Reyna Valle. Gracias por creer en mí y por brindarme orientación y consejos durante todo el desarrollo de mi proyecto de tesis. Aprecio enormemente su confianza en mí y su disposición para enfrentar los desafíos que se presentaron en el camino.

Por último, quiero expresar mi gratitud nuevamente hacia la jefa de la carrera, Ing. Reyna Valle, por su dedicación en la selección de los mejores docentes y por su compromiso con la formación académica de los estudiantes de nuestra carrera universitaria.

## RESUMEN EJECUTIVO

La exposición a la radiación en instalaciones de rayos X puede presentar riesgos significativos si no se implementan correctamente las medidas de seguridad radiológica. Este estudio se realizó en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras, con el objetivo de evaluar las condiciones de seguridad radiológica y el cumplimiento de las normativas internacionales. Se identificaron deficiencias en el mantenimiento de los equipos, en la infraestructura, y en las barreras protectoras. Además, se constató la falta de un programa de mantenimiento preventivo y la ausencia de señalización adecuada en áreas clave, lo que incrementa el riesgo de exposición innecesaria tanto para el personal como para los pacientes. Las mediciones de dosis de radiación y las pruebas de rendimiento del equipo mostraron que, aunque los equipos cumplen con los estándares de exactitud y repetibilidad, el deterioro progresivo y la falta de mantenimiento podrían comprometer la seguridad a largo plazo. Como resultado, el estudio recomienda implementar de manera urgente un programa de mantenimiento preventivo, mejorar las barreras protectoras y capacitar continuamente al personal en prácticas de seguridad radiológica. Estas medidas permitirán al hospital cumplir con las normativas internacionales y nacionales, minimizando el riesgo de exposición a la radiación y garantizando un entorno más seguro para todos los usuarios.

**Palabras clave:** Mantenimiento, normativas, protección, rayos X, seguridad

## **ABSTRACT**

Radiation exposure in X-ray facilities can present significant risks if radiation safety measures are not properly implemented. This study was carried out in the X-ray room of the El Progreso Hospital, Yoro, Honduras, with the objective of evaluating radiation safety conditions and compliance with international standards. Deficiencies in equipment maintenance, infrastructure and protective barriers were identified. In addition, the lack of a preventive maintenance program and the absence of adequate signage in key areas were noted, which increases the risk of unnecessary exposure for both staff and patients. Radiation dose measurements and equipment performance testing showed that, although the equipment meets accuracy and repeatability standards, progressive deterioration and lack of maintenance could compromise long-term safety. As a result, the study recommends urgently implementing a preventive maintenance program, upgrading protective barriers, and continuously training staff in radiation safety practices. These measures will enable the hospital to comply with international and national regulations, minimizing the risk of radiation exposure and ensuring a safer environment for all users.

**Keywords:** Maintenance, protection, regulations, safety, security, X-rays

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>II. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>15</b>
2.1. ANTECEDENTES .....	15
2.1.1. HISTORIA DE LA RADIOLOGÍA MÉDICA.....	15
2.1.2. NORMATIVAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES .....	15
2.1.3. REGULACIÓN EN HONDURAS.....	16
2.1.4. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN MEDICINA.....	17
2.1.5. IMPACTO DE LAS REVISIONES EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA .....	18
2.1.6. ESTABLECIMIENTO DE PROGRAMAS DE VIGILANCIA .....	19
2.1.7. EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE.....	20
2.1.8. LÍMITES DE DOSIS DE RADIACIÓN.....	21
2.1.9. BLINDAJE Y DISEÑO DE INSTALACIONES RADIOLÓGICAS.....	21
2.1.10. CONSECUENCIAS DEL MAL BLINDAJE.....	23
2.1.11. DESAFÍOS EN PAÍSES EN DESARROLLO .....	23
2.2. PROBLEMÁTICA.....	26
2.3. IMAGEN INTEGRADORA .....	27
2.4. TABLA DE LIMITACIONES .....	29
<b>III. OBJETIVOS.....</b>	<b>32</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	32
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
<b>IV. METODOLOGÍA.....</b>	<b>33</b>
4.1. ENFOQUE DEL ESTUDIO.....	33
4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	34
4.2.1. VARIABLES DEPENDIENTES.....	34

4.2.2.	VARIABLES INDEPENDIENTES .....	34
4.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	36
4.3.1.	ENTREVISTAS.....	36
4.3.2.	AUDITORIAS Y OBSERVACIONES DIRECTAS .....	36
4.3.3.	MEDICIÓN DE DOSIS DE RADIACIÓN.....	37
4.3.4.	REVISIÓN DOCUMENTAL.....	37
4.3.5.	NORMATIVAS A EVALUAR.....	38
4.3.6.	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN:.....	38
4.3.7.	SOFTWARE DE ANÁLISIS.....	41
4.4.	MÉTODO DE ESTUDIO .....	42
4.4.1.	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	42
4.4.2.	LEVANTAMIENTO RADIOMÉTRICO Y VERIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO DE RAYOS X	45
4.4.3.	EXACTITUD Y REPETIBILIDAD DEL TUBO DE RAYOS X Y ESTIMACIÓN DE DOSIS AL RECEPTOR:	45
4.4.4.	ANÁLISIS DE DATOS.....	46
4.4.5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	46
4.5.	METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN .....	47
4.5.1.	REVISIÓN DOCUMENTAL Y VALIDACIÓN DE NORMATIVAS.....	47
4.5.2.	VALIDACIÓN CON EXPERTOS EN EL ÁREA.....	47
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
5.1.	COMPARACIÓN DE NORMATIVAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	49
5.2.	PLANO DEL ÁREA DE RAYOS X Y CONTEXTO DE TRABAJO .....	51
5.3.	MEDICIONES DE DOSIS DE RADIACIÓN.....	53
5.3	EXACTITUD Y REPETIBILIDAD DEL TUBO DE RAYOS X.....	66
5.4	CLASIFICACIÓN Y EXPOSICIÓN DEL PERSONAL.....	76

5.5	EVALUACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA.....	78
5.5.1	CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA.....	78
5.5.2	ESTADO DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP).....	79
5.5.3	MANTENIMIENTO E INFRAESTRUCTURA .....	80
5.5.4	DEFICIENCIAS IDENTIFICADAS EN LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA .....	80
5.5.5	RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	80
5.5.6	PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS PROTEGIDAS.....	81
5.5.7	ESTADO DEL EQUIPO DE RAYOS X.....	82
5.5.8	ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA SEGURIDAD RADIOLÓGICA.....	82
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>92</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>100</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1:</b>	<b>Imagen integradora.....</b>	<b>28</b>
<b>Ilustración 2:</b>	<b>Variables independientes y dependiente.....</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 3:</b>	<b>RaySafe x2.....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 4:</b>	<b>RaySafe 452.....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 5:</b>	<b>ECORAY HF-52 Plus.....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 6:</b>	<b>Método de Estudio.....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 7:</b>	<b>Plano de Sala de Rayos X.....</b>	<b>53</b>
<b>Ilustración 8:</b>	<b>Organigrama de la sala.....</b>	<b>78</b>
<b>Ilustración 9:</b>	<b>Chalecos de protección.....</b>	<b>79</b>

**Ilustración 10: Plano de hospital con distribución de zonas de riesgo...81**

## **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1: Tabla de limitaciones.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 2: Normativas utilizadas.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 3 Comparación de normativa nacional hondureña con normativas internacionales.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 4: Mediciones de Dosis de radiación dentro del hospital con 50 kVp y 5 mAs.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 5: Dosis recibida en distintas ubicaciones con 50 kVp y 70 mAs...56</b>	
<b>Tabla 6: Dosis recibida en distintas ubicaciones con 55 kVp y 10 mAs...58</b>	
<b>Tabla 7: Mediciones de Dosis en Distintas Ubicaciones con 8 kVp y 10 mAs.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 8: Mediciones de Dosis en Distintas Ubicaciones con 115 kVp y 10 mAs.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 9: Porcentaje de exactitud utilizando 50 kVp.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 10: Porcentaje de exactitud utilizando 55 kVp.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 11: Porcentaje de exactitud utilizando 80 kVp.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 12: Porcentaje de exactitud utilizando 115 kVp.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 13: Clasificación de Personal Expuesto.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 14: Verificación de los criterios que cumple o no cumple el hospital.....</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1: Dosis recibida con 50 kVp y 5 mAs en distintas ubicaciones del hospital.....</b>	<b>55</b>
<b>Gráfica 2: Dosis recibida con 50 kVp y 70 mAs en distintas ubicaciones del hospital.....</b>	<b>57</b>
<b>Gráfica 3: Dosis recibida con 55 kVp y 10 mAs en distintas ubicaciones en el hospital.....</b>	<b>59</b>
<b>Gráfica 4: Dosis recibida con 80 kVp y 10 mAs.....</b>	<b>62</b>
<b>Gráfica 5: Dosis recibida con 115kVp y 10 mAs en distintas ubicaciones del hospital.....</b>	<b>64</b>
<b>Gráfica 6: Medición de kVp al utilizar 50 kVp a través del tiempo.....</b>	<b>69</b>
<b>Gráfica 7: Exactitud al utilizar 50 kVp a través del tiempo.....</b>	<b>70</b>
<b>Gráfica 8: kVp medido en 55 kVp nominal.....</b>	<b>71</b>
<b>Gráfica 9: Porcentaje de exactitud en 55 kVp.....</b>	<b>72</b>
<b>Gráfica 10: kVp medido en 80 kVp nominal.....</b>	<b>73</b>
<b>Gráfica 11: Porcentaje de exactitud en 80 kVp.....</b>	<b>74</b>
<b>Gráfica 12: kVp medido en 115 kVp.....</b>	<b>75</b>
<b>Gráfica 13: Porcentaje de exactitud en 115 kVp.....</b>	<b>76</b>
<b>Gráfica 14: Porcentaje de Cumplimiento por Categoría.....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1: Pasillos del Hospital del Progreso.....</b>	<b>100</b>
<b>Anexo 2: Estado del Equipo y la Sala de Rayos X.....</b>	<b>101</b>
<b>Anexo 3: Mediciones en la sala con RaySafe 452.....</b>	<b>102</b>
<b>Anexo 4: Mediciones en la sala con RaySafe x2.....</b>	<b>103</b>
<b>Anexo 5: Sala de Descanso del Personal.....</b>	<b>104</b>
<b>Anexo 5: Cuarto Oscuro.....</b>	<b>104</b>

## LISTA DE SIGLAS

OIEA:	Organización Internacional de Energía Atómica
kVp:	Kilovoltaje Pico
mAs:	Miliamperios-segundo
CV:	Coefficiente de Variación
DE:	Desviación Estándar
$\mu$ Gy:	Micro gray (unidad de dosis de radiación absorbida)
EPP:	Equipo de Protección Personal
ICRP:	International Commission on Radiological Protection (Comisión Internacional de Protección Radiológica)

## GLOSARIO

**ALARA (As Low As Reasonably Achievable):** Principio en protección radiológica que busca minimizar la exposición a la radiación tanto como sea posible.

**Blindaje:** Barreras físicas, como puertas o vidrios plomados, utilizadas para reducir la exposición a la radiación.

**Coefficiente de Variación (CV%):** Indicador de la precisión en las mediciones repetidas de dosis o parámetros de los equipos de rayos X.

**Desviación Estándar (DE):** Medida de la dispersión de un conjunto de datos.

**EPP (Equipo de Protección Personal):** Conjunto de dispositivos como delantales plomados, guantes y protectores tiroideos, diseñados para proteger al personal de la exposición a radiación.

**Exactitud:** Grado en que un valor medido se aproxima al valor verdadero o esperado. Es fundamental en la calibración de equipos de rayos X.

**Humedad relativa:** Cantidad de vapor de agua en el aire en relación con la cantidad máxima que el aire puede contener a una temperatura dada. Es relevante en entornos donde los equipos deben operar en condiciones específicas para evitar fallos.

**kVp (Kilovoltaje pico):** La tensión máxima aplicada al tubo de rayos X que determina la energía de los rayos X producidos.

**mAs (Miliamperios-segundos):** Unidad que mide la cantidad de radiación emitida por un tubo de rayos X.

**Normativa Radiológica:** Conjunto de regulaciones y guías establecidas por organismos nacionales e internacionales para la protección contra los riesgos de la radiación.

**Programa de Mantenimiento Preventivo:** Conjunto de actividades regulares para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de rayos X y minimizar riesgos de exposición a la radiación.

**Radiación Ionizante:** Energía liberada en forma de partículas o radiación electromagnética que puede ionizar átomos.

**Rayos X:** Tipo de radiación electromagnética utilizada en diagnóstico por imágenes.

**Repetibilidad:** Capacidad de un equipo para producir los mismos resultados bajo las mismas condiciones. Se mide a través del coeficiente de variación (CV%) en estudios de radiología.

**Señalización:** Uso de señales visuales para advertir a las personas sobre las áreas de riesgo radiológico y las precauciones que deben tomarse.

**Zona Controlada:** Áreas dentro de una instalación radiológica donde las dosis de radiación podrían exceder límites permitidos.

**Zona Supervisada:** Áreas donde la exposición a la radiación es baja, pero aún requiere monitoreo.

## I. INTRODUCCIÓN

La seguridad radiológica es un componente esencial en instalaciones médicas que utilizan tecnologías ionizantes como los rayos X. Esto es particularmente crítico en países en desarrollo, donde las limitaciones en infraestructura y recursos pueden comprometer el cumplimiento de las normativas internacionales. En el Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras, la sala de rayos X ha estado en funcionamiento durante más de 40 años sin modificaciones significativas en su infraestructura. Esta situación plantea dudas sobre la efectividad de las medidas de protección radiológica implementadas, las cuales son esenciales para garantizar la seguridad tanto del personal como de los pacientes expuestos a la radiación.

Estudios científicos y recomendaciones de organismos internacionales, como la IAEA (International Atomic Energy Agency), subrayan la importancia de contar con programas de mantenimiento preventivo, el uso adecuado de equipos de protección personal y auditorías regulares para garantizar la seguridad radiológica. Sin embargo, existe una brecha considerable en la implementación de estas medidas en instalaciones de larga data, lo que incrementa el riesgo de exposición innecesaria a la radiación.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el estado de la seguridad radiológica en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso y su cumplimiento con las normativas vigentes. A través de un enfoque metodológico mixto que incluye mediciones de dosis de radiación, auditorías directas y la validación con expertos en el área, se busca identificar deficiencias en las medidas de protección radiológica y proponer estrategias para optimizar la seguridad en la sala de rayos X. Este análisis no solo evaluará la conformidad actual del hospital con las normativas de seguridad, sino que también contribuirá al conocimiento en el campo mediante la identificación de áreas clave de mejora.

## **II. ESTADO DEL ARTE**

En este capítulo se ofrece un análisis detallado del panorama actual en cuanto a la adecuación de las salas de rayos X en hospitales. Se establece de manera precisa la problemática a ser abordada, incluyendo la necesidad de blindaje adecuado, control de acceso, señalización y sistemas de monitoreo de radiación. Además, se proporciona una visión panorámica a través de las normativas y recomendaciones de organismos como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) y las regulaciones locales emitidas por la Secretaría de Energía (SEN). Se condensa información referente a las limitaciones de cada estudio y normativa, proporcionando una base sólida para la evaluación del cumplimiento de estas normativas en el Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras.

### **2.1. ANTECEDENTES**

#### **2.1.1. HISTORIA DE LA RADIOLOGÍA MÉDICA**

La radiología médica ha sido una herramienta crucial en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades desde el descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Conrad Roentgen en 1895 (Sociedad Española de Radiología Médica, 2022). Desde entonces, la tecnología ha avanzado significativamente, permitiendo obtener imágenes más precisas y detalladas. Sin embargo, la radiación ionizante utilizada en estos procedimientos también ha planteado importantes preocupaciones sobre la seguridad para pacientes y personal médico (US EPA, 2017). Los avances en la tecnología radiológica han mejorado considerablemente la precisión diagnóstica, pero también han subrayado la necesidad de implementar medidas rigurosas de protección radiológica para mitigar los riesgos asociados con la exposición a la radiación (International Atomic Energy Agency, 2018).

La evolución de la radiología médica refleja un equilibrio continuo entre el progreso tecnológico y la necesidad de salvaguardar la salud humana frente a los riesgos de la radiación.

#### **2.1.2. NORMATIVAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES**

A lo largo de los años, diversas organizaciones internacionales y nacionales han desarrollado normativas y recomendaciones para asegurar que la exposición a la radiación sea minimizada y controlada. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), fundada en

1928, ha sido un líder en la publicación de directrices sobre protección radiológica, estableciendo principios fundamentales como la justificación, optimización y limitación de la dosis de radiación (ICRP, 2021). La Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), creada en 1957, también ha desempeñado un papel crucial en la promoción de la seguridad radiológica a nivel mundial (OIEA, 2016). Sus Normas Básicas Internacionales de Seguridad establecen requisitos para la protección contra los efectos nocivos de la radiación ionizante (International Atomic Energy Agency, 2018).

Las normativas internacionales demuestran un esfuerzo global coordinado para minimizar los riesgos radiológicos, subrayando la importancia de la cooperación internacional en la protección de la salud pública.

### 2.1.3. REGULACIÓN EN HONDURAS

En el contexto de Honduras, la regulación de las actividades nucleares y de radiación se encuentra bajo la responsabilidad de la Secretaría de Energía (SEN). La Ley sobre Actividades Nucleares y Seguridad Radiológica, promulgada en 2014, establece los requisitos mínimos de seguridad para la operación de instalaciones radiológicas en el país (Dirección General de Seguridad Radiológica, 2020). El Hospital de El Progreso, ubicado en Yoro, Honduras, comenzó su construcción en 1978, comenzando sus operaciones en 1983 con el objetivo de mejorar el acceso a servicios de salud en la región (Secretaría de Salud de Honduras, 2010). Al ser un hospital de más de 40 años, es fundamental asegurarse de cumplir con las normativas internacionales y nacionales actualizadas para garantizar la seguridad y el bienestar de los pacientes y el personal (Dirección General de Seguridad Radiológica, 2023).

La implementación de normativas nacionales en alineación con estándares internacionales es crucial para garantizar la seguridad radiológica y la protección de la salud pública.

Según la Dirección General de Seguridad Radiológica de Honduras, la evaluación de la seguridad en instalaciones radiactivas implica un análisis sistemático para identificar y evaluar los riesgos asociados a las actividades que involucran radiación ionizante (Dirección General de Seguridad Radiológica, 2020). Este análisis incluye la evaluación de las consecuencias y probabilidades de diversos sucesos iniciadores, así como la robustez de las defensas en profundidad (Dirección General de Seguridad Radiológica, 2023). Se utilizan metodologías

específicas como el Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA) y el Análisis de Peligros y Operatividad (HAZOP) para identificar los sucesos iniciadores y evaluar sus posibles consecuencias y frecuencias (Abbasgholizadeh Rahimi et al., 2016).

La evaluación sistemática de la seguridad en instalaciones radiactivas es esencial para anticipar y mitigar los riesgos asociados con la radiación ionizante. Metodologías como el FMEA y el HAZOP proporcionan un enfoque estructurado para identificar y analizar posibles fallos y peligros, garantizando así una preparación adecuada y respuestas efectivas ante emergencias.

#### 2.1.4. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN MEDICINA

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de guías y recomendaciones que aseguran la seguridad en el uso de radiación ionizante (ICRP, 2007). La protección radiológica en medicina se basa en principios fundamentales como la justificación y la optimización. El principio de justificación implica que cualquier procedimiento radiológico debe ser evaluado para asegurar que los beneficios superen los riesgos. Por otro lado, la optimización busca minimizar la dosis de radiación al nivel más bajo posible sin comprometer la calidad diagnóstica o terapéutica (ICRP, 2021). La exposición a la radiación en el ámbito médico es única y difiere de otras aplicaciones debido a que las dosis se administran deliberadamente para obtener beneficios diagnósticos o terapéuticos (ICRP, 2022).

Los principios de justificación y optimización son esenciales para asegurar que los beneficios de los procedimientos radiológicos superen los riesgos, garantizando así la seguridad y eficacia en el tratamiento médico.

Las organizaciones deben implementar sistemas de gestión para asegurar la protección y seguridad radiológica. Esto incluye la educación continua y capacitación del personal, la realización de evaluaciones de seguridad y la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario (OIEA, 2016). Organizaciones internacionales como la ICRP y la NCRP recomiendan la participación en seminarios y talleres para asegurar que todo el personal esté al día con las mejores prácticas en protección radiológica (Dirección General de Seguridad Radiológica, 2020). Estas medidas incluyen la utilización adecuada del tiempo, la distancia y el blindaje para minimizar la exposición a la radiación (AEC, 2017).

La implementación de estándares internacionales de seguridad no solo garantiza la protección efectiva contra la radiación, sino que también promueve una cultura de seguridad globalmente armonizada.

El uso de equipos de protección personal (EPP) es una parte integral de la seguridad radiológica en las instalaciones de rayos X (López et al., 2018). Las instalaciones deben estar equipadas con delantales de plomo, guantes de plomo y protectores de tiroides y gónadas, con un equivalente de plomo de al menos 0.25 mm (AEC, 2017). Además, estudios han demostrado que el uso adecuado de estos equipos puede reducir significativamente la exposición a la radiación para los trabajadores de la salud (Abuzaid et al., 2019). La implementación de delantales de plomo, guantes y protectores de tiroides y gónadas no solo cumple con las normativas de seguridad, sino que también demuestra un compromiso con la seguridad y el bienestar del personal sanitario.

#### 2.1.5. IMPACTO DE LAS REVISIONES EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Investigar el impacto de las revisiones en la protección radiológica es fundamental para garantizar la seguridad tanto del personal médico como de los pacientes expuestos a radiación. Las auditorías y revisiones periódicas permiten identificar y corregir posibles deficiencias en los protocolos y equipos utilizados, lo que mejora significativamente la efectividad de las medidas de protección (Bwanga & Chanda, 2020). Según el estudio realizado por Georges et al, la implementación de auditorías en los servicios de radiología ha demostrado ser efectiva para reducir las dosis de radiación recibidas por los pacientes, subrayando la importancia de una evaluación continua (Georges et al., 2017). Además, otro informe realizado por la ESR (European Society of Radiology) resalta que las revisiones técnicas y la actualización de los procedimientos operativos son esenciales para mantener la seguridad radiológica en el entorno hospitalario (Mildenberger et al., 2020).

Por lo tanto, las revisiones y auditorías no solo son una herramienta de control, sino un elemento crucial para el mantenimiento de altos estándares de seguridad en la práctica radiológica.

Los avances en la protección radiológica y la gestión de errores en radiología son temas cruciales en la práctica médica actual. El desarrollo de nuevas metodologías en la protección

radiológica busca no solo cumplir con las normativas vigentes, sino también optimizar las dosis y minimizar la exposición a la radiación ionizante, tanto para los pacientes como para los profesionales de la salud (Rosen et al., 2015). Además, se ha discutido ampliamente sobre la inevitabilidad o evitabilidad de los errores y discrepancias en radiología, analizando cómo estos pueden surgir debido a la naturaleza humana y las limitaciones tecnológicas, y sugiriendo que con mejores sistemas y formación, muchos de estos errores podrían ser evitados (Brady, 2016). Por último, la comprensión de la epidemiología de los errores en radiología y la implementación de estrategias para su reducción, como la formación continua y la doble lectura de imágenes, son esenciales para mejorar la seguridad del paciente y la precisión diagnóstica en este campo (Bruno et al., 2015).

#### 2.1.6. ESTABLECIMIENTO DE PROGRAMAS DE VIGILANCIA

El establecimiento de programas de vigilancia es crucial en diversos campos, incluyendo la radiología y la tecnología de sensores, debido a su capacidad para mejorar la eficiencia y precisión en la detección de condiciones críticas. Según Thrall et al., los programas de inteligencia artificial (IA) en radiología pueden priorizar la revisión de casos sospechosos, lo que permite a los radiólogos enfocarse en diagnósticos urgentes y mejorar los resultados para los pacientes (Thrall et al., 2018). Además, la investigación realizada por Parakh et al., destaca la importancia de crear estándares y redes de intercambio de imágenes que faciliten la comparación y validación de nuevos programas de IA, mejorando así su aplicación clínica y generalización a diferentes poblaciones (Parakh et al., 2016). Finalmente, el uso de sensores avanzados y métodos de aprendizaje profundo también se presenta como una herramienta poderosa para la vigilancia continua en áreas como la salud y la seguridad, permitiendo una detección más temprana y precisa de eventos relevantes (Ahmad et al., 2021).

La implementación de programas de vigilancia ha demostrado ser crucial en la mejora de la salud pública, especialmente en el monitoreo de enfermedades infecciosas y la detección temprana de brotes. Los hallazgos de Hirvonen et al. revelan que los sistemas de vigilancia no solo ayudan a reducir la propagación de enfermedades, sino que también optimizan el uso de recursos al permitir una respuesta rápida y dirigida en las áreas afectadas (Hirvonen et al., 2019). Por otro lado, el estudio realizado por Keshtar y Masoumi subraya la importancia de adaptar estos

programas a las realidades locales, ya que las características epidemiológicas y socioeconómicas pueden influir en la efectividad de las estrategias de vigilancia (Keshtkar & Masoumi, 2021). Estas investigaciones destacan la necesidad de un enfoque flexible y contextualizado en la implementación de programas de vigilancia para maximizar su impacto en la salud pública.

#### 2.1.7. EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

La radiación ionizante puede causar dos tipos principales de efectos biológicos: deterministas y estocásticos (OMS, 2022). Los efectos deterministas, como las reacciones tisulares, ocurren solo cuando la dosis supera un umbral específico y su gravedad aumenta con la dosis. En cambio, los efectos estocásticos, como el cáncer y las mutaciones genéticas, pueden ocurrir incluso con dosis bajas y su probabilidad aumenta con la dosis recibida (OMS, 2023). En los procedimientos de diagnóstico por imágenes, se utilizan niveles de referencia para diagnóstico (DRLs, por sus siglas en inglés) para evaluar y comparar las dosis de radiación utilizadas en diferentes centros médicos y procedimientos, asegurando así que las dosis no sean excesivamente altas ni innecesarias (Jasieniak et al., 2023).

La comprensión de los efectos biológicos de la radiación es fundamental para desarrollar estrategias efectivas de protección radiológica que salvaguarden la salud de pacientes y personal médico.

La radiación ionizante puede causar daños significativos al tejido humano, y aunque las dosis entregadas por los exámenes radiológicos son generalmente inferiores a los umbrales que causan efectos dañinos inmediatos, como la enfermedad por radiación, las quemaduras cutáneas o los daños oculares, la exposición prolongada o repetida puede aumentar la probabilidad de cáncer debido a cambios en el ADN celular (ICRP, 2007). Por lo tanto, es fundamental que los radiógrafos sigan el principio ALARA (tan bajo como sea razonablemente posible) para minimizar la exposición a la radiación y producir imágenes de alta calidad diagnóstica (Abuzaid et al., 2019). La optimización de la protección radiológica implica el uso de software de seguimiento de dosis (DTS) para recopilar y analizar automáticamente los datos de exposición a la radiación de los pacientes (Jasieniak et al., 2023).

La importancia de la radiación ionizante en el diagnóstico médico no debe subestimarse, pero tampoco se puede ignorar el potencial de daño que conlleva. Este equilibrio entre beneficio

y riesgo subraya la necesidad de adherirse estrictamente al principio ALARA y utilizar tecnología avanzada como el DTS cuando se cuente con los recursos para hacerlo.

#### 2.1.8. LÍMITES DE DOSIS DE RADIACIÓN

Las instalaciones de radiología deben cumplir con límites de dosis específicos para proteger tanto a los trabajadores como al público (AEC, 2017). Para los trabajadores expuestos, el límite de dosis efectiva es de 20 mSv por año, promediado en un periodo de cinco años consecutivos, con un máximo de 50 mSv en cualquier año individual. Para el público, el límite de dosis efectiva es de 1 mSv por año, con la posibilidad de valores más altos en circunstancias especiales, siempre y cuando el promedio no exceda 1 mSv por año en un periodo de cinco años consecutivos (Dirección General de Seguridad Radiológica, 2020). Para cumplir con estos límites, es esencial un diseño y construcción adecuados de las barreras de blindaje (Tsapaki, 2020). Establecer límites de dosis claros y específicos es esencial para garantizar la seguridad radiológica.

#### 2.1.9. BLINDAJE Y DISEÑO DE INSTALACIONES RADIOLÓGICAS

Las metas de diseño de blindaje son niveles de kerma en aire utilizados en los cálculos de diseño y la evaluación de barreras construidas para la protección de empleados y miembros del público (NCRP, 2021). Hay diferentes metas de diseño de blindaje para áreas controladas y no controladas. Para áreas controladas, la meta de diseño es de 0.1 mGy por semana (5 mGy por año), mientras que para áreas no controladas es de 0.02 mGy por semana (1 mGy por año) (World Health Organization, 2014). El diseño adecuado de las instalaciones de radiología debe incluir barreras de protección construidas con materiales como el concreto y el plomo, que atenúan la radiación cuando se colocan entre la fuente de radiación y el individuo expuesto (Dirección General de Seguridad Radiológica, 2020).

La precisión en las metas de diseño de blindaje es fundamental para garantizar la seguridad en las instalaciones radiológicas. Implementando estas prácticas se promueve un entorno seguro y confiable en las instalaciones de radiología.

En las aplicaciones de imágenes médicas por rayos X, la radiación se compone de radiación primaria y secundaria (ICRP, 2015). La radiación primaria, también llamada haz útil, es la radiación emitida directamente desde el tubo de rayos X utilizada para la imagen del paciente. Una barrera primaria es una estructura que interceptará la radiación emitida directamente desde el tubo de

rayos X, cuya función es atenuar el haz útil hasta las metas de diseño de blindaje adecuadas (NCRP, 2021). La radiación secundaria consiste en rayos X dispersos por el paciente y otros objetos, así como radiación de fuga desde la carcasa de protección del tubo de rayos X. Una barrera secundaria es una estructura que interceptará y atenuará las radiaciones dispersas y de fuga hasta la meta de diseño de blindaje adecuada (World Health Organization, 2014).

La seguridad en las aplicaciones de imágenes médicas por rayos X es fundamental para proteger tanto a los pacientes como al personal médico de los efectos nocivos de la radiación. La comprensión y correcta implementación de barreras primarias y secundarias es esencial en este proceso.

Los cálculos de blindaje deben considerar factores como la cantidad de radiación producida por la fuente, la distancia entre la persona expuesta y la fuente de radiación, y la cantidad de blindaje protector (International Atomic Energy Agency, 2018). Las consideraciones de diseño de blindaje incluyen la evaluación de penetraciones en las barreras protectoras, como conductos de aire acondicionado, conductos eléctricos y plomería. El blindaje debe construirse de manera que la protección no se vea comprometida por estas aberturas. Esto se puede lograr mediante el uso de blindaje suplementario de plomo (NCRP, 2021). Estudios previos indican que el uso de blindajes como protectores gonadales puede reducir la radiación recibida por los testículos y los ovarios en hasta un 95% y 50%, respectivamente. Además, los protectores de tiroides reducen significativamente la exposición directa al tiroides, y el uso de gafas plomadas disminuye la exposición ocular (Hamzian et al., 2022).

El diseño adecuado y la instalación de blindaje en las instalaciones radiológicas son esenciales para asegurar la protección efectiva contra la radiación, minimizando la exposición innecesaria.

El diseño de las salas de rayos X debe tener en cuenta varios factores, como los patrones de movimiento del personal y los pacientes, los tipos de procedimientos realizados y el peso del equipo de rayos X (IAEA, 2017). Las salas deben ser lo suficientemente amplias para permitir el acceso sin obstáculos y el movimiento seguro alrededor del equipo. Además, la ubicación de las consolas de control y sus barreras protectoras debe estar optimizada para proteger al personal durante las exposiciones (AEC, 2017). Un diseño adecuado también debe incluir medidas para

minimizar la exposición a la radiación dispersa, utilizando materiales de blindaje adecuados y configuraciones espaciales que reduzcan los riesgos (NCRP, 2021).

El diseño de las salas de rayos X es un componente crítico en la garantía de un entorno seguro y eficiente tanto para los pacientes como para el personal médico. Al considerar factores como los patrones de movimiento, los tipos de procedimientos y el peso del equipo, se puede crear un espacio que no solo facilite el trabajo diario, sino que también minimice los riesgos asociados con la radiación.

#### 2.1.10. CONSECUENCIAS DEL MAL BLINDAJE

Las deficiencias en la protección radiológica pueden llevar a exposiciones a dosis significativamente altas de radiación tanto para pacientes como para el personal médico, incrementando el riesgo de efectos perjudiciales para la salud, como cánceres y otros efectos no cancerosos a largo plazo (Vaz, 2014). El estudio de Oakley y Harrison analiza el descenso en el cumplimiento del principio ALARA. El declive se atribuye a varios factores, entre ellos los avances tecnológicos, que pueden dar una falsa sensación de seguridad, lo que lleva a la complacencia a la hora de mantener bajas las dosis de radiación. También se critican las tendencias actuales de las prácticas médicas, en las que se tiende cada vez más a dar prioridad a la eficacia y la rapidez frente a los protocolos meticulosos de seguridad radiológica (Oakley & Harrison, 2020).

La disminución gradual del cumplimiento del principio ALARA ha dado lugar a un aumento de las dosis de radiación durante los procedimientos médicos, lo que podría dar lugar a una mayor incidencia de complicaciones inducidas por la radiación. La falta de formación suficiente en seguridad radiológica y la inadecuada sensibilización del personal sanitario pueden conducir a una manipulación inadecuada de los equipos radiológicos, aumentando así la exposición innecesaria a la radiación tanto de los pacientes como del personal (Khamtuikrua & Suksompong, 2020).

#### 2.1.11. DESAFÍOS EN PAÍSES EN DESARROLLO

Un desafío clave es la necesidad de apoyo político y gubernamental a nivel superior para establecer y mantener programas efectivos de protección radiológica. Es esencial contar con una política clara y una estrategia para la seguridad radiológica, junto con el respaldo financiero necesario para implementar estas medidas (Adhikari et al., 2021). La creación de un cuerpo

regulador independiente con el soporte financiero adecuado es fundamental para asegurar que las prácticas de radiación se realicen de manera segura y conforme a los estándares internacionales (IAEA, 2020). Sin embargo, muchos países en desarrollo tienen un progreso limitado en este aspecto, lo que complica la implementación de programas de protección radiológica efectivos (Ngoye et al., 2019).

El apoyo político y gubernamental es crucial para el éxito de los programas de protección radiológica. Sin una política clara, estrategias bien definidas y el respaldo financiero adecuado, es difícil implementar y mantener estas medidas efectivamente.

La escasez de recursos humanos calificados, como expertos en protección radiológica (RPE) y físicos médicos, es otro problema común en los países en desarrollo (Stoeva, 2021). La falta de programas formales de educación y capacitación, así como de mecanismos de certificación, agrava esta situación. La creación de redes de apoyo nacional o regional que permitan compartir experiencias y recursos, y que apoyen el bienestar de profesionales aislados, es crucial para superar estos desafíos (IAEA, 2020). Estas redes pueden ayudar a distribuir roles de liderazgo en diferentes áreas y fomentar una cultura de seguridad radiológica (Adhikari et al., 2021).

La escasez de profesionales calificados en protección radiológica en los países en desarrollo es un desafío significativo que afecta la seguridad y eficacia de los programas radiológicos. La falta de educación formal y capacitación adecuada impide el desarrollo de competencias esenciales.

En un estudio transversal descriptivo realizado en Irán, se evaluaron los estándares de protección radiológica en departamentos de radiología de hospitales. Los resultados mostraron que el promedio de conformidad con los estándares de protección radiológica fue del 71.9% en las salas de control y espera, con la presencia de señales y etiquetas de advertencia de radiación y embarazo en el 96.1% de los parámetros. Sin embargo, los protocolos de blindaje gonadal no estaban presentes (Hamzian et al., 2022). A pesar de la presencia de equipos de protección radiológica como delantales plomados en todas las salas de radiografía, el uso de protectores de tiroides y gonadales son poco frecuentes en muchos lugares (IAEA, 2017). Esto subraya la

necesidad de mejorar la cultura de protección radiológica a través de la capacitación y el cumplimiento de los protocolos de protección radiológica (Vassileva et al., 2021).

Aunque haya un alto nivel de cumplimiento en la señalización y advertencias de radiación, la falta de uso consistente de protectores de tiroides y gonadales revela una brecha significativa en la práctica de protección radiológica.

Además, se observó que las salas de radiografía carecían de ventanas de vidrio plomado y puertas con revestimiento de plomo adecuados, lo que aumenta el riesgo de fugas de radiación. La implementación de programas de control de calidad ha demostrado una reducción del 70% en la exposición a la radiación de pacientes y personal, junto con una mejora significativa en la calidad de las imágenes (Hamzian et al., 2022). Estas mejoras no solo benefician la seguridad de los procedimientos, sino que también optimizan los resultados diagnósticos al garantizar imágenes más claras y precisas (Vassileva et al., 2021). La adopción de estos programas debe ser una prioridad para todos los departamentos de radiología para cumplir con los estándares internacionales de seguridad y eficacia (ICRP, 2015).

Estas mejoras refuerzan la seguridad y la precisión de los procedimientos radiológicos, subrayando la importancia de adoptar y mantener estándares internacionales rigurosos.

Un estudio realizado en los Emiratos Árabes Unidos (EAU) reveló que el 57.4% de los radiógrafos mostraron una buena adherencia a las prácticas de protección radiológica, el 26.9% una adherencia moderada y el 15.7% una adherencia pobre (Abuzaid et al., 2019). Entre las prácticas de protección personal, frecuentemente, un porcentaje significativo de radiógrafos no utilizan de manera consistente dosímetros termoluminiscentes (TLD), delantales de plomo, guantes de plomo y collares tiroideos durante los procedimientos radiológicos (International Atomic Energy Agency, 2004). Esta falta de consistencia en el uso de equipos de protección personal destaca la necesidad de una capacitación continua y estricta para garantizar la seguridad y minimizar la exposición a la radiación (BIR, 2007).

La inconsistencia en el uso de equipos de protección personal, como los dosímetros TLD y delantales de plomo, pone en riesgo tanto a los radiógrafos como a los pacientes. Este hallazgo destaca la necesidad urgente de implementar programas de capacitación continua y rigurosa que enfatice la importancia del cumplimiento estricto de los protocolos de seguridad.

El estudio encontró que la adherencia a las prácticas de protección radiológica estaba significativamente correlacionada con la edad y la experiencia laboral de los radiógrafos. Los radiógrafos mayores y aquellos con más años de experiencia mostraron una mayor adherencia a las prácticas de protección radiológica en comparación con sus colegas más jóvenes y menos experimentados (Abuzaid et al., 2019). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la adherencia en relación con las calificaciones educativas de los radiógrafos (Abuzaid et al., 2019). Para mejorar el cumplimiento de las prácticas de protección radiológica se sugiere la necesidad de una formación continua y específica en protección radiológica para los radiógrafos, especialmente para los más jóvenes (ICRP, 2015).

## **2.2. PROBLEMÁTICA**

La protección radiológica es un componente crítico en la operación segura de instalaciones médicas que utilizan rayos X para diagnóstico y tratamiento. Sin embargo, en muchas instalaciones, especialmente en países en desarrollo como Honduras, se presentan desafíos significativos que dificultan la implementación y el mantenimiento de prácticas adecuadas de protección radiológica. Según el Acuerdo SEN-026-2021, "Guía Orientativa de Seguridad Radiológica para Señalización de Instalaciones Radiactivas", las instalaciones que utilizan fuentes radiactivas deben cumplir con normas estrictas de protección radiológica para proteger a los trabajadores, pacientes y el público en general de los riesgos asociados con la radiación ionizante (Wolfovich, 2021).

A pesar de la existencia de estas normativas, se conoce que en varias instalaciones de servicios de salud de países en vías de desarrollo cuentan con barreras protectoras inadecuadas, EPP insuficientes y el conocimiento sobre prácticas seguras de radiación limitado (Ngoye et al., 2019). Estudios han demostrado que la falta de una implementación adecuada de medidas de protección radiológica puede resultar en exposiciones a la radiación superiores a los límites recomendados, aumentando el riesgo de efectos adversos a largo plazo, como el cáncer y los efectos genéticos (Adhikari et al., 2021).

En el Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras, siendo un hospital con más de 40 años desde su fundación, podría contar con deficiencias en la sala de rayos X que comprometen la seguridad de los pacientes y del personal ya que no se le han hecho modificaciones relevantes

desde su fundación y no cuenta con un departamento de mantenimiento equipado para analizar el estado de la infraestructura. Además, la falta de capacitación continua para el personal de radiología agrava estos problemas, ya que los radiógrafos no siempre están al tanto de las mejores prácticas para minimizar la exposición a la radiación (Ngoye et al., 2019).

Además, la falta de recursos y apoyo gubernamental para la implementación de programas de control de calidad y protección radiológica es un problema recurrente en muchas regiones. Sin una inversión adecuada en infraestructura y capacitación, es difícil mantener estándares de seguridad consistentes y efectivos. La falta de un marco legal y regulatorio sólido también contribuye a la implementación deficiente de estas medidas, lo que aumenta los riesgos asociados con la radiación ionizante (Yusuf et al., 2020).

Para abordar estos problemas, es esencial realizar una evaluación exhaustiva de las barreras estructurales y los procedimientos operativos actuales en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso. Esta evaluación debe incluir la identificación de áreas de mejora y la implementación de recomendaciones basadas en las normativas internacionales y locales de protección radiológica. Además, es crucial proporcionar capacitación continua al personal de radiología para garantizar que estén al tanto de las mejores prácticas y técnicas para minimizar la exposición a la radiación (International Atomic Energy Agency, 2018).

### **2.3. IMAGEN INTEGRADORA**

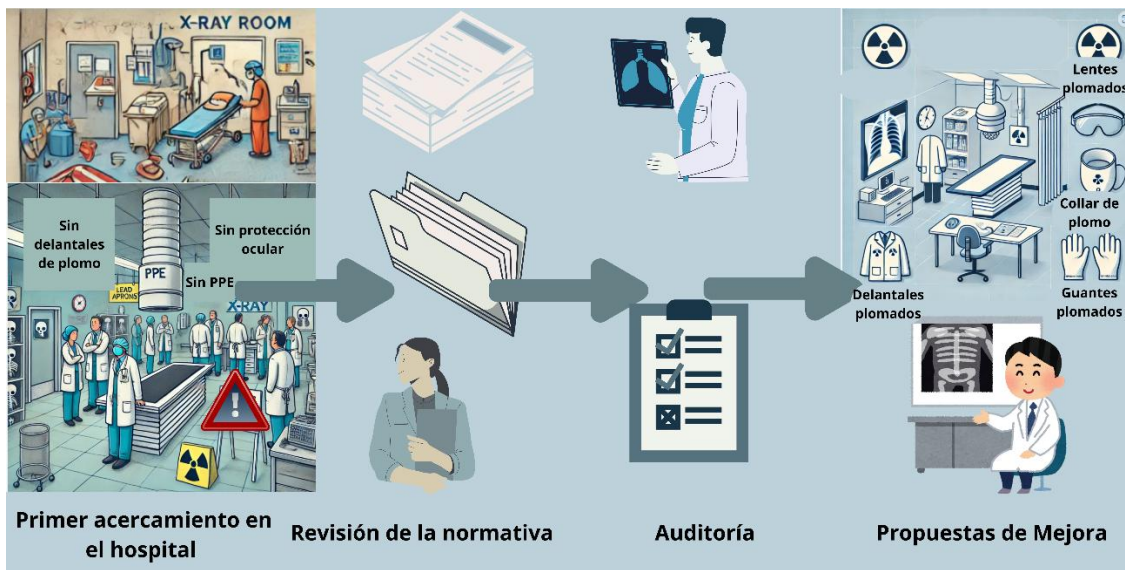
La imagen integradora ilustra el proceso de mejora de la seguridad radiológica en una sala de rayos X en un hospital, siguiendo varias etapas clave. En la parte izquierda de la imagen, se muestra el estado inicial de la sala de rayos X, destacando una serie de deficiencias en la seguridad. El personal no utiliza delantales de plomo, exponiéndose innecesariamente a la radiación. Además, falta de gafas protectoras, lo que aumenta el riesgo de daño ocular por la radiación. En general, no se observan medidas de protección personal adecuadas, indicando un entorno inseguro.

En el centro-izquierda de la imagen, se ilustra la etapa de revisión de las normativas. Durante esta fase, se revisan y analizan los documentos y normativas internacionales y nacionales de protección radiológica. Este proceso es crucial para entender y aplicar correctamente las

medidas de seguridad necesarias en el hospital. La revisión de la normativa asegura que las prácticas se alineen con los estándares establecidos para garantizar la protección de pacientes y personal.

En el centro-derecha de la imagen, se representa la etapa de evaluación en el hospital. Aquí, se lleva a cabo una evaluación detallada de las prácticas y procedimientos actuales en la sala de rayos X. Esta evaluación identifica las áreas que necesitan mejoras para cumplir con las normativas revisadas. La evaluación proporciona una comprensión clara de las deficiencias y permite planificar acciones correctivas específicas.

Finalmente, en la parte derecha de la imagen, se muestra el estado mejorado de la sala de rayos X, que representa el resultado esperado a largo plazo tras implementar las recomendaciones de seguridad. El personal utiliza delantales de plomo, gafas protectoras y collares de plomo para protegerse de la radiación, y se han incorporado guantes de plomo para protección adicional. La sala está bien organizada, con una señalización clara que indica áreas de riesgo y equipos de protección disponibles. Este estado ideal refleja la importancia de identificar deficiencias, revisar normativas, evaluar prácticas y aplicar mejoras. Se espera que esta propuesta sea tomada en cuenta para que, en el futuro, se pueda lograr este nivel de seguridad y conformidad con las regulaciones en la sala de rayos X del hospital.



**Ilustración 1: Imagen integradora**

Fuente: Elaboración propia

## 2.4. TABLA DE LIMITACIONES

**Tabla 1: Tabla de limitaciones**

<b>AUTOR (ES)</b>	<b>Año</b>	<b>PAÍS DE ESTUDIO</b>	<b>ENFOQUE DEL ESTUDIO</b>	<b>TIPO DE LIMITACIÓN</b>	<b>DETALLE DE LIMITACIÓN</b>
Abbasgholizadeh et al.	2016	Canadá	Prioritization of Failures in Radiation Therapy Delivery	Estudio de priorización de fallos	Errores en configuración de la técnica de radiación aplicada en el paciente
Abuzaid et al.	2019	Emiratos Árabes Unidos	Assessment of compliance to radiation safety and protection at the radiology department	Evaluación de cumplimiento	Cumplimiento parcial de las normas de seguridad radiológica.
Adhikari et al.	2021	Reino Unido, España,	Radiation protection infrastructure—Challenges in developing countries	Infraestructura de protección radiológica	Desafíos en la implementación debido a recursos limitados.
Hamzian et al.	2022	Irán	A Study of Radiation Protection Standards Compliance in Hospital Radiographic Departments	Cumplimiento de estándares de protección	Cumplimiento inconsistente de los estándares de protección radiológica.

<b>AUTOR (ES)</b>	<b>Año</b>	<b>PAÍS DE ESTUDIO</b>	<b>ENFOQUE DEL ESTUDIO</b>	<b>TIPO DE LIMITACIÓN</b>	<b>DETALLE DE LIMITACIÓN</b>
Jasieniak et al.	2023	Polonia	Summary of radiation dose management and optimization	Comparación de medidas de protección	Variabilidad en las medidas de protección entre países.
López et al.	2018	N/A	Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures	Protección radiológica ocupacional	Riesgos ocupacionales no completamente mitigados.
Ngoye et al.	2019	Tanzania	Challenges facing the implementation of quality control by radiographers	Implementación de control de calidad	Dificultades en la implementación de procedimientos de control de calidad.
Tsapaki,.	2020	Austria	Radiation dose optimization in diagnostic and interventional radiology	Optimización de dosis de radiación	Dificultad para mantener la optimización continua de dosis.
Yusuf et al.	2020	Nigeria	Structural Shielding Evaluation	Evaluación de blindaje estructural	Inconsistencias en la evaluación y mantenimiento del blindaje estructural.

Fuente: Elaboración propia

En el contexto del presente estudio, se abordarán varias limitaciones identificadas en estudios previos sobre prácticas de seguridad radiológica y protección en instalaciones de rayos X. La investigación de Abbasgholizadeh et al. (2016), que señala la falta de priorización adecuada de fallos críticos en la terapia de radiación, se mitigarán mediante la implementación de auditorías técnicas detalladas y la revisión exhaustiva de las normativas aplicables, asegurando una evaluación rigurosa y priorización de fallos potenciales en la infraestructura radiológica del hospital.

Además, el estudio de Abuzaid et al. (2019), que destaca un cumplimiento parcial de las normas de seguridad radiológica, se enfrentará con una evaluación integral del cumplimiento normativo en el hospital, buscando que todas las normativas sean aplicadas correctamente y de manera consistente. Asimismo, el cumplimiento inconsistente de los estándares de protección radiológica señalado por Hamzian et al. (2022) se abordará mediante un análisis detallado del estado actual de las prácticas de protección y la capacitación del personal, promoviendo una adherencia estricta a los protocolos de seguridad establecidos.

### **III. OBJETIVOS**

En este capítulo, se establecen los objetivos del proyecto de investigación, que actuarán como una guía para la metodología que se aplicará durante el desarrollo del estudio.

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar las prácticas de seguridad radiológica en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras, mediante la revisión de normativas internacionales y nacionales con el fin de realizar un levantamiento del estado actual de la sala.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las normativas y guías relevantes que rigen la protección radiológica en instalaciones médicas.
- Identificar deficiencias y áreas de mejora en el cumplimiento de las normativas en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, contrastando la normativa nacional con internacional.
- Proponer estrategias para corregir los fallos identificados en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso.

## **IV. METODOLOGÍA**

En este capítulo se describe la metodología utilizada para evaluar las prácticas de seguridad radiológica en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras. Se adopta un enfoque mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos, para recopilar y analizar datos relevantes. Este enfoque permitirá una comprensión integral de la situación actual y proporcionará una base sólida para la formulación de recomendaciones que mejoren la seguridad y efectividad de las prácticas radiológicas en el hospital.

### **4.1. ENFOQUE DEL ESTUDIO**

El estudio se llevó a cabo utilizando un diseño de investigación descriptivo y evaluativo, aplicando un enfoque mixto que integró métodos tanto cualitativos como cuantitativos para recopilar datos relevantes sobre las prácticas de seguridad radiológica en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras. El diseño descriptivo permitió observar y describir el estado actual de la infraestructura, equipos de protección, personal y procedimientos operativos, proporcionando una imagen clara de la implementación de las normativas de seguridad. El componente evaluativo se centró en evaluar la efectividad y adecuación de estas prácticas, identificando fortalezas y debilidades, y ofreciendo recomendaciones para mejoras.

El enfoque cualitativo, mediante entrevistas semi-estructuradas y observaciones directas, capturó las percepciones y experiencias del personal, aportando una comprensión profunda de los desafíos y oportunidades. Simultáneamente, el enfoque cuantitativo midió objetivamente las dosis de radiación y el cumplimiento de normativas, utilizando técnicas estadísticas para analizar los datos numéricos y evaluar el impacto de las medidas de seguridad implementadas. Esta combinación de métodos aseguró una evaluación exhaustiva y precisa, capturando tanto los aspectos objetivos como subjetivos, y facilitando decisiones informadas para mejorar la seguridad radiológica en el hospital.

## **4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

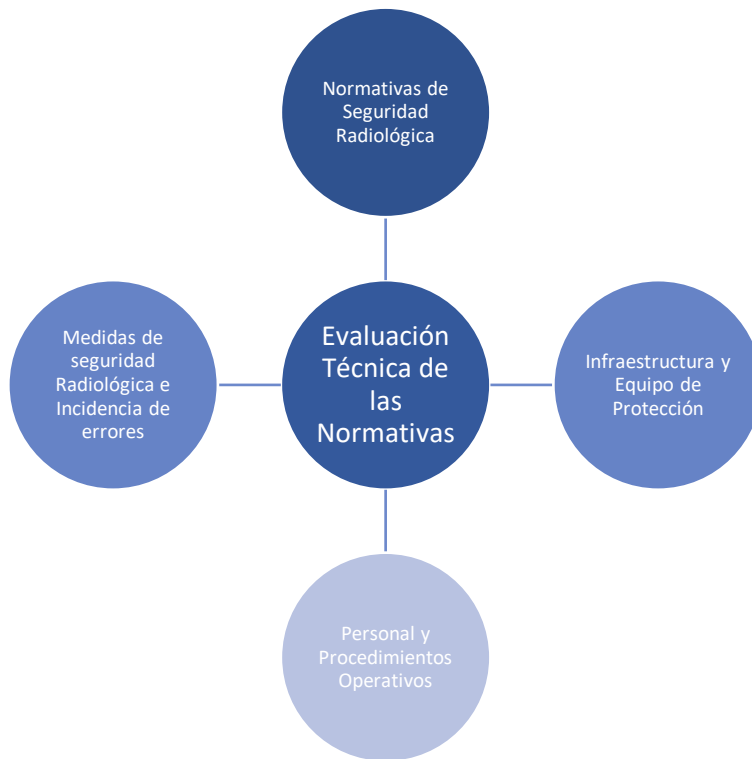
### 4.2.1. VARIABLES DEPENDIENTES

- Evaluación Técnica de las Normativas
  - La variable dependiente de este estudio fue la evaluación técnica de las normativas de seguridad radiológica aplicadas en el hospital. Esta evaluación se centró en determinar el grado de efectividad y adecuación de las normativas implementadas.

### 4.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Normativas de Seguridad Radiológica:
  - Existencia y actualización de normativas nacionales e internacionales aplicables: Se evaluó si el hospital contaba con las normativas vigentes y si estas estaban actualizadas según los estándares internacionales y nacionales.
  - Grado de cumplimiento de estas normativas en el hospital: Se midió el nivel de adherencia del hospital a las normativas establecidas, verificando el cumplimiento de los requisitos de seguridad radiológica.
- Infraestructura y Equipos de Protección:
  - Estado de las barreras protectoras: Se evaluó el estado físico de las barreras protectoras en términos de su material, grosor y ubicación, asegurando que fueran adecuadas para minimizar la exposición a la radiación.
  - Disponibilidad y uso de equipos de protección personal: Se midió la disponibilidad de equipos de protección personal, como delantales de plomo, protectores tiroideos y gafas plomadas, y la frecuencia de su uso por parte del personal durante los procedimientos radiológicos.
- Personal:
  - Frecuencia y contenido de los programas de capacitación en protección radiológica: Se evaluó la periodicidad con la que se realizaron los programas de capacitación y la calidad del contenido impartido en estos programas.

- Nivel de conocimiento y habilidades del personal en prácticas de protección radiológica: Se midió el nivel de conocimiento y las habilidades prácticas del personal en relación con las medidas de protección radiológica.
- Procedimientos Operativos:
  - Existencia de protocolos escritos para minimizar la exposición a la radiación: Se evaluó si existían protocolos documentados que describen los procedimientos para minimizar la exposición a la radiación.
  - Adherencia del personal a los protocolos establecidos: Se midió el grado de cumplimiento del personal con los protocolos de seguridad radiológica establecidos.
- Medidas de seguridad radiológica:
  - Medición de las dosis de radiación recibidas por el personal y los pacientes: Se registraron las dosis de radiación recibidas por el personal y los pacientes durante los procedimientos radiológicos.
  - Comparación de las dosis medidas con los límites de dosis permitidos: Se compararon las dosis medidas con los límites de dosis establecidos por las normativas para evaluar si se encontraban dentro de los rangos permitidos.
- Incidencia de Errores y Accidentes Radiológicos:
  - Número y tipo de incidentes reportados relacionados con la radiación: Se registró la cantidad y el tipo de incidentes relacionados con la radiación que ocurrieron en el hospital.



**Ilustración 2: Variables independientes y dependiente**

Fuente: Elaboración propia

### **4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

#### 4.3.1. ENTREVISTAS

Las entrevistas semi-estructuradas se llevaron a cabo con el personal de radiología para obtener información detallada sobre las prácticas actuales de protección radiológica y los desafíos que enfrentaban. Este método permitió una exploración profunda de las experiencias y percepciones del personal, proporcionando datos cualitativos valiosos que complementaron los hallazgos de otras técnicas de recolección de datos.

#### 4.3.2. AUDITORIAS Y OBSERVACIONES DIRECTAS

Las auditorías y observaciones directas se utilizaron para evaluar de manera objetiva el entorno de trabajo y las prácticas de protección radiológica en las instalaciones de rayos X.

- Auditorías de Instalaciones:

Se realizaron auditorías detalladas de las instalaciones de rayos X para evaluar el estado de las barreras protectoras, la disponibilidad y uso de equipos de protección personal, y la adherencia a los protocolos de seguridad establecidos. Para estas auditorías se utilizó un metro electrónico, el cual es un dispositivo preciso que permite medir las dimensiones y espesores de las barreras protectoras. Este instrumento fue esencial para garantizar que las barreras cumplieran con los requisitos de seguridad y proporcionaran una protección adecuada contra la radiación.

- Observaciones Directas:

Se llevaron a cabo observaciones directas de los procedimientos radiológicos para identificar y documentar prácticas y comportamientos relacionados con la protección radiológica. Este método permitió verificar la aplicación práctica de los protocolos y la identificación de áreas de mejora.

#### 4.3.3. MEDICIÓN DE DOSIS DE RADIACIÓN

La medición de dosis de radiación se utilizó para cuantificar la exposición a la radiación tanto del personal como de los pacientes durante los procedimientos radiológicos. Para garantizar que las dosis de radiación se mantuvieran dentro de los límites permitidos y cumplir con los estándares de seguridad internacionales, se utilizaron equipos especializados para la medición de dosis en la sala de rayos X. Estos dispositivos permitieron tanto la evaluación del entorno radiológico como el control de los parámetros técnicos del equipo de rayos X, asegurando un monitoreo exhaustivo de la exposición a la radiación.

#### 4.3.4. REVISIÓN DOCUMENTAL

La revisión documental se centró en la evaluación de los registros y documentos existentes para obtener una comprensión completa de las prácticas de protección radiológica en el hospital.

- Documentación y Registros:

Se revisaron protocolos de seguridad, informes de incidentes radiológicos y resultados de auditorías previas para evaluar la efectividad de las medidas de protección radiológica actuales y la adherencia a las normativas. Esta revisión proporcionó una base sólida para identificar áreas de mejora y desarrollar recomendaciones basadas en evidencia. Las normativas que se evaluaron

incluyeron las emitidas por el estado de Honduras, así como los estándares internacionales relevantes.

#### 4.3.5. NORMATIVAS A EVALUAR

Las normativas que se evaluaron en este estudio incluyeron las emitidas por el estado de Honduras, tales como la Ley sobre Actividades Nucleares y Seguridad Radiológica, y las guías de seguridad para la práctica de radiodiagnóstico emitidas por la SEN. Además, se consideraron los estándares internacionales establecidos por organismos como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA).

**Tabla 2: Normativas utilizadas**

<b>Normativa</b>	<b>Criterios Evaluados</b>	<b>Utilizada en el Proyecto</b>
OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica)	Evaluación de dosis, protección radiológica ocupacional, límites de exposición para trabajadores y público, monitoreo de radiación	Sí, para establecer los límites de dosis y guías para la protección ocupacional.
ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica)	Principios de justificación, optimización, y limitación de dosis; clasificación de zonas controladas y vigiladas	Sí, para clasificación de zonas y justificación de exposiciones.
Reglamento SEN (Honduras)	Requisitos nacionales sobre la protección radiológica, uso de equipos, manejo de radiación ionizante, formación y capacitación	Sí, para verificar el cumplimiento de regulaciones locales y alinearlas con los estándares internacionales.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.6. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN:

##### **Raysafe 452 y Raysafe X2:**

Estos analizadores fueron fundamentales para la medición precisa de dosis de radiación en la sala de rayos X. El Raysafe 452 se utilizó para realizar mediciones de dosimetría de área, registrando niveles de radiación ambiental en diferentes puntos dentro de la sala de rayos X y sus áreas adyacentes. Este dispositivo fue especialmente útil para monitorear la seguridad radiológica

y garantizar que las dosis estuvieran dentro de los límites establecidos para la seguridad del personal y el público.

El Raysafe X2 se empleó para medir los valores del tubo de rayos X, como el kilo voltaje pico (kVp), la corriente del tubo (mA), y el tiempo de exposición. Este dispositivo proporcionó datos cruciales para evaluar la exactitud y la repetibilidad del equipo de rayos X, asegurando que operaran conforme a los estándares internacionales de seguridad.



**Ilustración 3: RaySafe x2**

Fuente: Elaboración propia

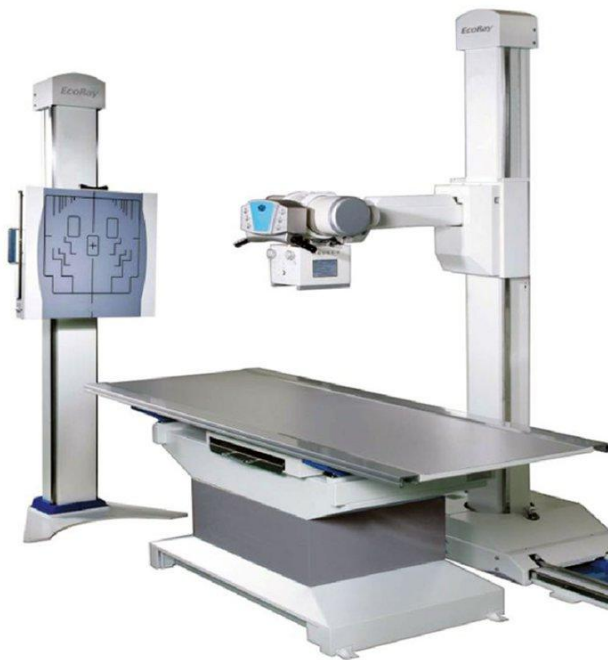


**Ilustración 4: RaySafe 452**

Fuente: Elaboración propia

## **ECORAY HF-52 PLUS**

Para llevar a cabo las mediciones de dosis y la evaluación de los parámetros radiológicos en la sala de rayos X, se utilizó el equipo ECORAY HF-52 Plus, que es el único equipo funcional de los dos disponibles en la sala. Este generador de rayos X de alta frecuencia fue fundamental para garantizar mediciones consistentes y precisas en distintos rangos de kilovoltaje (kVp) y miliamperios (mA). Las mediciones realizadas con este equipo permitieron evaluar tanto la repetibilidad como la exactitud del tubo de rayos X, cumpliendo con los estándares de seguridad radiológica. Además, el ECORAY HF-52 Plus fue utilizado en la evaluación de la dosis de radiación en diferentes ubicaciones dentro de la sala y sus áreas adyacentes, siguiendo las normativas internacionales de protección radiológica.



**Ilustración 5: ECORAY HF-52 Plus**

Fuente: (Intermedics SAS, 2021)

#### 4.3.7. SOFTWARE DE ANÁLISIS

##### **AutoCAD**

Utilizado para la elaboración de los croquis a escala de la sala de rayos X y sus áreas adyacentes. Este software permitió representar con precisión la ubicación de los puntos de medición y los elementos estructurales (puertas, ventanas, equipo de rayos X, etc.). AutoCAD fue crucial para asegurar una planificación detallada y una evaluación completa del entorno de radiación.

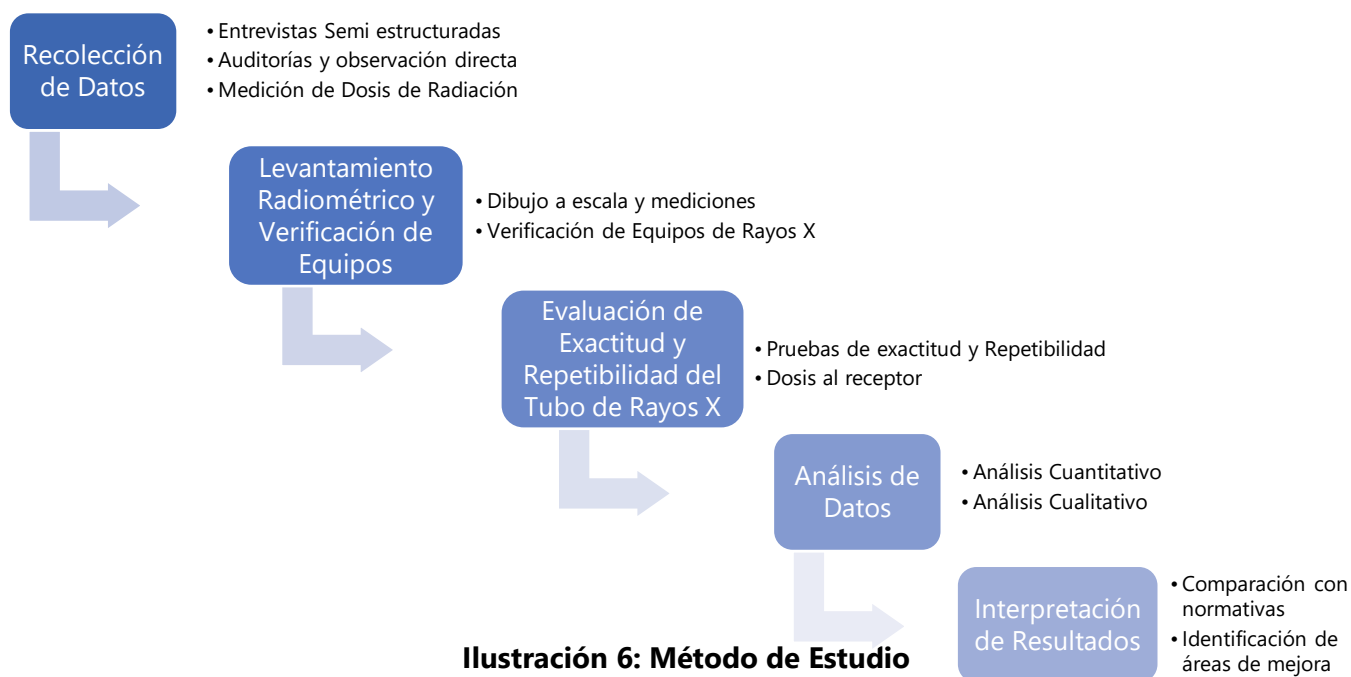
##### **Microsoft Excel**

Empleado para el análisis estadístico de los datos recopilados, especialmente para calcular la repetibilidad, exactitud y el coeficiente de variación (CV%) de los equipos de rayos X. Excel permitió realizar análisis descriptivos y gráficos, ayudando a visualizar los resultados y a tomar decisiones informadas basadas en datos.

#### 4.4. MÉTODO DE ESTUDIO

A continuación, se presenta el paso a paso del proceso aplicado para analizar la problemática planteada.

Fuente: Elaboración propia



En esta sección, se describen detalladamente cada una de las etapas del proceso mostrado en la **Ilustración 6**, explicando las técnicas utilizadas y los métodos de análisis empleados para evaluar las prácticas de protección radiológica en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras.

##### 4.4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

La fase de recolección de datos se llevó a cabo utilizando diversas técnicas para obtener información detallada y precisa sobre las prácticas de protección radiológica en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras.

- Entrevistas Semi-estructuradas:

Se realizaron entrevistas con el personal de radiología para obtener información sobre sus prácticas actuales de protección radiológica, los desafíos que enfrentaban y sus sugerencias para mejorar las condiciones de seguridad.

- Auditorías y Observaciones Directas:

Se llevaron a cabo auditorías de las instalaciones de rayos X para evaluar el estado de las barreras protectoras, la disponibilidad y uso de equipos de protección personal y la adherencia a los protocolos de seguridad, así como observaciones directas de los procedimientos radiológicos para identificar prácticas y comportamientos relacionados con la protección radiológica.

En estas auditorías se consideraron los aspectos mencionados en el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes, en el que se establece que la protección ocupacional de los trabajadores expuestos se basó en los siguientes principios:

a) Evaluación previa de las condiciones laborales para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización.

b) Clasificación de los lugares de trabajo en diferentes zonas, teniendo en cuenta: la evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de exposiciones potenciales.

c) Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías según sus condiciones de trabajo.

d) Aplicación de las normas y medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas y a las distintas categorías de trabajadores expuestos, incluida, en su caso, la vigilancia individual.

e) Vigilancia de la salud.

f) Información y formación.

Los lugares de trabajo se clasificaron en función del riesgo de exposición y teniendo en cuenta la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, según la "Guía Orientativa de

Seguridad Radiológica para Señalización de Instalaciones Radiactivas” (Secretaria de Energía, 2021), en las siguientes zonas:

a) Zona controlada: Es aquella zona en la que se cumpla cualquiera de las siguientes condiciones:

- Exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial.
- Sea necesario seguir procedimientos de trabajo con objeto de restringir la exposición a la radiación ionizante, evitar la dispersión significativa de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias.

b) Zona Supervisada: toda zona que no haya sido designada como zona controlada, pero en la que sea preciso mantener en examen las condiciones de exposición ocupacional y del público, aunque normalmente no sean medidas de protección y seguridad específicas.

c) Zonas de acceso prohibido: Son aquellas en las que existe el riesgo de recibir, en una exposición en muy corto periodo de tiempo, dosis superiores a los límites de dosis fijados en el inciso de zonas de permanencia limitada.

De igual forma se realizó una clasificación de los trabajadores ocupacionalmente expuestos como:

a) Categoría A: Pertenecen a esta categoría aquellos trabajadores expuestos que, por las condiciones en las que se realiza su trabajo, puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 15 mSv por año oficial al cristalino o superior a 150 mSv para la piel y las extremidades.

b) Categoría B: Pertenecen a esta categoría aquellos trabajadores expuestos que no sean clasificados como trabajadores de la categoría A.

Esta clasificación es fundamental para garantizar que las medidas de protección radiológica se adapten al nivel de riesgo, asegurando que los empleados más expuestos reciban un monitoreo más riguroso y utilicen equipos de protección personal adecuados.

Esta segmentación también facilita la aplicación de controles, como la vigilancia periódica de la salud, el uso de dosímetros individuales y la implementación de rotaciones de personal para minimizar la exposición acumulada.

- Medición de Dosis de Radiación:

Se utilizaron medidores de radiación para medir las dosis de radiación recibidas por el personal y los pacientes durante los procedimientos radiológicos. Se realizó una comparación de las dosis medidas con los límites de dosis permitidos según las normativas internacionales.

#### 4.4.2. LEVANTAMIENTO RADIOMÉTRICO Y VERIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO DE RAYOS X

Se realizó un dibujo a escala de la sala de rayos X y sus áreas adyacentes, identificando puntos de exposición potencial. Utilizando dispositivos como el Raysafe 452 y el Raysafe X2, se colocaron detectores en puntos específicos y se registraron los niveles de radiación en varias condiciones operativas. Las mediciones se repitieron para asegurar la exactitud.

De igual forma, se inspeccionó visualmente el estado de los equipos (tubos, soportes, cables, etc.) y se verificó la funcionalidad de los colimadores, los movimientos de los soportes y la ausencia de fugas de aceite. Esta verificación se recomendaba diariamente.

#### 4.4.3. EXACTITUD Y REPETIBILIDAD DEL TUBO DE RAYOS X Y ESTIMACIÓN DE DOSIS AL RECEPTOR:

Se evaluó la precisión y consistencia de los valores de tiempo de exposición y tensión (kVp) del tubo de rayos X. Estas pruebas se realizaron anualmente o tras modificaciones. Se utilizó el coeficiente de variación (CV%) para medir la repetibilidad de los valores.

De igual forma, se estimó la dosis recibida por el receptor durante procedimientos de rayos X, ajustando los parámetros clínicos y utilizando detectores para registrar las dosis en diferentes condiciones de exposición.

Estas evaluaciones aseguraron que los equipos de rayos X operaran de manera segura y eficiente, cumpliendo con las normativas internacionales y nacionales de protección radiológica.

#### 4.4.4. ANÁLISIS DE DATOS

Una vez recolectados, los datos fueron analizados utilizando técnicas tanto cuantitativas como cualitativas.

- Análisis Cuantitativo:

Los datos cuantitativos obtenidos de las mediciones de dosis de radiación y de las auditorías fueron analizados utilizando técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales. Esto permitió identificar patrones, tendencias y relaciones significativas entre las variables estudiadas.

- Análisis Cualitativo:

Los datos cualitativos obtenidos de las entrevistas y observaciones fueron analizados mediante técnicas de análisis temático. Este análisis ayudó a identificar patrones y temas recurrentes, proporcionando una comprensión profunda de las experiencias y percepciones del personal de radiología.

#### 4.4.5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados se centró en comparar los hallazgos del estudio con las normativas internacionales y nacionales de protección radiológica, y en identificar áreas de mejora.

- Comparación con Normativas:

Los resultados se compararon con las normativas establecidas por organismos como la ICRP y la OIEA, así como con las regulaciones locales emitidas por la Secretaría de Energía. Esto permitió evaluar el grado de cumplimiento del hospital con los estándares de seguridad radiológica.

- Identificación de Áreas de Mejora:

Se identificarán las áreas donde se requieren mejoras en las prácticas de protección radiológica. Con base en esta evaluación, se desarrollarán recomendaciones específicas para mejorar la seguridad y efectividad de las prácticas radiológicas en el hospital.

## **4.5. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN**

La metodología de validación se centró en varios aspectos clave, cada uno contribuyendo a evaluar el cumplimiento de los criterios previamente establecidos.

### **4.5.1. REVISIÓN DOCUMENTAL Y VALIDACIÓN DE NORMATIVAS**

La revisión documental se centró en la evaluación de los registros y documentos existentes para obtener una comprensión completa de las prácticas de protección radiológica en el hospital. Se revisaron protocolos de seguridad, informes de incidentes radiológicos y resultados de auditorías previas para evaluar la efectividad de las medidas de protección radiológica actuales y la adherencia a las normativas. Esta revisión proporcionó una base sólida para identificar áreas de mejora y desarrollar recomendaciones basadas en evidencia. Además, se comparó el cumplimiento de las normativas específicas emitidas por el estado de Honduras y los estándares internacionales, como los de la ICRP y la IAEA.

### **4.5.2. VALIDACIÓN CON EXPERTOS EN EL ÁREA**

La validación con expertos en el área se realizó en colaboración con un profesional certificado en protección radiológica para asegurar la fiabilidad de los datos recolectados y la adecuación de las normativas consideradas en la auditoría. Este proceso fue fundamental para garantizar que los equipos utilizados, los procedimientos seguidos, y los resultados obtenidos fueran consistentes con los objetivos del proyecto y cumplieran con los estándares internacionales de seguridad radiológica. La validación incluyó:

- **Revisión de Normativas y Procedimientos Utilizados:** El experto revisó las normativas nacionales e internacionales consideradas para la auditoría de protección radiológica. Esto incluyó una evaluación detallada de los criterios de seguridad aplicados.
- **Validación de Equipos y Metodología de Medición:** Se trabajó en conjunto con el experto para validar la selección de los equipos de medición utilizados, como el Raysafe 452 y el Raysafe X2, y las técnicas aplicadas para tomar las mediciones de dosis de radiación. El experto verificó que los equipos y los métodos fueran los adecuados para obtener datos precisos y confiables.

- **Análisis de Consistencia de Resultados:** El experto evaluó los resultados obtenidos de las mediciones y auditorías realizadas, asegurando que fueran consistentes con el objetivo del proyecto de evaluar las prácticas de protección radiológica en el hospital. Se revisó la fiabilidad de los datos y se confirmaron los patrones identificados, proporcionando una base sólida para futuras recomendaciones y mejoras.
- **Retroalimentación y Recomendaciones Técnicas:** A partir de la validación realizada, el experto proporcionó retroalimentación técnica sobre los procedimientos de medición, la interpretación de los datos, y la implementación de normas de seguridad radiológica.

Este proceso de validación fue clave para garantizar la precisión y relevancia del estudio, reforzando la confianza en los datos obtenidos y en las conclusiones derivadas del análisis.

## **V. RESULTADOS**

Este capítulo presenta los resultados de la auditoría de protección radiológica en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso. Se incluyen las mediciones de dosis de radiación, la validación de normativas y procedimientos con expertos, y el análisis de la exposición del personal y la efectividad de las barreras protectoras.

### **5.1. COMPARACIÓN DE NORMATIVAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA**

En este estudio, se realizó una comparación entre la normativa nacional de Honduras emitida por la Secretaría de Energía Nuclear (SEN) y las principales normativas internacionales emitidas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA).

La normativa hondureña establece lineamientos claros para la protección radiológica en las instalaciones de radiodiagnóstico, incluyendo la clasificación de zonas, límites de dosis, y medidas de protección tanto para los trabajadores como para el público en general. A nivel internacional, tanto la ICRP como la OIEA recomiendan prácticas similares, con algunas especificaciones adicionales que buscan optimizar la seguridad radiológica.

Por ejemplo, en términos de clasificación de zonas, ambas normativas coinciden en la necesidad de zonas controladas y vigiladas, aunque las normativas internacionales detallan subdivisiones como las zonas de permanencia limitada y de acceso prohibido. Respecto a los límites de dosis, tanto las normativas nacionales como internacionales establecen un máximo de 20 mSv por año para trabajadores expuestos y 1 mSv por año para el público.

Otro punto clave es la evaluación y vigilancia radiológica, donde la normativa SEN establece la necesidad de evaluaciones previas y la vigilancia continua del personal. Las normativas internacionales no solo refuerzan estas medidas, sino que también sugieren revisiones constantes de la salud de los trabajadores y la actualización de prácticas según los avances tecnológicos.

En cuanto a la protección de los trabajadores y el público, ambas normativas concuerdan en la clasificación de los trabajadores expuestos en categorías y la obligatoriedad del uso de

equipos de protección. Finalmente, la supervisión y formación son elementos esenciales en ambos marcos normativos, destacando la importancia de la capacitación continua del personal en técnicas de seguridad y manejo de emergencias.

Este análisis comparativo muestra una alineación considerable entre las normativas nacionales y las internacionales, lo que evidencia un compromiso por parte de Honduras para mantener estándares de seguridad radiológica similares a los internacionales.

**Tabla 3 Comparación de normativa nacional hondureña con normativas internacionales**

<b>Aspecto</b>	<b>Normativa Nacional (SEN - Honduras)</b>	<b>Normativas Internacionales (ICRP/OIEA)</b>
Clasificación de Zonas	Clasifica en zonas controladas y vigiladas dependiendo del riesgo de exposición a radiaciones ionizantes.	Clasificación: zonas controladas, vigiladas, zonas de permanencia limitada y de acceso prohibido, basado en dosis y probabilidad de exposición.
Límites de Dosis	20 mSv/año para trabajadores expuestos y 1 mSv/año para el público.	Límites similares: 20 mSv/año para trabajadores, 1 mSv/año para el público. Variaciones para situaciones de emergencia o exposiciones excepcionales.
Evaluación y Vigilancia	Requiere evaluación previa y vigilancia periódica de las condiciones laborales y radiológicas, asegurando el cumplimiento.	Evaluación continua de los riesgos radiológicos, vigilancia de la salud del personal expuesto y revisión periódica de las condiciones operativas y medidas de protección.
Protección de Trabajadores y Público	Clasifica a los trabajadores expuestos en Categorías A y B, con control de dosis y uso obligatorio de equipos de protección.	Categorías similares para trabajadores expuestos, con medidas estrictas de protección radiológica y equipos de protección personal en todas las zonas con riesgo radiológico.

Fuente: Elaboración Propia

## **5.2. PLANO DEL ÁREA DE RAYOS X Y CONTEXTO DE TRABAJO**

Para comprender mejor la distribución de las áreas de trabajo y la exposición potencial a la radiación en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, se presenta a continuación un plano del área elaborado en AutoCAD. Este plano se desarrolló tras realizar medidas precisas y observar la ubicación de cada elemento clave, como el equipo de rayos X, las estaciones de trabajo, las barreras protectoras (como vidrios plomados), las puertas y otras estructuras relevantes.

Al entrar en la sala de rayos X, se percibe inmediatamente un ambiente con un alto nivel de humedad, visible en el suelo, las paredes y el techo. Las paredes muestran signos de deterioro debido a la humedad, con manchas y posibles filtraciones que han causado desgaste. Las puertas plomadas, aunque presentes, son viejas y muestran signos de envejecimiento. El techo también refleja la humedad y tiene algunas filtraciones, lo que le da un aspecto descuidado. Además, se observa que los equipos de rayos X están oxidados, indicando la falta de mantenimiento adecuado en un entorno que requiere alta precisión y seguridad.

Es importante destacar que esta alta humedad representa una falla estructural grave. La humedad constante puede debilitar el concreto y los materiales de construcción, así como oxidar los blindajes de protección radiológica, comprometiendo su efectividad con el tiempo. Si no se controla, esto podría llevar a una falla en los blindajes, lo que incrementaría el riesgo de exposición a la radiación para el personal y los pacientes. Además, la humedad puede afectar directamente el rendimiento del equipo de rayos X, como el tubo de rayos X, ya que la oxidación en los componentes metálicos puede causar fallas mecánicas, atasco de partes o incluso mal funcionamiento del equipo.

Para mitigar estos riesgos, se recomienda instalar deshumidificadores y medir de manera constante la humedad relativa en la sala para mantener niveles óptimos. El control de la humedad no solo es esencial para mantener la integridad estructural de la sala y los blindajes, sino también para garantizar el funcionamiento adecuado y seguro del equipo de rayos X.

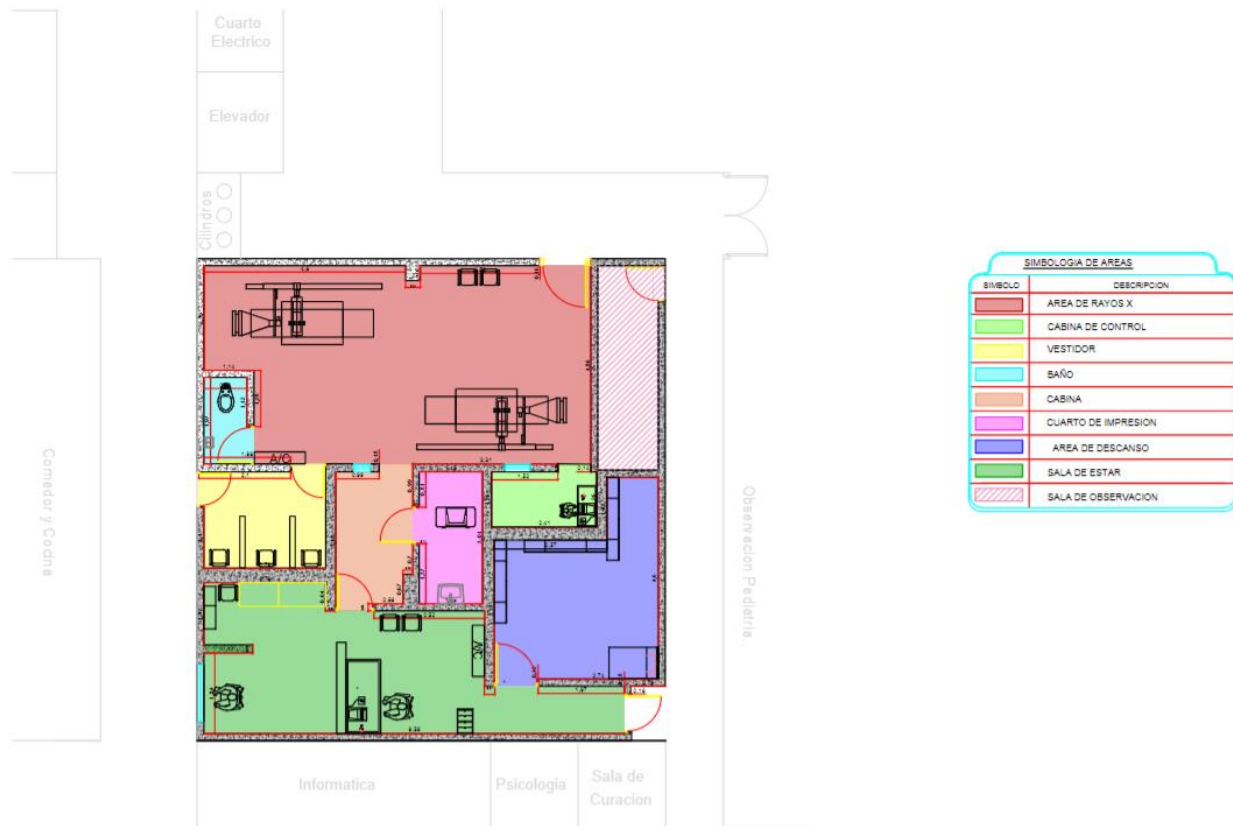
A pesar de estas condiciones, la sala se mantiene limpia gracias al aseo constante, aunque sería beneficioso mejorar la higiene del personal que trabaja allí. No se están considerando

cambios significativos en la infraestructura o en los equipos hasta que estos dejen de funcionar por completo.

La **Ilustración 7** del plano permite visualizar claramente cómo están dispuestas las distintas áreas, incluyendo la estación de trabajo, el baño, el vestidor, la oficina y otras zonas adyacentes, así como su proximidad al equipo de rayos X. Este detalle es crucial para entender las mediciones de dosis de radiación que se presentan en las siguientes secciones y cómo se relacionan con la exposición del personal y la efectividad de las barreras protectoras.

A partir de este plano, se puede apreciar:

- Ubicación de las Áreas Críticas: La proximidad de la estación de trabajo al equipo de rayos X y su protección detrás del vidrio plomado.
- Distribución de Barreras Protectoras: Como las puertas, los vidrios plomados y las distancias a distintas áreas (baño, vestidor, etc.) ayudan a minimizar la exposición a la radiación.
- Puntos de Exposición Potencial: Áreas como el baño (cuando la puerta está abierta) y el pasillo cercano a la puerta de la sala de rayos X que podrían presentar niveles de radiación más altos si no se gestionan adecuadamente.



Fuente: Elaboración propia

### 5.3. MEDICIONES DE DOSIS DE RADIACIÓN

Las mediciones de dosis de radiación se realizaron en diferentes ubicaciones alrededor de la sala de rayos X para evaluar la exposición potencial del personal y los pacientes. Antes de comenzar las mediciones, se estableció un valor base de 0.14  $\mu\text{Gy}$ , que fue la dosis registrada cuando no se emitían rayos X. Este valor representa la cantidad de radiación de fondo que normalmente puede recibir una persona en esa área.

Las distancias y ubicaciones seleccionadas, como 1 metro y 2 metros del equipo, estaciones de trabajo, baños, vestidores, y áreas detrás de barreras protectoras, fueron elegidas para cubrir tanto áreas de alta exposición como zonas de protección. Estas ubicaciones permitieron identificar puntos críticos donde la radiación puede ser más alta o donde se espera una atenuación significativa debido a las barreras físicas.

Se variaron los parámetros de kilo voltaje (kVp) y mili amperaje-segundos (mAs) en valores mínimos, máximos e intermedios para simular diferentes escenarios de exposición durante los procedimientos radiológicos. Este rango de parámetros permite evaluar cómo la dosis de radiación cambia en función de las configuraciones comunes utilizadas en la práctica clínica, abarcando tanto exposiciones más bajas como más altas.

El proceso de medición se llevó a cabo utilizando dispositivos dosimétricos como el Raysafe 452, que fue colocado en puntos específicos predefinidos en el plano del área. Las mediciones se realizaron bajo condiciones controladas. Los parámetros seleccionados se tomaron como referencia para representar escenarios típicos en el uso del equipo de rayos X y asegurar la consistencia de los resultados con los estándares de protección radiológica.

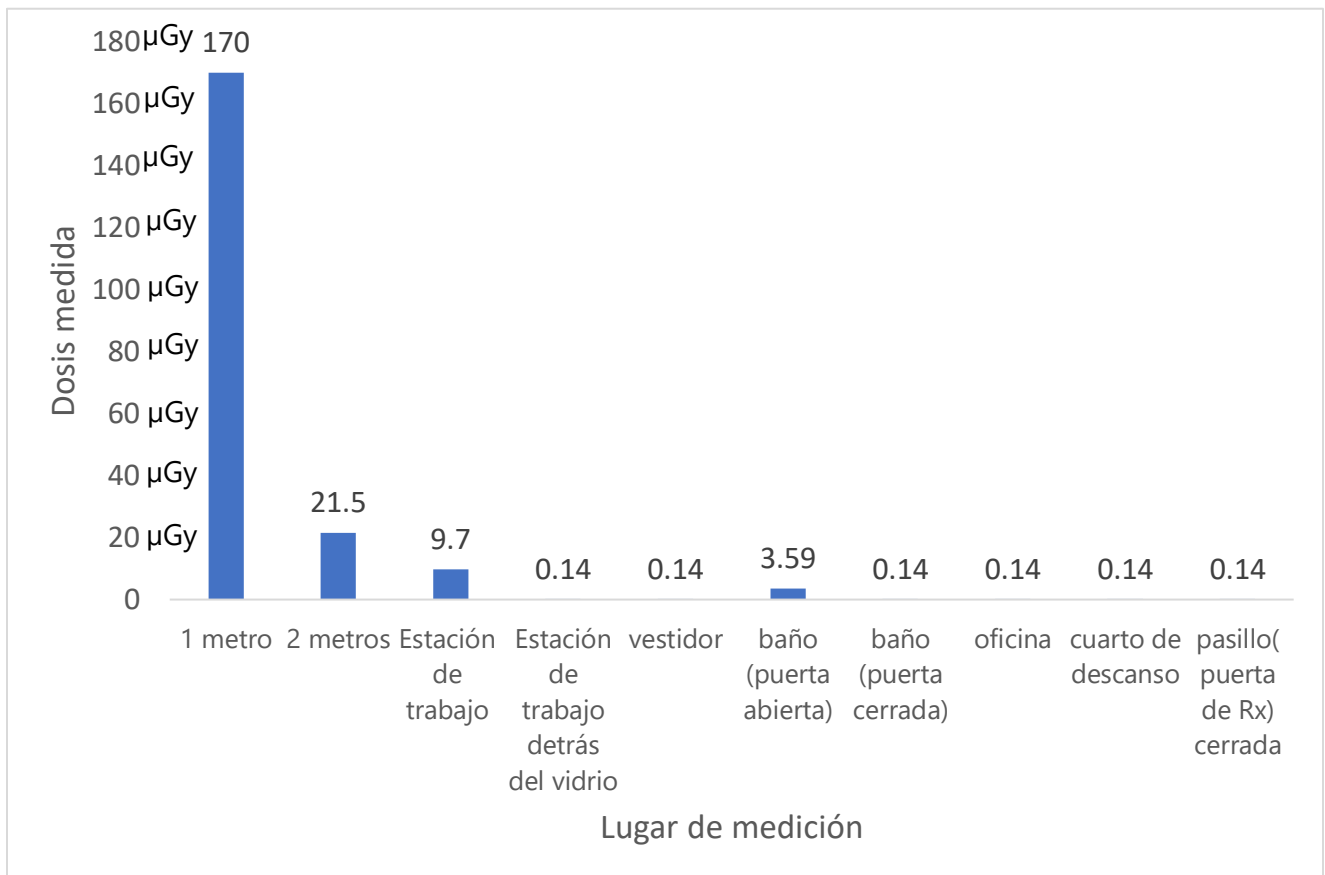
**Tabla 4: Mediciones de Dosis de radiación dentro del hospital con 50 kVp y 5 mAs**

DISTANCIA, UBICACIÓN	Parámetros		Medición	Límite Seguro
	KvP	mAs		
1 metro	50	5	170 µGy	No
2 metros	50	5	21.5 µGy	No
estación de trabajo	50	5	9.7 µGy	Si
estación de trabajo detrás del vidrio	50	5	0.14 µGy	Si
vestidor	50	5	0.14 µGy	Si
baño (puerta abierta)	50	5	3.59 µGy	Si
baño (puerta cerrada)	50	5	0.14 µGy	Si
oficina	50	5	0.14 µGy	Si
cuarto de descanso	50	5	0.14 µGy	Si
pasillo( puerta de Rx) cerrada	50	5	0.14 µGy	Si

Fuente: Elaboración Propia

La **Tabla 4** presenta las dosis de radiación (medidas en µGy) registradas en diferentes ubicaciones alrededor de la sala de rayos X cuando se utilizan parámetros de 50 kVp y 5 mAs. La dosis de radiación más alta se encuentra a 1 metro de distancia del equipo de rayos X, con un valor de 170 µGy, lo que indica una exposición sustancial en proximidad cercana al equipo. A una distancia de 2 metros, la dosis de radiación se reduce de manera significativa a 21.5 µGy, evidenciando una rápida disminución de la exposición conforme aumenta la distancia desde la fuente de radiación.

En ubicaciones más protegidas o distantes, como la estación de trabajo detrás del vidrio plomado, el vestidor, el baño con la puerta cerrada, la oficina, el cuarto de descanso, y el pasillo con la puerta de rayos X cerrada, la dosis medida es de 0.14  $\mu\text{Gy}$ . Este valor, que corresponde al nivel de radiación de fondo previamente establecido, confirma la efectividad de las barreras de protección físicas y de la distancia en la reducción de la exposición a la radiación. No obstante, en áreas donde la barrera física está ausente, como en el baño con la puerta abierta, la dosis registrada es de 3.59  $\mu\text{Gy}$ . Este incremento sugiere que, sin protección adecuada, la radiación puede alcanzar niveles más altos, destacando la importancia de mantener barreras físicas eficaces para limitar la exposición.



**Gráfica 1: Dosis recibida con 50 kVp y 5 mAs en distintas ubicaciones del hospital**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 1** representa las dosis de radiación registradas en diferentes ubicaciones alrededor de la sala de rayos X con los parámetros de 50 kVp y 5 mAs. La barra correspondiente

a la medición a 1 metro de distancia del equipo de rayos X es notablemente más alta que las demás, indicando una exposición significativa a la radiación en proximidad directa al equipo. Esta exposición disminuye de manera pronunciada a medida que aumenta la distancia o se incorporan barreras protectoras. En ubicaciones con barreras efectivas, como vidrio plomado o puertas plomadas, las mediciones muestran niveles de radiación cercanos a cero, lo que subraya la crucial importancia de las barreras físicas en la mitigación de la exposición.

Sin embargo, en ubicaciones con protección radiológica insuficiente, como aquellas donde las barreras no están adecuadamente implementadas o mantenidas, se identifican puntos de exposición inesperados o desprotegidos en el entorno de la sala de rayos X. Este análisis visual, combinado con los datos de la tabla, evidencia que la exposición a la radiación es alta en las áreas cercanas al equipo y se reduce significativamente con el aumento de la distancia y el uso de barreras protectoras.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de optimizar el diseño de la sala de rayos X y reforzar las barreras protectoras para garantizar que la exposición a la radiación se mantenga dentro de niveles seguros en todas las ubicaciones. Además, se recomienda asegurar que las puertas y otras barreras permanezcan cerradas durante los procedimientos y evaluar posibles mejoras en la calidad y colocación de las barreras de protección, especialmente en áreas donde no se alcanza la efectividad deseada.

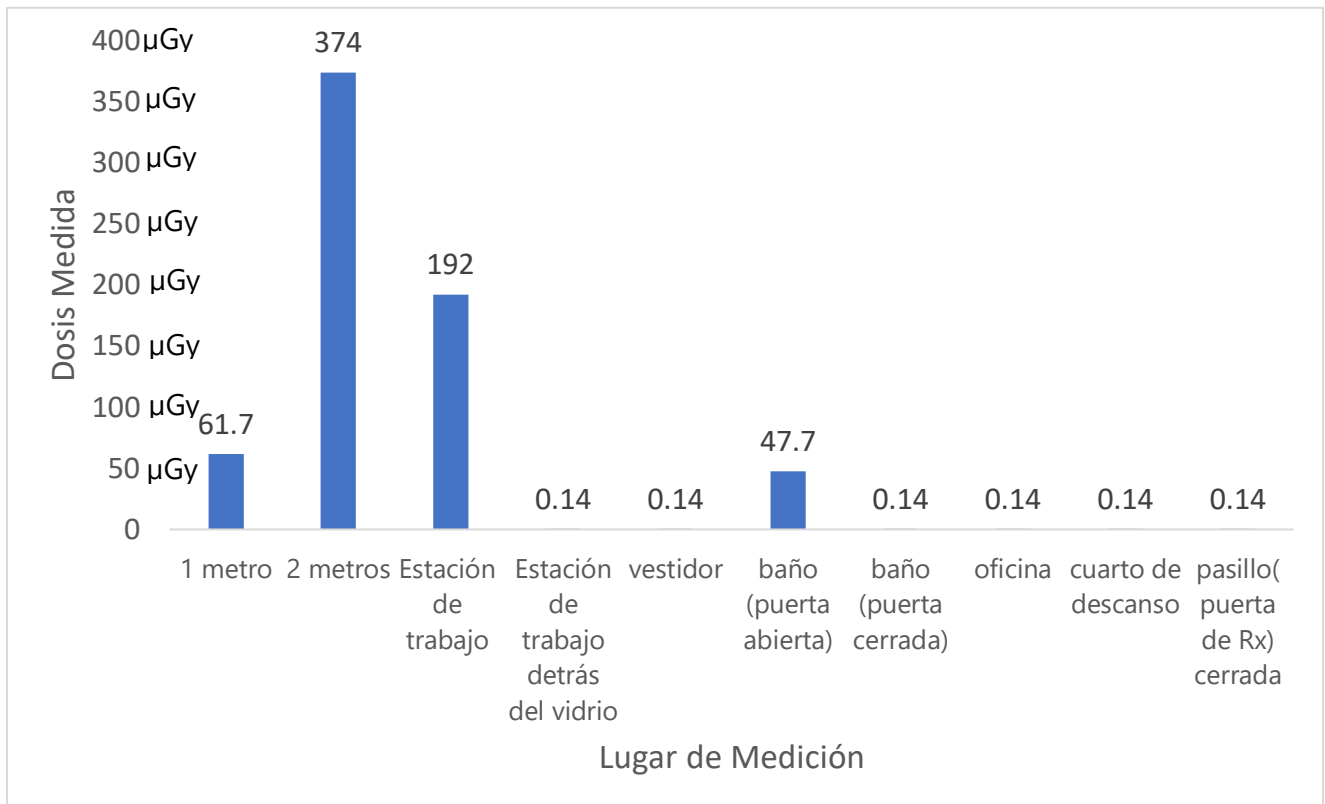
**Tabla 5: Dosis recibida en distintas ubicaciones con 50 kVp y 70 mAs**

DISTANCIA, UBICACIÓN	KvP	mAs	Medición	Límite Seguro
1 metro	50	70	61.7 µGy	No
2 metros	50	70	374 µGy	No
Estación de trabajo	50	70	192 µGy	No
Estación de trabajo detrás del vidrio	50	70	0.14 µGy	Si
vestidor	50	70	0.14 µGy	Si
baño (puerta abierta)	50	70	47.7 µGy	No
baño (puerta cerrada)	50	70	0.14 µGy	Si
oficina	50	70	0.14 µGy	Si
cuarto de descanso	50	70	0.14 µGy	Si
pasillo( puerta de Rx) cerrada	50	70	0.14 µGy	Si

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5** presenta las mediciones de dosis de radiación (en  $\mu\text{Gy}$ ) registradas en distintas ubicaciones alrededor de la sala de rayos X, utilizando parámetros de 50 kVp y 70 mAs. La dosis de radiación más alta se observa a 2 metros del equipo de rayos X, con una medición de 374  $\mu\text{Gy}$ , lo que indica una exposición considerable a esta distancia. La estación de trabajo también presenta un nivel elevado de radiación, registrando 192  $\mu\text{Gy}$ , lo que sugiere que esta área podría estar demasiado expuesta si no se cuenta con barreras protectoras adecuadas.

Por otro lado, las dosis medidas en ubicaciones protegidas o más alejadas, como la estación de trabajo detrás del vidrio plomado, el vestidor, el baño con la puerta cerrada, la oficina, el cuarto de descanso, y el pasillo con la puerta de rayos X cerrada, son consistentemente de 0.14  $\mu\text{Gy}$ . Este valor, correspondiente al nivel de radiación de fondo, reafirma la efectividad de las barreras protectoras en la reducción de la exposición a niveles seguros. Sin embargo, el baño con la puerta abierta presenta una dosis de 47.7  $\mu\text{Gy}$ , lo que pone de manifiesto que, en ausencia de una barrera física adecuada, las dosis de radiación pueden incrementarse significativamente.



**Gráfica 2: Dosis recibida con 50 kVp y 70 mAs en distintas ubicaciones del hospital**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 2** muestra de manera visual las dosis de radiación registradas en diferentes ubicaciones alrededor de la sala de rayos X con los parámetros de 50 kVp y 70 mAs. La barra más alta representa la dosis registrada a "2 metros" del equipo de rayos X, alcanzando 374  $\mu\text{Gy}$ , la más alta entre todas las ubicaciones medidas. La segunda dosis más alta se registra en la estación de trabajo, con un valor de 192  $\mu\text{Gy}$ , lo que sugiere que los trabajadores en esta área podrían estar expuestos a niveles de radiación superiores a los límites recomendados si no se fortalecen las medidas de protección.

En contraste, las ubicaciones con barreras protectoras eficaces, como las áreas detrás del vidrio plomado y las puertas cerradas, presentan dosis casi insignificantes (0.14  $\mu\text{Gy}$ ), lo que subraya la importancia de estas medidas físicas para reducir la exposición a la radiación. Sin embargo, el baño con la puerta abierta muestra una exposición significativa de 47.7  $\mu\text{Gy}$ , lo que resalta la necesidad de una gestión más rigurosa del acceso y la implementación de barreras protectoras adicionales para evitar niveles de radiación más elevados en áreas que deberían estar protegidas.

**Tabla 6: Dosis recibida en distintas ubicaciones con 55 kVp y 10 mAs**

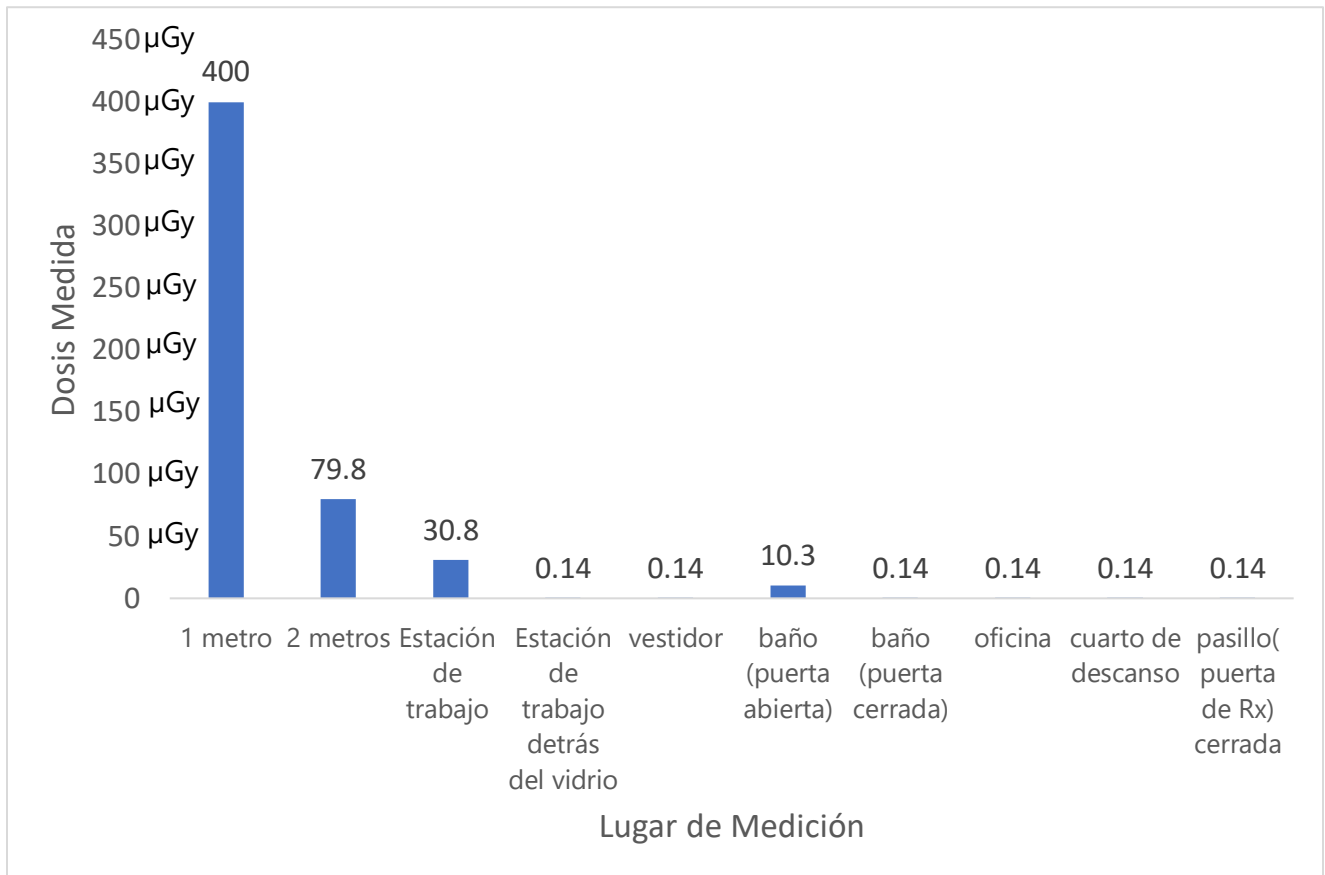
DISTANCIA, UBICACIÓN	kVp	mAs	Medición	Límite Seguro
1 metro	55	10	400 $\mu\text{Gy}$	No
2 metros	55	10	79.8 $\mu\text{Gy}$	No
estación de trabajo	55	10	30.8 $\mu\text{Gy}$	Si
estación de trabajo detrás del vidrio	55	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
vestidor	55	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
baño (puerta abierta)	55	10	10.3 $\mu\text{Gy}$	Si
baño (puerta cerrada)	55	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
oficina	55	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
cuarto de descanso	55	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
pasillo( puerta de Rx) cerrada	55	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 6** presenta las mediciones de dosis de radiación (en  $\mu\text{Gy}$ ) obtenidas en diferentes ubicaciones alrededor de la sala de rayos X bajo los parámetros de 55 kVp y 10 mAs. La dosis más alta de radiación se registró a 1 metro de distancia del equipo de rayos X, con un valor de 400  $\mu\text{Gy}$ . Esto confirma la exposición significativamente elevada cerca del equipo. A 2 metros de

distancia, la dosis disminuye considerablemente a 79.8  $\mu\text{Gy}$ , aunque sigue siendo relativamente alta en comparación con otras ubicaciones. En la estación de trabajo, la dosis registrada es de 30.8  $\mu\text{Gy}$ , lo que indica una exposición moderada, posiblemente debido a la cercanía al equipo y a la falta de barreras protectoras.

En áreas protegidas como la estación de trabajo detrás del vidrio plomado, el vestidor, el baño (puerta cerrada), la oficina, el cuarto de descanso, y el pasillo (puerta de Rx cerrada), la dosis medida es de 0.14  $\mu\text{Gy}$ , lo que demuestra la efectividad de las barreras físicas para reducir la exposición a la radiación. El baño con la puerta abierta muestra una dosis de 10.3  $\mu\text{Gy}$ , lo que indica que la radiación puede penetrar en áreas que no tienen barreras suficientes, aunque la exposición es relativamente baja en comparación con la cercanía al equipo.



**Gráfica 3: Dosis recibida con 55 kVp y 10 mAs en distintas ubicaciones en el hospital**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 3** muestra visualmente las dosis de radiación recibidas en diferentes ubicaciones alrededor de la sala de rayos X, utilizando los parámetros de 55 kVp y 10 mAs. La barra más alta corresponde a la medición realizada a 1 metro del equipo de rayos X, con una dosis de 400  $\mu\text{Gy}$ . Este resultado subraya la necesidad urgente de implementar medidas de protección adecuadas en las áreas cercanas al equipo de rayos X o, alternativamente, limitar estrictamente el acceso a estas zonas para evitar exposiciones elevadas.

La ilustración también revela una disminución notable en la dosis de radiación al aumentar la distancia a 2 metros y más, lo cual es coherente con las leyes de atenuación de la radiación. En ubicaciones equipadas con barreras protectoras, como detrás del vidrio plomado, las dosis son prácticamente insignificantes (0.14  $\mu\text{Gy}$ ), lo que confirma la alta efectividad de estas barreras para proteger a las personas de la exposición a la radiación.

Aunque la dosis registrada en el baño con la puerta abierta (10.3  $\mu\text{Gy}$ ) es considerablemente más baja que la medida cercana al equipo, sigue siendo una indicación clara de que la radiación puede llegar a áreas que no están adecuadamente protegidas. Esto destaca la necesidad de optimizar la gestión de las puertas y mejorar las barreras protectoras en puntos específicos, asegurando así que incluso las áreas adyacentes a la sala de rayos X estén adecuadamente resguardadas.

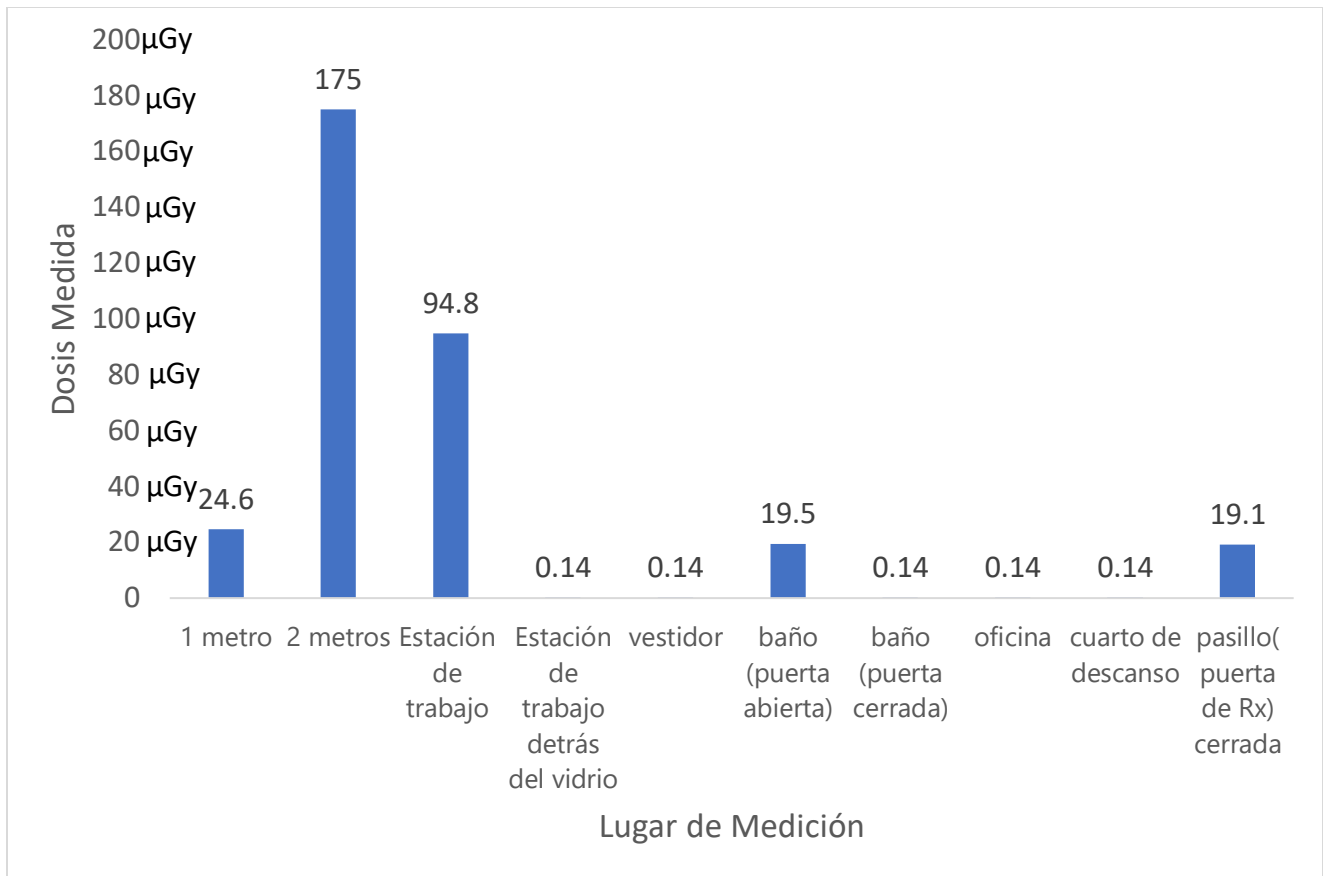
**Tabla 7: Mediciones de Dosis en Distintas Ubicaciones con 8 kVp y 10 mAs**

DISTANCIA, UBICACIÓN	kVp	mAs	Medición	Límite seguro
1 metro	80	10	24.6 $\mu\text{Gy}$	Si
2 metros	80	10	175 $\mu\text{Gy}$	No
estación de trabajo	80	10	94.8 $\mu\text{Gy}$	Si
estación de trabajo detrás del vidrio	80	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
vestidor	80	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
baño (puerta abierta)	80	10	19.5 $\mu\text{Gy}$	Si
baño (puerta cerrada)	80	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
oficina	80	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
cuarto de descanso	80	10	0.14 $\mu\text{Gy}$	Si
pasillo( puerta de Rx) cerrada	80	10	19.1 $\mu\text{Gy}$	Si

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 7** presenta las mediciones de dosis de radiación (en  $\mu\text{Gy}$ ) obtenidas en diferentes ubicaciones alrededor de la sala de rayos X bajo los parámetros de 80 kVp y 10 mAs. La dosis más alta de radiación se registra a 2 metros de distancia del equipo de rayos X, con un valor de 175  $\mu\text{Gy}$ . Esto puede deberse a un mayor escape de radiación en esa distancia sin barreras suficientes. En la estación de trabajo, la dosis es de 94.8  $\mu\text{Gy}$ , lo que también muestra un nivel relativamente elevado de exposición. Es necesario considerar mejoras en la protección para el personal en esta área.

La dosis registrada a 1 metro es de 24.6  $\mu\text{Gy}$ , lo cual, aunque es inferior a las dosis a 2 metros o en la estación de trabajo, sigue siendo significativa para la cercanía al equipo. En áreas protegidas como la estación de trabajo detrás del vidrio plomado, el vestidor, el baño (puerta cerrada), la oficina, y el cuarto de descanso, la dosis medida es de 0.14  $\mu\text{Gy}$ , lo que demuestra la efectividad de las barreras físicas. El baño con la puerta abierta muestra una dosis de 19.5  $\mu\text{Gy}$ , y el pasillo (puerta de Rx cerrada) tiene una dosis de 19.1  $\mu\text{Gy}$ , indicando que la radiación puede alcanzar áreas inesperadas sin las barreras adecuadas.



**Gráfica 4: Dosis recibida con 80 kVp y 10 mAs**

Fuente: Elaboración propia

En la **Gráfica 4** se visualiza las dosis de radiación recibidas en diferentes ubicaciones alrededor de la sala de rayos X con los parámetros de 80 kVp y 10 mAs. La barra más alta representa la dosis a 2 metros de distancia, con 175 µGy. Esto sugiere que, a pesar de estar a una distancia razonable, la falta de barreras protectoras puede llevar a una exposición considerable.

Estación de Trabajo en Riesgo: La estación de trabajo muestra una dosis significativa de 94.8 µGy, lo que indica una posible insuficiencia en la protección o distancia del equipo de rayos X. Las dosis en áreas protegidas o más alejadas son casi insignificantes (0.14 µGy), demostrando la efectividad de las barreras.

Las dosis medidas en el baño con la puerta abierta y el pasillo (puerta de Rx cerrada) son relativamente bajas (19.5 µGy y 19.1 µGy respectivamente), pero muestran que la radiación puede alcanzar estas áreas si no se tienen barreras adecuadas.

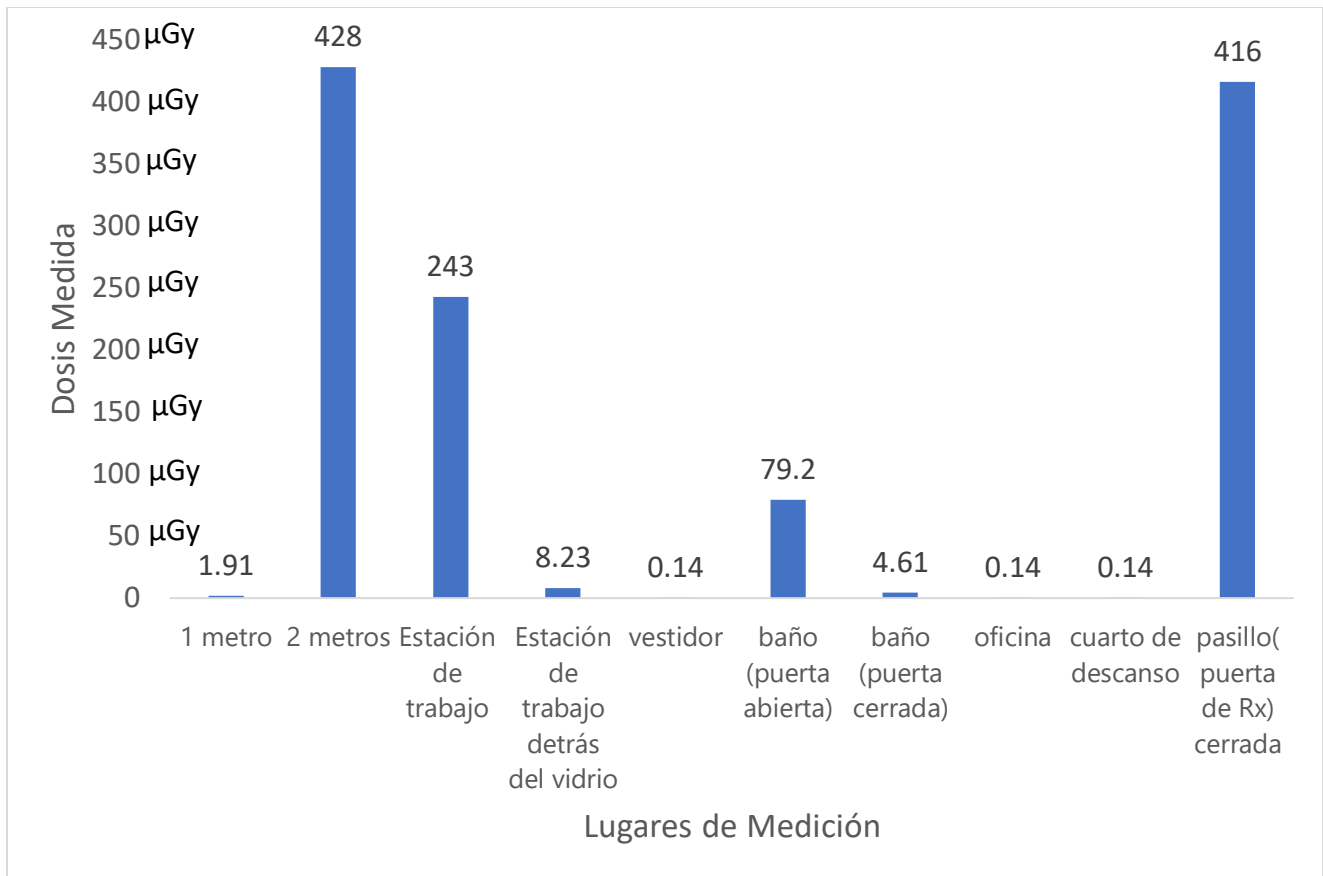
**Tabla 8: Mediciones de Dosis en Distintas Ubicaciones con 115 kVp y 10 mAs**

DISTANCIA, UBICACIÓN	kVp	mAs	Medición	Límite seguro
1 metro	115	10	1.91 $\mu$ Gy	Si
2 metros	115	10	428 $\mu$ Gy	No
estación de trabajo	115	10	243 $\mu$ Gy	No
estación de trabajo detrás del vidrio	115	10	8.23 $\mu$ Gy	Si
vestidor	115	10	0.14 $\mu$ Gy	Si
baño (puerta abierta)	115	10	79.2 $\mu$ Gy	Si
baño (puerta cerrada)	115	10	4.61 $\mu$ Gy	Si
oficina	115	10	0.14 $\mu$ Gy	Si
cuarto de descanso	115	10	0.14 $\mu$ Gy	Si
pasillo( puerta de Rx) cerrada	115	10	416 $\mu$ Gy	No

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 8** presenta las mediciones de dosis de radiación (en  $\mu$ Gy) obtenidas en diversas ubicaciones dentro y alrededor de la sala de rayos X con parámetros de 115 kVp y 10 mAs. La dosis más alta de radiación se registra a 2 metros de distancia del equipo de rayos X, con 428  $\mu$ Gy, seguido del pasillo con la puerta de Rx cerrada con 416  $\mu$ Gy. Esto indica un nivel considerable de radiación a distancias relativamente cercanas al equipo, sugiriendo la necesidad de mejoras en las barreras de protección. La estación de trabajo presenta una dosis significativa de 243  $\mu$ Gy, lo que representa un riesgo para el personal que opera los equipos si no se implementan medidas adicionales de protección.

En comparación, áreas protegidas como la estación de trabajo detrás del vidrio plomado (8.23  $\mu$ Gy) y el vestidor, la oficina, y el cuarto de descanso (0.14  $\mu$ Gy cada uno) muestran niveles significativamente reducidos de radiación gracias a la protección adecuada. La dosis en el baño con la puerta abierta es de 79.2  $\mu$ Gy, y con la puerta cerrada, la dosis baja a 4.61  $\mu$ Gy, lo que demuestra la efectividad de una barrera simple como una puerta cerrada para reducir la exposición. Las mediciones más bajas de radiación, como en el vestidor, la oficina, y el cuarto de descanso (0.14  $\mu$ Gy), indican que estas áreas están bien protegidas o alejadas de la fuente de radiación.



**Gráfica 5: Dosis recibida con 115kVp y 10 mAs en distintas ubicaciones del hospital**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 5** ilustra la distribución de la dosis de radiación recibida en diferentes ubicaciones alrededor de la sala de rayos X con los parámetros de 115 kVp y 10 mAs. Las barras más altas corresponden a la dosis medida a 2 metros (428 µGy) y en el pasillo con la puerta de Rx cerrada (416 µGy). Esto sugiere que, sin protección adecuada, la radiación puede alcanzar niveles elevados a distancias cortas.

La estación de trabajo muestra una dosis considerable (243 µGy), lo que subraya la necesidad de una revisión en las prácticas de protección del personal. De manera similar, el baño con la puerta abierta muestra una dosis de 79.2 µGy, que disminuye significativamente al cerrar la puerta (4.61 µGy). Las dosis más bajas se registran en áreas protegidas como la estación de trabajo detrás del vidrio plomado y en áreas no expuestas como el vestidor, la oficina, y el cuarto

de descanso (0.14  $\mu\text{Gy}$ ), lo que destaca la importancia de la protección adecuada y de minimizar la exposición en áreas frecuentadas por el personal y los pacientes.

A partir de las mediciones realizadas en la sala de rayos X con diferentes configuraciones de kilo voltaje (kVp) y mili amperaje-segundos (mAs), se puede realizar un análisis comparativo de las dosis de radiación recibida en diversas ubicaciones. Este análisis permite identificar patrones y evaluar la efectividad de las medidas de protección en el entorno de radiodiagnóstico del hospital.

Las estaciones de trabajo muestran consistentemente dosis más altas en comparación con áreas detrás de protección, como la estación de trabajo detrás del vidrio plomado: Por ejemplo, con 80 kVp y 10 mAs, la dosis en la estación de trabajo es 94.8  $\mu\text{Gy}$ , mientras que detrás del vidrio es apenas 0.14  $\mu\text{Gy}$ . Esto destaca la efectividad de las barreras de protección, como los paneles de vidrio plomado, que reducen significativamente la exposición del personal.

Las mediciones muestran que la dosis de radiación se reduce significativamente con barreras físicas simples como puertas cerradas en comparación con puertas abiertas: Por ejemplo, en el baño con la puerta abierta con 115 kVp y 10 mAs, la dosis es de 79.2  $\mu\text{Gy}$ , mientras que con la puerta cerrada se reduce a 4.61  $\mu\text{Gy}$ . Este hallazgo refuerza la importancia del uso adecuado de las barreras existentes y la posible implementación de más puertas y barreras móviles en áreas de alto tráfico.

Los pasillos cercanos a la sala de rayos X, aunque algunas veces cerrados, presentan dosis que pueden ser altas dependiendo de la configuración de los parámetros del equipo de rayos X. Con 115 kVp y 10 mAs, el pasillo con la puerta de Rx cerrada tiene una dosis de 416  $\mu\text{Gy}$ , lo que implica una posible fuga de radiación. Este resultado indica la necesidad de revisar el grosor de las paredes y puertas plomadas, así como la efectividad de los sellos en las puertas para asegurar una protección adecuada.

Las áreas como el vestidor, la oficina, y el cuarto de descanso muestran dosis consistentemente bajas o casi nulas como 0.14  $\mu\text{Gy}$ , independientemente de los parámetros de kVp y mAs. Estas ubicaciones están adecuadamente protegidas y no requieren medidas adicionales de control de radiación.

### 5.3 EXACTITUD Y REPETIBILIDAD DEL TUBO DE RAYOS X

Para la evaluación de la exactitud y repetibilidad de la tensión del tubo de rayos X, se seleccionaron ecuaciones específicas para analizar los valores de kilo voltaje pico (kVp) medidos en comparación con el valor nominal de 50 kVp, de acuerdo con las normativas internacionales de protección radiológica. Estas ecuaciones fueron elegidas por su eficacia y precisión en la evaluación de parámetros de calidad en equipos de radiodiagnóstico, como se establece en los Protocolos de Control de Calidad para Radiodiagnóstico en América Latina y el Caribe de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). (OIEA, 2021) Este protocolo es una referencia estándar ampliamente utilizada en la región para garantizar que los equipos de radiodiagnóstico cumplan con los niveles de seguridad y desempeño requeridos.

Para determinar la exactitud, se utiliza la ecuación de desviación máxima:

#### **Ecuación 1: Desviación máxima**

$$\text{Desviación Máxima}(\%) = 100 \frac{kVp_{ind} - kVp_{med}}{kVp_{ind}}$$

Donde:

$kVp_{ind}$  es el valor de tensión nominal

$kVp_{med}$  es el valor de tensión medido más discrepante

Esta ecuación permite calcular el porcentaje de desviación del valor medido en relación con el valor nominal, proporcionando una medida directa de la precisión del equipo de rayos X. Es una herramienta fundamental para garantizar que el equipo esté funcionando dentro de los límites de seguridad establecidos.

Para evaluar la repetibilidad, se emplea la ecuación del Coeficiente de Variación (CV):

#### **Ecuación 2: Coeficiente de Variación**

$$CV(\%) = 100 \frac{DE}{kVp}$$

Donde:

CV es el coeficiente de variación

DE es la desviación estándar

kVp es el valor promedio del kVp

El Coeficiente de Variación es una métrica estándar que permite cuantificar la variabilidad relativa de las mediciones repetidas, proporcionando información sobre la consistencia del equipo de rayos X. Un CV bajo indica que el equipo produce resultados consistentes y confiables, lo cual es crucial para aplicaciones de radiodiagnóstico.

Estas ecuaciones fueron seleccionadas porque proporcionan un método robusto y directo para evaluar tanto la exactitud como la repetibilidad de los equipos de rayos X, asegurando que estos operen dentro de los rangos aceptables definidos por la normativa internacional. Según los protocolos de la OIEA, los valores deben cumplir con los siguientes criterios:

1. Exactitud del valor de kVp: *Desviación*  $\leq \pm 10\%$
2. Repetibilidad del valor de kVp: Coeficiente de variación  $\leq 10\%$

Este rango del 10% es un estándar ampliamente aceptado por las siguientes razones:

- Mantener la desviación del kVp dentro del 10% garantiza que la dosis de radiación administrada al paciente sea la adecuada y que la calidad de imagen obtenida sea óptima para un diagnóstico preciso. Una desviación fuera de este rango podría resultar en una dosis innecesaria de radiación o en imágenes de calidad insuficiente.
- Un coeficiente de variación dentro del 10% asegura que las mediciones de kVp sean consistentes, lo cual es fundamental para obtener imágenes fiables y reproducibles. Esto minimiza la necesidad de repetir procedimientos y, por lo tanto, reduce la exposición del paciente a la radiación.
- Los equipos de rayos X pueden experimentar variaciones normales debido al envejecimiento, fluctuaciones de energía, y condiciones operativas. El rango del 10% es suficientemente amplio para acomodar estas variaciones sin comprometer la seguridad, pero lo suficientemente estricto como para garantizar que el equipo esté operando de manera precisa.
- Este rango está alineado con los protocolos internacionales de la OIEA, que se basan en estudios globales de riesgo-beneficio y en la experiencia acumulada de años de práctica

clínica, asegurando que los equipos de radiodiagnóstico cumplan con los estándares de seguridad y desempeño requeridos.

- Mantener estos límites garantiza que tanto pacientes como personal estén protegidos contra exposiciones innecesarias a la radiación, cumpliendo con los principios de protección radiológica de optimización y justificación.

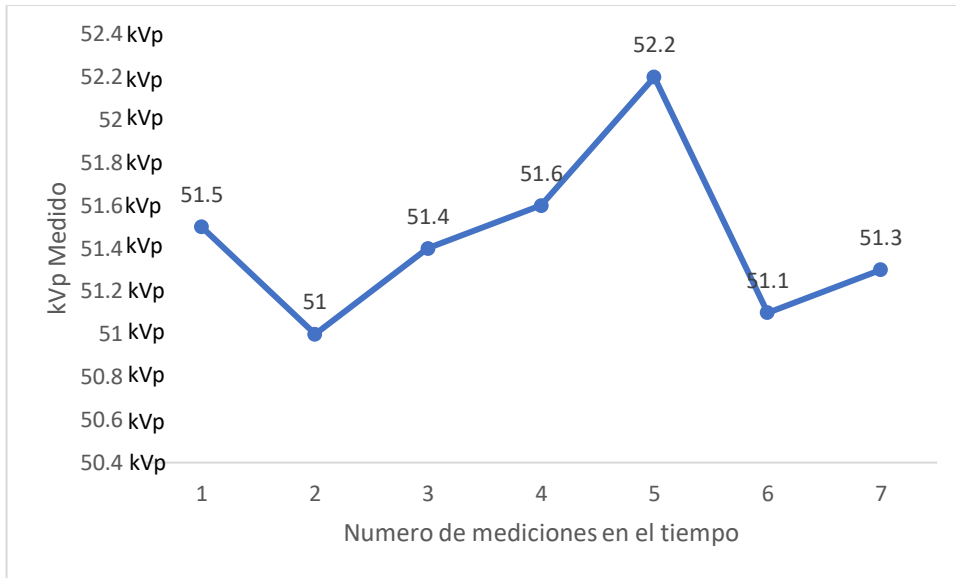
La elección de estas ecuaciones y el establecimiento del rango del 10% para la exactitud y repetibilidad del kVp aseguran que los equipos de rayos X operen de manera óptima, manteniendo los niveles de exposición a la radiación dentro de los límites seguros y mejorando la calidad del diagnóstico radiológico.

**Tabla 9: Porcentaje de exactitud utilizando 50 kVp**

kVp utilizadas	kVp medido	Exactitud (%)
50	51.5	-3
50	51	-2
50	51.4	-2.8
50	51.6	-3.2
50	52.2	-4.4
50	51.1	-2.2
50	51.3	-2.6

Fuente: Elaboración propia

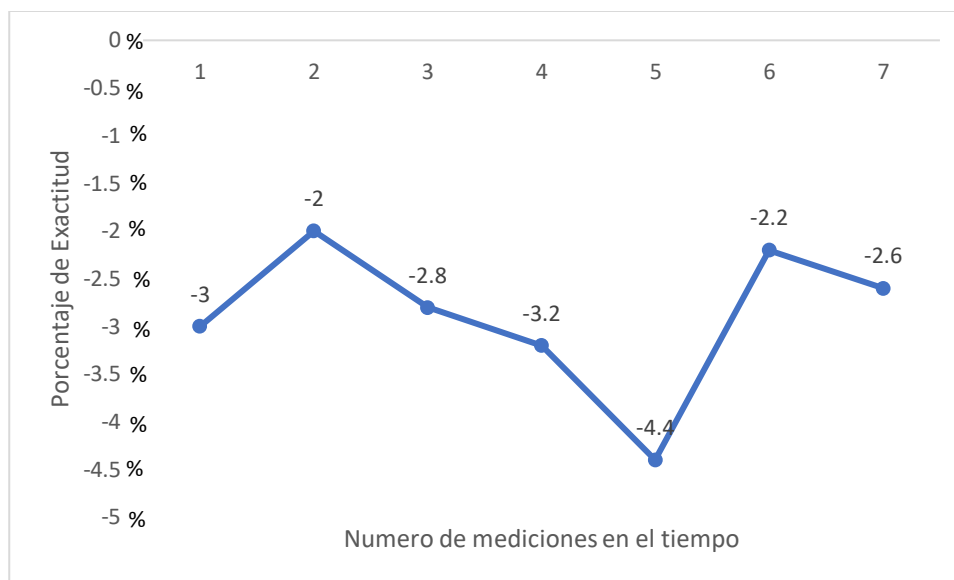
Los resultados indican que las desviaciones de la exactitud de los valores de kVp están dentro del límite aceptable de  $\pm 10\%$ , tal como se establece en las normativas. El coeficiente de variación calculado es de 0.83%, lo que está dentro del rango aceptable de  $\leq 10\%$  de acuerdo con las normativas de seguridad radiológica.



**Gráfica 6: Medición de kVp al utilizar 50 kVp a través del tiempo**

Fuente: Elaboración propia

La gráfica muestra la variación en las mediciones de kilo voltaje pico (kVp) cuando se utiliza un valor nominal de 50 kVp a través del tiempo. Se observan fluctuaciones en los valores medidos, que van desde 51.1 hasta 52.2 kVp, lo que indica una variabilidad en la salida del equipo de rayos X. Esta variación puede ser consecuencia de factores como el envejecimiento del equipo o inestabilidades en la fuente de energía. A pesar de las fluctuaciones, la mayoría de los valores se mantienen dentro del rango de precisión aceptable ( $\pm 10\%$ ), lo que sugiere que el equipo está operando de manera relativamente consistente, aunque sería ideal verificar y calibrar regularmente para garantizar la estabilidad a largo plazo.



**Gráfica 7: Exactitud al utilizar 50 kVp a través del tiempo**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 7** se utilizó para representar visualmente la exactitud de los valores medidos de kVp en relación con el valor nominal. Se observa una tendencia lineal descendente, lo que indica que, aunque existen desviaciones, estas son consistentes y están dentro de los límites aceptables.

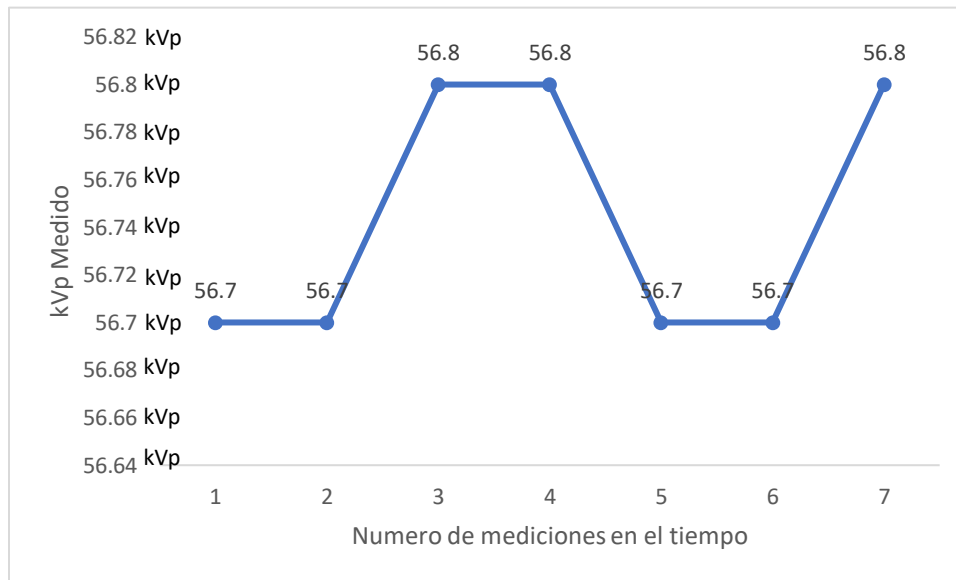
Los resultados obtenidos demuestran que tanto la exactitud como la repetibilidad del tubo de rayos X del Hospital de El Progreso se encuentran dentro de los parámetros establecidos por las normativas internacionales de protección radiológica. Sin embargo, es esencial mantener un monitoreo regular y realizar calibraciones periódicas para asegurar la consistencia y la seguridad del equipo a largo plazo.

**Tabla 10: Porcentaje de exactitud utilizando 55 kVp**

kVp utilizadas	kVp medido	Exactitud (%)
55	56.7	-3.09
55	56.7	-3.09
55	56.8	-3.27
55	56.8	-3.27
55	56.7	-3.09
55	56.7	-3.09
55	56.8	-3.27

Fuente: Elaboración propia

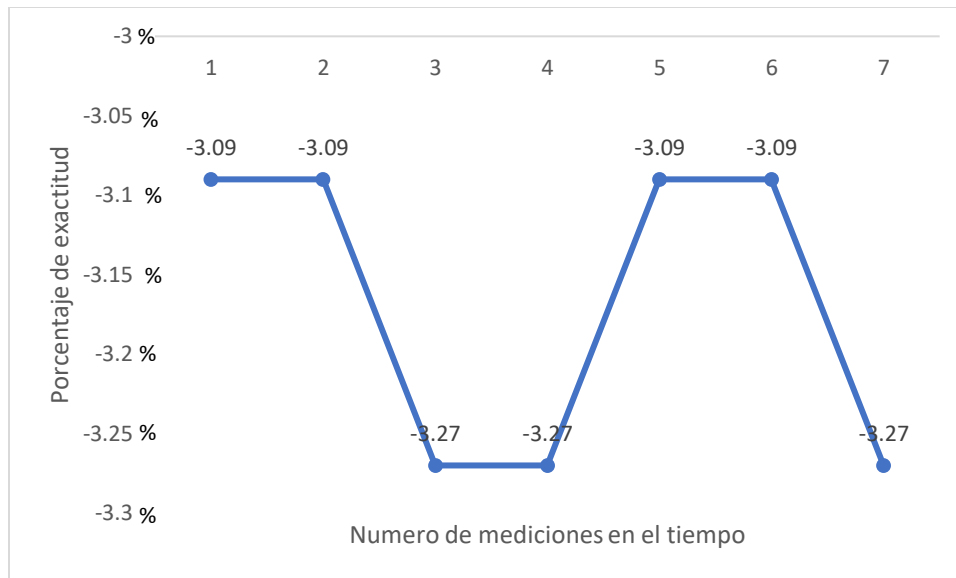
La **Tabla 10** presenta los valores de kVp medidos y su desviación en porcentaje respecto al valor nominal de 55 kVp. Los valores medidos son 56.7 y 56.8. La desviación máxima de los valores medidos de kVp respecto al kVp nominal se calcula usando la fórmula proporcionada. Se puede observar que los valores de kVp medido oscilan entre 56.7 y 56.8 y la desviación máxima oscila entre -3.09% y -3.27%



**Gráfica 8: kVp medido en 55 kVp nominal**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 8** muestra las mediciones de kilo voltaje pico (kVp) cuando se utiliza un valor nominal de 55 kVp a través del tiempo. Se observa que las mediciones varían entre 56.7 y 56.8 kVp, con oscilaciones repetitivas. Este comportamiento sugiere una variabilidad mínima en la salida del equipo de rayos X, lo que indica que el equipo mantiene una consistencia razonable en su operación. Aunque la variación es pequeña, todas las mediciones están muy cerca del valor nominal, dentro del rango aceptable de  $\pm 10\%$ , lo cual es una indicación positiva de la estabilidad del equipo. Sin embargo, el patrón de subidas y bajadas podría justificar una revisión o calibración del equipo para asegurar la continuidad de esta precisión.



**Gráfica 9: Porcentaje de exactitud en 55 kVp**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 9** muestra la exactitud de los valores medidos en función del kVp. Se observa una línea descendente que indica la variación en la exactitud cuándo se mide el kVp varias veces bajo las mismas condiciones. La gráfica ayuda a visualizar la estabilidad y consistencia del equipo, mostrando que todas las mediciones están dentro del rango de  $\pm 10\%$ , que es el límite aceptable para la exactitud.

El coeficiente de variación es una medida de la dispersión relativa de las mediciones. Se calcula usando la desviación estándar de los valores medidos de kVp dividido por el kVp promedio, multiplicado por 100. El CV% calculado es de 0.10%, que es significativamente menor que el límite aceptable de 10%. Esto demuestra que el equipo de rayos X tiene una repetibilidad excelente.

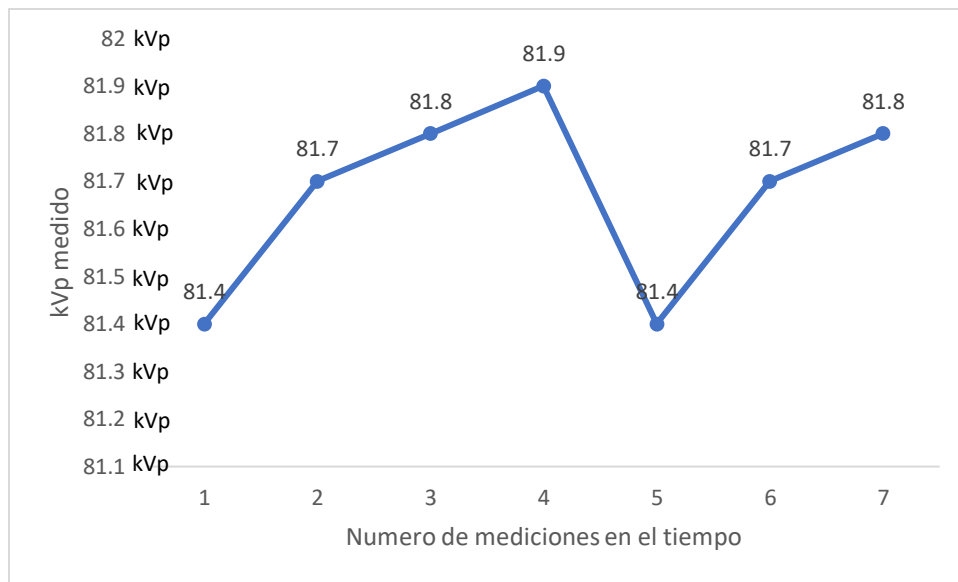
La exactitud de las mediciones de kVp se encuentra dentro del rango aceptable de  $\pm 10\%$ , lo que indica que el equipo está calibrado correctamente y opera dentro de los límites de seguridad. La repetibilidad también está por debajo del límite de 10%, lo que confirma que el equipo de rayos X proporciona mediciones consistentes y confiables, reduciendo el riesgo de variabilidad en las exposiciones de los pacientes y el personal.

**Tabla 11: Porcentaje de exactitud utilizando 80 kVp**

kVp utilizadas	kVp medido	Exactitud (%)
80	81.4	-1.75
80	81.7	-2.12
80	81.8	-2.25
80	81.9	-2.37
80	81.4	-1.75
80	81.7	-2.12
80	81.8	-2.25

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 11** muestra los valores medidos de kVp y su desviación porcentual con respecto al valor nominal de 80 kVp. Los valores medidos oscilan entre 81.4 a 81.9. Los resultados de las desviaciones se encuentran entre -1.75% y -2.37%

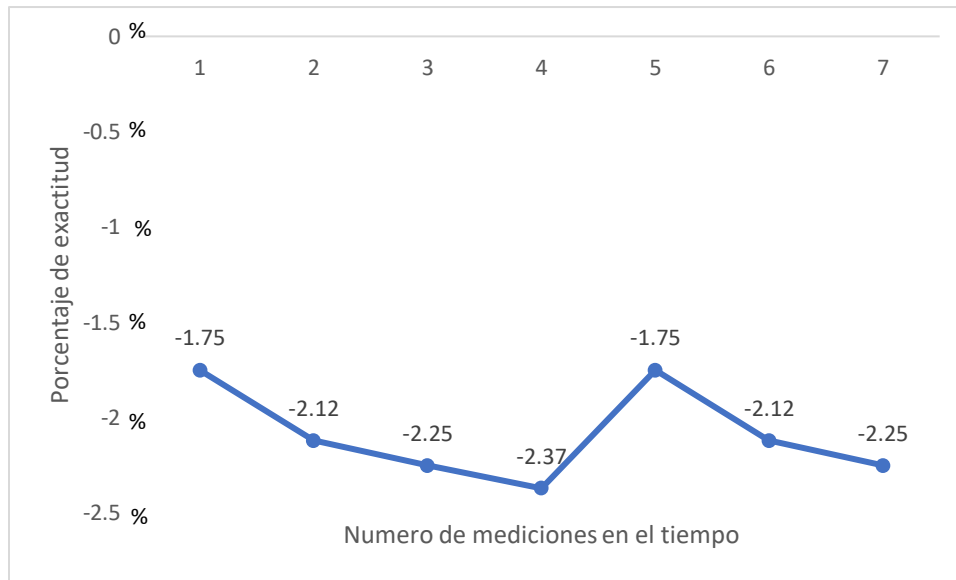


**Gráfica 10: kVp medido en 80 kVp nominal**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 10** muestra las mediciones de kVp con un valor nominal de 80 kVp a lo largo del tiempo. Se observa una variación entre 81.4 y 81.9 kVp, indicando fluctuaciones moderadas en la salida del equipo de rayos X. Aunque hay pequeñas oscilaciones, todas las mediciones permanecen dentro del rango aceptable de  $\pm 10\%$ , sugiriendo que el equipo opera de manera

estable, aunque algunas mediciones más alejadas del valor promedio podrían indicar la necesidad de un ajuste para mejorar la consistencia.



**Gráfica 11: Porcentaje de exactitud en 80 kVp**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 11** representa visualmente las desviaciones de cada medición de kVp con respecto al valor nominal de 80 kVp. Se observa una ligera tendencia descendente en la exactitud a medida que aumentan los valores medidos, lo que indica que las mediciones están dentro del rango permitido de  $\pm 10\%$ .

El valor de CV% calculado es 0.26%, que está muy por debajo del límite máximo permitido de 10%. Esto indica que las mediciones son muy consistentes y precisas.

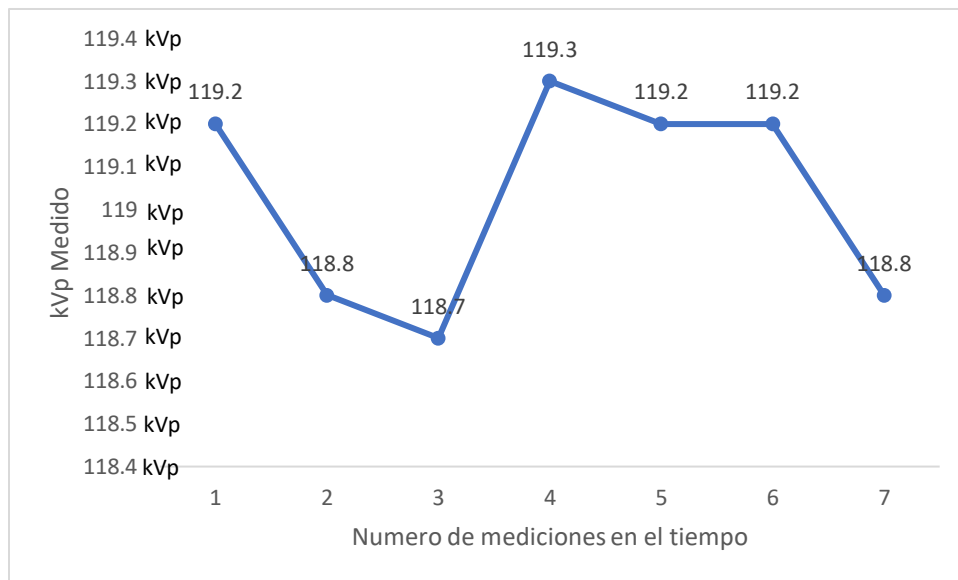
La exactitud de las mediciones de kVp está dentro del rango aceptable de  $\pm 10\%$ , lo que indica que el equipo de rayos X está calibrado correctamente. La repetibilidad también cumple con el estándar de tener un CV% menor al 10%, lo que confirma que el equipo proporciona mediciones fiables y consistentes, reduciendo la variabilidad en la exposición a la radiación.

**Tabla 12: Porcentaje de exactitud utilizando 115 kVp**

kVp utilizadas	kVp medido	Exactitud (%)
115	119.2	-3.65
115	118.8	-3.30
115	118.7	-3.22
115	119.3	-3.74
115	119.2	-3.65
115	119.2	-3.65
115	118.8	-3.30

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 12** proporciona los valores medidos de kVp y su desviación porcentual con respecto al valor nominal de 115 kVp. Los valores medidos oscilan entre 118.7 y 119.3, mientras que la desviación máxima oscila entre -3.22% y -3.74%.

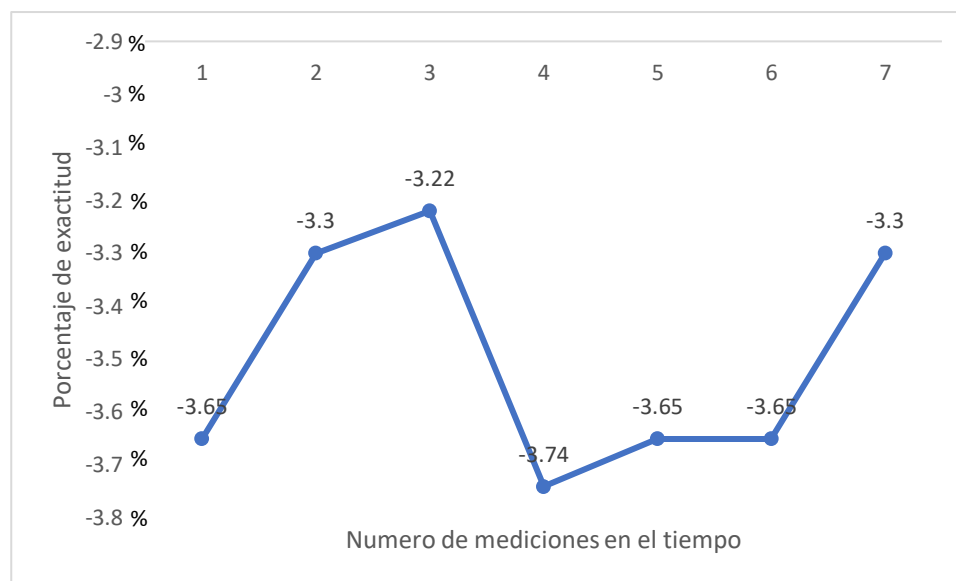


**Gráfica 12: kVp medido en 115 kVp**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 12** muestra las mediciones de kilo voltaje pico (kVp) con un valor nominal de 115 kVp a lo largo del tiempo. Las mediciones oscilan entre 118.7 y 119.3 kVp, con fluctuaciones que reflejan variabilidad en la salida del equipo de rayos X. Aunque hay variaciones, todas las mediciones permanecen dentro del rango de tolerancia de  $\pm 10\%$ , indicando un rendimiento aceptable del equipo. Sin embargo, la variación observada entre los puntos más altos y más bajos

sugiere la conveniencia de un monitoreo continuo y posibles ajustes para mantener una mayor estabilidad y precisión en el tiempo.



**Gráfica 13: Porcentaje de exactitud en 115 kVp**

Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 13** muestra la desviación porcentual de cada medición con respecto al valor nominal de 115 kVp. Se observa una tendencia descendente en las desviaciones, lo que sugiere que las mediciones están dentro del rango aceptable de  $\pm 10\%$ .

El valor del CV% calculado es 0.25%, que es significativamente menor al límite máximo permitido de 10%. Esto indica que las mediciones del equipo son consistentes.

#### **5.4 CLASIFICACIÓN Y EXPOSICIÓN DEL PERSONAL**

En base a las mediciones de dosis de radiación y las observaciones realizadas, se ha clasificado a los trabajadores expuestos de acuerdo con el riesgo de exposición que enfrentan en sus funciones diarias. Esta clasificación se basa en las normativas de protección radiológica, que dividen a los trabajadores en dos categorías: Categoría A, que incluye a aquellos con potencial de recibir dosis significativas de radiación debido a la naturaleza de su trabajo, y Categoría B, para quienes el riesgo es considerablemente menor.

En el Hospital de El Progreso, el personal de la sala de rayos X consta de cuatro trabajadores, con la siguiente clasificación presentada en la **Tabla 13**:

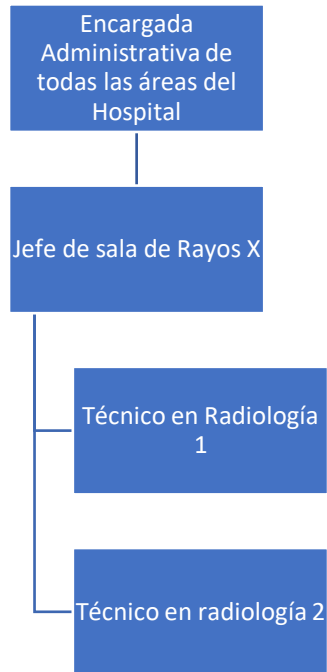
**Tabla 13: Clasificación de Personal Expuesto**

<b>Trabajador</b>	<b>Posición</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Motivo de la Clasificación</b>
Encargada de todas las áreas del hospital	Administrativa	Categoría B	No está expuesta directamente a la radiación durante los procedimientos; su riesgo de exposición es bajo.
Jefe de sala	Jefe de la sala de rayos X	Categoría A	Está expuesto constantemente a la radiación durante los procedimientos de diagnóstico en la sala de rayos X, requiriendo monitoreo y uso de equipos de protección personal (EPP).
Técnico de radiología 1	Técnico en radiología	Categoría A	Participa activamente en los procedimientos de radiología, lo que implica exposición constante a la radiación; requiere medidas de protección adicionales y monitoreo regular.
Técnico de radiología 2	Técnico en radiología	Categoría A	Similar al Técnico de radiología 1, participa en procedimientos radiológicos frecuentes, lo que lo expone a niveles más altos de radiación; necesita monitoreo y protección adecuada.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados mostraron que los trabajadores clasificados en la categoría A, como técnicos de radiología, presentan un mayor riesgo de exposición, lo que implica la implementación de medidas adicionales de protección. En cambio, los trabajadores de categoría B, que tienen una menor exposición, requieren menos controles.

Esta clasificación es crucial para implementar estrategias de protección radiológica específicas, como la rotación del personal de la Categoría A para reducir la exposición acumulativa, la evaluación regular de su salud, y la optimización de las barreras protectoras en las áreas de trabajo de mayor riesgo. Cabe recalcar que los trabajadores de Categoría A toman vacaciones profilácticas que son prioridad para el centro y que según la ley los técnicos radiólogos no pueden trabajar más de seis horas en un centro.



**Ilustración 8: Organigrama de la sala**

Fuente: Elaboración propia

## **5.5 EVALUACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA**

### **5.5.1 CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA**

Las encuestas realizadas a los cuatro miembros del personal de la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras, indican un cumplimiento parcial de las normativas de seguridad radiológica. Se identifican deficiencias en la obtención de autorizaciones necesarias y en la implementación de un programa de protección radiológica adecuado.

De acuerdo con las encuestas realizadas y la indagación con las autoridades, el hospital no cuenta con la autorización completa requerida para la práctica de radiodiagnóstico. Mientras que el n=100% del personal posee la autorización individual, solo un n=25% sabe sobre la existencia de un programa formal de protección radiológica. Cabe destacar que la única persona que mencionó que conocía esto fue el jefe de área. Esto refleja una falta de estructura organizativa para la gestión de la protección radiológica, lo que incrementa los riesgos tanto para los trabajadores como para los pacientes.

### 5.5.2 ESTADO DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

Los resultados de las encuestas indican que, aunque el hospital cuenta con algunos equipos de protección personal (EPP), su uso es inconsistente e incompleto, lo que resulta en exposiciones innecesarias a la radiación. Aunque las barreras de protección son efectivas, se recomienda que el personal utilice siempre el EPP cuando se encuentre dentro de la sala de rayos X durante las pruebas. Si bien el riesgo es bajo dentro de la estación de trabajo, fuera de ella el riesgo de exposición a la radiación es alto.

El 100% de los encuestados confirma la disponibilidad de delantales de plomo y protectores tiroideos, pero solo un 25% reporta el uso de gafas y guantes plomados. Es necesario adquirir más equipos de protección y reforzar las políticas de uso obligatorio del EPP, especialmente en áreas de alto riesgo. Solo el 25% del personal afirmó usar EPP en todo momento durante los procedimientos con el equipo de rayos X; la mayoría solo lo utiliza en la sala cuna. Además, se requiere implementar medidas de protección para los familiares que ingresan con los pacientes, ya que se ha observado que entran sin ninguna protección, lo cual es peligroso dadas las dosis de radiación medidas en el área.



**Ilustración 9: Chalecos de protección**

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.3 MANTENIMIENTO E INFRAESTRUCTURA

El mantenimiento preventivo de los equipos de rayos X y la infraestructura de la sala presentan importantes deficiencias que pueden comprometer la seguridad radiológica.

No hay un programa de mantenimiento preventivo regular para los equipos de rayos X, lo que puede afectar su funcionamiento y la seguridad del personal. Las paredes no están adecuadamente plomadas y faltan señalizaciones en áreas clave, lo que incrementa la exposición a la radiación en ciertas zonas del hospital.

### 5.5.4 DEFICIENCIAS IDENTIFICADAS EN LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Los resultados del análisis indican que, aunque existen algunas barreras de protección, estas no son suficientes en áreas de alto tráfico y en las estaciones de trabajo. La presencia de dosis elevadas en ubicaciones como pasillos y estaciones de trabajo sugiere la necesidad urgente de mejorar las barreras y procedimientos de protección para el personal. Es esencial implementar un mantenimiento regular y revisiones de calibración en los equipos de rayos X para garantizar que operen dentro de los parámetros seguros. También es importante verificar periódicamente las condiciones de las barreras físicas y los sellos en las puertas.

### 5.5.5 RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

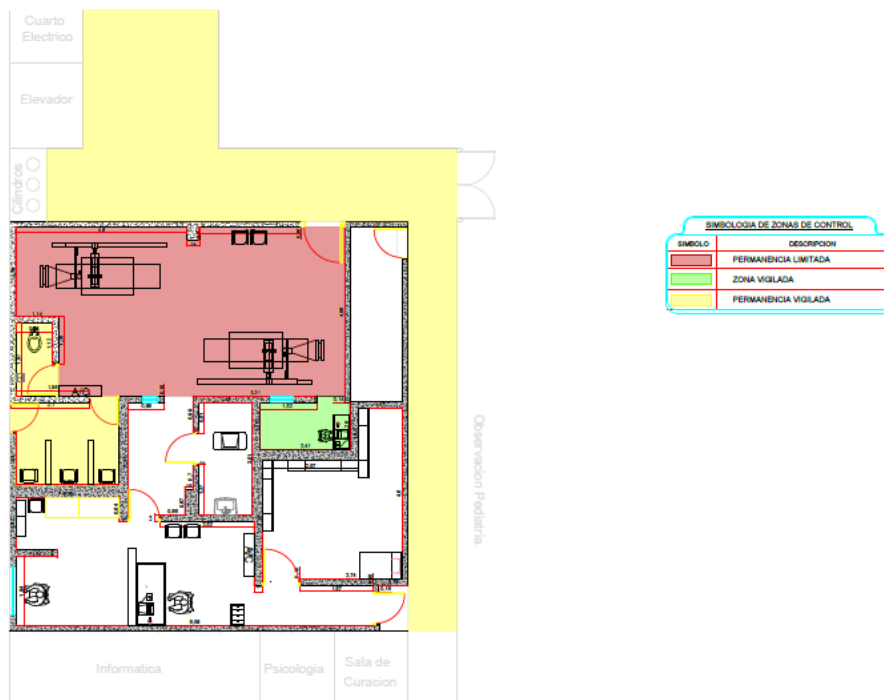
Para mejorar la protección radiológica y reducir la exposición acumulativa, se recomiendan las siguientes medidas:

- Implementación de un Programa de Mantenimiento Preventivo: Establecer un programa de mantenimiento regular para los equipos de rayos X, incluyendo calibraciones periódicas para garantizar la precisión y estabilidad del equipo.
- Reforzamiento de Barreras y Señalización: Mejorar las barreras protectoras, como el plomado de paredes y la instalación de señalizaciones claras en áreas de riesgo, especialmente en pasillos y estaciones de trabajo.
- Capacitación del Personal y Uso de Equipos de Protección Personal (EPP): Reforzar la educación continua y la concienciación del personal sobre el uso adecuado del EPP y las barreras existentes, como puertas y paneles de vidrio plomado.

- Rotación del Personal de Categoría A: Seguir implementando la rotación del personal expuesto para minimizar la exposición acumulativa a la radiación y garantizar un monitoreo regular de su salud. También se recomienda que mantengan un registro físico del historial de dosis acumulada de cada miembro del personal.
- Monitoreo Continuo de Dosis de Radiación: Instalar dispositivos de monitoreo en áreas de alta exposición para asegurar que los niveles de radiación se mantengan dentro de los límites seguros.

### 5.5.6 PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS PROTEGIDAS

El hospital actualmente carece de una distribución clara y señalización de las áreas protegidas, lo que aumenta el riesgo de exposición a la radiación. A partir de los resultados obtenidos, se recomienda una nueva distribución de las zonas de riesgo en la sala de rayos X, alineada con las normativas de protección radiológica. Esto incluye la correcta delimitación y señalización de las áreas según su nivel de exposición para garantizar la seguridad del personal y los pacientes.



**Ilustración 10: Plano de hospital con distribución de zonas de riesgo**

Fuente: Elaboración propia

La **Ilustración 10** muestra un plano detallado del hospital con la distribución de las zonas de riesgo en la sala de rayos X. En el plano se identifican las áreas de mayor riesgo de exposición a la radiación, como las estaciones de trabajo cercanas al equipo de rayos X, los pasillos adyacentes, y el baño. También se destacan las barreras físicas existentes, como puertas plomadas y paneles de vidrio, así como las zonas que requieren mejoras, como el plomado adicional de paredes y la instalación de señalizaciones claras.

#### 5.5.7 ESTADO DEL EQUIPO DE RAYOS X

A pesar de las deficiencias en la infraestructura, las mediciones realizadas muestran que los equipos de rayos X mantienen un rendimiento estable, con una desviación máxima de los valores medidos de kVp dentro del rango aceptable de  $\pm 10\%$  y coeficientes de variación (CV%) por debajo del 10%. Esto indica que el equipo está correctamente calibrado y opera dentro de los estándares internacionales de protección radiológica, garantizando la seguridad del paciente y la calidad de las imágenes. Sin embargo, para mantener estos resultados, es esencial implementar inspecciones regulares y un mantenimiento continuo, ya que, sin el cuidado adecuado del equipo, se corre el riesgo de que estos valores varíen y se ponga en peligro la seguridad de los pacientes y los empleados del área.

#### 5.5.8 ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LA SEGURIDAD RADIOLÓGICA

En esta sección se presentan los resultados de la evaluación del cumplimiento de las prácticas de seguridad radiológica en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras. La evaluación se basó en seis criterios clave:

- Infraestructura
- Equipo de protección personal (EPP)
- Procesos
- Capacitación
- Monitoreo de la radiación
- Mantenimiento del equipo de rayos x

La evaluación siguió las directrices internacionales de organizaciones como la OIEA y las regulaciones nacionales de la SEN. Los resultados del análisis de cumplimiento se resumen a continuación.

### **Infraestructura**

Cumplimiento: 60%.

La infraestructura de la sala de rayos X cumple parcialmente con los estándares recomendados. Aunque existen protecciones como el plomado de algunas paredes, se identificaron deficiencias, como la falta de señalización adecuada y el problema de humedad en la sala.

### **Equipo de protección personal (EPP)**

Cumplimiento: 50%

Existen EPP disponibles, como delantales de plomo y protectores tiroideos, pero su uso es inconsistente por parte del personal. Además, no se realiza una inspección regular ni se certifica el estado de estos equipos, lo que disminuye la puntuación de cumplimiento.

### **Procesos**

Cumplimiento: 40%

Los protocolos de seguridad, como el posicionamiento adecuado de los pacientes y los registros de exposición a la radiación, no se siguen de manera constante. Se requiere la implementación de un proceso formal y estructurado para asegurar su cumplimiento.

### **Capacitación**

Cumplimiento: 30%

La capacitación del personal sobre seguridad radiológica es insuficiente. La mayoría del personal no ha recibido formación actualizada, lo que destaca la necesidad de implementar programas de capacitación continua en protección radiológica.

### **Monitoreo de Radiación**

Cumplimiento: 80%

Los niveles de exposición a la radiación se monitorean de manera constante con dosímetros para medir la radiación del personal y las mediciones realizadas por los equipos Raysafe 452 y Raysafe X2 demuestran un alto grado de cumplimiento de las normativas. Sin embargo, se recomienda intensificar las revisiones periódicas y analizar los resultados de manera más frecuente para garantizar la seguridad del personal.

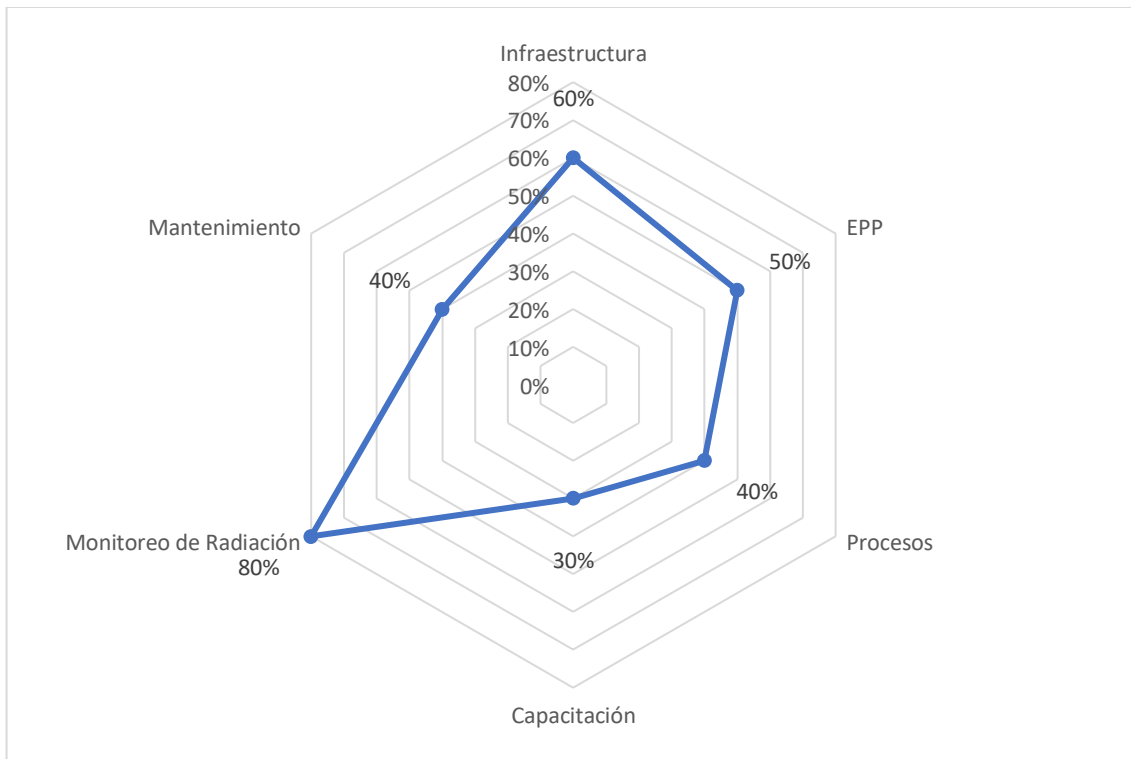
### **Mantenimiento del Equipo de Rayos X**

Cumplimiento: 40%

El mantenimiento del equipo de rayos X es insuficiente, ya que no se realizan calibraciones ni mantenimientos preventivos de manera regular. Esto podría afectar tanto la calidad de las imágenes radiológicas como la seguridad radiológica del personal y los pacientes. Se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo que incluya calibraciones periódicas y revisiones técnicas del equipo para asegurar que opere dentro de los parámetros de seguridad establecidos.

### **Puntuación General de Cumplimiento**

El cumplimiento general de las prácticas de seguridad radiológica en la sala de rayos X se evaluó en 50%, lo que indica áreas significativas de mejora. A continuación, se presenta un gráfico de radar que muestra el porcentaje de cumplimiento en cada uno de los seis criterios:



**Gráfica 14: Porcentaje de Cumplimiento por Categoría**

Fuente: Elaboración propia

El gráfico de radar proporciona una comparación visual del desempeño de la sala de rayos X en relación con los seis criterios evaluados. En él se observa que el Monitoreo de Radiación es el área con mayor nivel de cumplimiento, mientras que los Procesos, Mantenimiento y la Capacitación requieren mayores mejoras. Esta disparidad subraya la importancia de desarrollar un programa integral de seguridad radiológica que aborde las debilidades en la implementación de los protocolos y en la formación del personal.

Los resultados de este estudio demuestran que el Hospital de El Progreso necesita implementar mejoras significativas en la seguridad radiológica de su sala de rayos X. Es fundamental establecer un programa de protección radiológica integral, reforzar la capacitación del personal, asegurar el uso adecuado de EPP, realizar un mantenimiento regular de los equipos, y mejorar la infraestructura de la sala. Estas acciones son cruciales para cumplir con las normativas internacionales y nacionales de protección radiológica, garantizando un entorno seguro tanto para los trabajadores como para los pacientes.

A continuación, se presenta una lista de verificación que evalúa el cumplimiento de los diferentes criterios de seguridad radiológica en la sala de rayos X del Hospital de El Progreso. Esta evaluación se basa en las observaciones y mediciones realizadas durante el estudio, y tiene como objetivo identificar las áreas que cumplen con las normativas de protección radiológica y aquellas que requieren mejoras. La tabla a continuación detalla los aspectos que actualmente se están cumpliendo y los que no, destacando las necesidades de mantenimiento, capacitación, infraestructura, y prácticas de seguridad que deben abordarse para garantizar un entorno seguro para el personal y los pacientes.

**Tabla 14: Verificación de los criterios que cumple o no cumple el hospital**

<b>Aspecto</b>	<b>Criterio</b>	<b>Estado</b>	<b>Comentarios</b>
<b>Mantenimiento Preventivo</b>	Programa regular de mantenimiento preventivo para equipos de rayos X	<b>No Cumple</b>	No hay un programa establecido; afecta el funcionamiento del equipo y la seguridad.
<b>Señalización en Áreas Clave</b>	Señalización clara y adecuada en áreas de alto riesgo	<b>No Cumple</b>	Falta de señalización clara en áreas clave; aumenta el riesgo de exposición no intencional.
<b>Barreras Protectoras</b>	Efectividad de las barreras protectoras (vidrios plomados, puertas)	<b>Cumple Parcialmente</b>	Las barreras existen, pero son antiguas y podrían necesitar refuerzo o reemplazo.
<b>Monitoreo de Dosis de Radiación</b>	Medición regular de dosis de radiación en diferentes condiciones	<b>Cumple</b>	Las dosis de radiación se miden con precisión; hay un monitoreo constante en marcha.
<b>Capacitación del Personal</b>	Programas de educación continua y concienciación sobre seguridad radiológica	<b>Cumple Parcialmente</b>	El personal necesita más programas de capacitación regulares y de concienciación sobre el uso correcto del EPP y los protocolos de seguridad.
<b>Equipos de Protección Personal (EPP)</b>	Disponibilidad y uso consistente de EPP (delantales de plomo, protectores tiroideos)	<b>Cumple Parcialmente</b>	El EPP está disponible, pero no siempre es utilizado de manera consistente por el personal.
<b>Condición del Equipo</b>	Mantenimiento y calibración adecuados de los equipos de rayos X	<b>Cumple Parcialmente</b>	Los equipos muestran signos de óxido y envejecimiento; requieren mantenimiento y calibración más frecuente.
<b>Limpieza de la Instalación</b>	Mantenimiento de la limpieza e higiene de la sala de rayos X	<b>Cumple</b>	Se mantiene una limpieza regular, pero se podría mejorar la higiene del personal.

<b>Aspecto</b>	<b>Criterio</b>	<b>Estado</b>	<b>Comentarios</b>
<b>Actualización de Infraestructura</b>	Planes para la actualización de infraestructura y equipos	<b>No Cumple</b>	No hay planes para actualizar la infraestructura o los equipos hasta que sean completamente inutilizables.

Fuente: Elaboración propia

## VI. CONCLUSIONES

1. La evaluación de la sala de rayos X del Hospital de El Progreso, Yoro, Honduras, ha revelado importantes deficiencias en el cumplimiento de normativas de seguridad radiológica tanto nacionales como internacionales. Esto indica que la infraestructura, los protocolos de seguridad, y el manejo de la radiación en la sala de rayos X no están completamente alineados con los estándares exigidos para garantizar la seguridad de los pacientes, el personal de salud, y el público en general.
2. El cumplimiento de las normativas de seguridad radiológica es crucial para prevenir exposiciones innecesarias a la radiación y garantizar un entorno seguro en las instalaciones médicas. Las deficiencias identificadas en la evaluación sugieren la necesidad de una revisión profunda de las políticas y prácticas de radiología dentro del hospital.
3. Se ha identificado una necesidad urgente de adherirse a los estándares internacionales de seguridad radiológica, como los establecidos por la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), así como a las regulaciones nacionales de Honduras establecidas por la SEN. Actualmente, la sala de rayos X del hospital no cumple con estos estándares de manera adecuada. La falta de adherencia a estos estándares puede aumentar el riesgo de exposiciones a la radiación que no cumplen con los niveles de seguridad recomendados y comprometer tanto la calidad de la atención médica como la seguridad de los trabajadores y pacientes. Entre las principales deficiencias observadas están:
  - a. El hospital carece de un programa estructurado que aborde la seguridad radiológica de manera integral y que incluya procedimientos claros para el manejo de emergencias, monitoreo de dosis, y formación continua del personal.
  - b. Aunque existe equipo de protección personal, su uso es inconsistente, lo cual pone en riesgo tanto a los técnicos de radiología como a otros miembros del personal que trabajan en áreas cercanas.
  - c. Los equipos de rayos X no se calibran y mantienen regularmente, lo que podría provocar una desviación en los niveles de radiación emitidos, afectando la calidad de las imágenes y la seguridad radiológica.

- d. La falta de señalización adecuada que indique áreas de riesgo de exposición y la insuficiente protección plomada de las paredes incrementan la probabilidad de exposición a la radiación para el personal y los pacientes.
4. Para corregir las deficiencias identificadas, se propone implementar un Programa Integral de Protección Radiológica que incluya el cumplimiento riguroso de las normativas nacionales e internacionales. Este programa debe incluir:
- a. Desarrollo de políticas y procedimientos claros de seguridad radiológica basado en los estándares de la OIEA, la ICRP y la SEN, asegurando que todos los miembros del personal comprendan los protocolos y la importancia del cumplimiento.
  - b. Incluir programas de capacitación regular sobre los principios de protección radiológica, el uso adecuado del EPP, y las prácticas seguras de manejo de radiación.
  - c. Asegurar que los equipos estén calibrados y funcionando dentro de los límites de seguridad especificados para evitar errores en las dosis administradas.
  - d. Asegurar que las áreas de exposición estén claramente indicadas y que las barreras plomadas cumplan con los requisitos para minimizar la exposición involuntaria.

## **VII. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES**

- Realizar una recopilación de datos más extensa que incluya mediciones de dosis de radiación en diferentes momentos del día y en condiciones variables de operación (como diferentes valores de kVp y mAs). Esto permitirá una evaluación más completa de la exposición radiológica y su consistencia bajo diversas condiciones operativas.
- Comparar la sala de rayos X del Hospital de El Progreso con otras instalaciones similares, tanto a nivel nacional como internacional. Esto puede proporcionar un contexto comparativo más robusto que ayude a identificar mejores prácticas y áreas de mejora. Sobre todo, a futuro cuando se cuente con mayor estandarización y regulación a nivel nacional en protección radiológica.
- Realizar un análisis más profundo del impacto potencial de las deficiencias identificadas (por ejemplo, falta de mantenimiento preventivo, uso inconsistente del equipo de protección personal, etc.) sobre la salud y seguridad del personal y los pacientes. Estudios de caso específicos y simulaciones de riesgo podrían proporcionar datos valiosos para reforzar los argumentos a favor de las mejoras.
- Desarrollar un estudio que examine cómo se implementan y mantienen las normativas de seguridad radiológica en otras instituciones en Honduras y comparar estos resultados con las prácticas en el Hospital de El Progreso. Esta evaluación podría incluir entrevistas con personal de otros hospitales para entender sus desafíos y soluciones en cuanto a la protección radiológica.
- Proponer un estudio longitudinal que evalúe los efectos de la exposición a la radiación en el personal de radiología del hospital. Esto podría implicar el seguimiento de las dosis de radiación acumulativas y su relación con la salud ocupacional a lo largo del tiempo.
- Investigar la efectividad de los programas de formación en protección radiológica actualmente disponibles para el personal del hospital. Evaluar si el entrenamiento recibido es suficiente y cómo afecta el comportamiento y el cumplimiento de las normas de seguridad. Se pueden proponer programas de formación mejorados y evaluar su impacto en la práctica clínica.

- Analizar el costo versus el beneficio de implementar mejoras en la seguridad radiológica, como el reemplazo de equipos, mejoras en la infraestructura (plomado adecuado de paredes y puertas), y programas de formación más rigurosos. Esto ayudaría a proporcionar un caso económico sólido para cualquier inversión en mejoras.
- Realizar un estudio cualitativo más profundo sobre la percepción del resto del personal del hospital en relación con la seguridad radiológica y la importancia de las normativas. Comprender la actitud y la disposición del personal hacia la seguridad puede ayudar a identificar barreras culturales o educativas que afecten la implementación de prácticas seguras.
- Proponer e implementar estrategias de mejora basadas en los hallazgos del estudio actual y evaluar su efectividad a través de un seguimiento riguroso. Estas estrategias podrían incluir revisiones periódicas de cumplimiento, auditorías internas, y la creación de un comité de protección radiológica.
- Realizar una auditoría detallada de la señalización y la comunicación en áreas de riesgo dentro del hospital (todas aquellas áreas donde tiene incidencia el uso de radiación ionizante, sobre todo cuando se utiliza el equipo de rayos x portátil). Investigar la claridad y eficacia de las señales y probar diferentes enfoques de comunicación visual y verbal para mejorar el conocimiento del riesgo y el comportamiento seguro entre el personal y los pacientes.

## VIII. REFERENCIAS

- Abbasgholizadeh Rahimi, S., Jamshidi, A., Ait-Kadi, D., Ruiz, A., & Rebaiaia, M.-L. (2016). *Prioritization of Failures in Radiation Therapy Delivery*. 49. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.907>
- Abuzaid, M. M., Elshami, W., Shawki, M., & Salama, D. (2019). Assessment of compliance to radiation safety and protection at the radiology department. *International Journal of Radiation Research*, 17(3), 447-454.
- Adhikari, K. P., Boersma, H. F., Coates, R., Coulour, W., Gallego, E., Omrane, L. B., Suarez, R. C., & Tsegmed, U. (2021). Radiation protection infrastructure—Challenges in developing countries. *Journal of Radiological Protection*, 41(3), S171. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac0c00>
- AEC, A. E. C. (2017). *GUIDANCE ON THE DESIGNS AND LAYOUT OF MEDICAL RADIOLOGY FACILITIES*.
- Agency, I. A. E. (2021). Protocolos de Control de Calidad para Radiodiagnóstico en América Latina y el Caribe. En *Protocolos de Control de Calidad para Radiodiagnóstico en América Latina y el Caribe* (pp. 1-204) [Text]. International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/es/publications/14712/protocolos-de-control-de-calidad-para-radiodiagnostico-en-america-latina-y-el-caribe>
- Ahmad, M. I., Ab Rahim, M. H., Nordin, R., Mohamed, F., Abu-Samah, A., & Abdullah, N. F. (2021). Ionizing Radiation Monitoring Technology at the Verge of Internet of Things. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(22), 7629. <https://doi.org/10.3390/s21227629>

- BIR. (2007). Guide to Radiation Personal Protective Equipment EPP. *Annals of the ICRP*, 37(2-4), 9-34. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2007.10.003>
- Brady, A. P. (2016). Error and discrepancy in radiology: Inevitable or avoidable? *Insights into Imaging*, 8(1), 171-182. <https://doi.org/10.1007/s13244-016-0534-1>
- Bruno, M. A., Walker, E. A., & Abujudeh, H. H. (2015). Understanding and Confronting Our Mistakes: The Epidemiology of Error in Radiology and Strategies for Error Reduction. *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc*, 35(6), 1668-1676. <https://doi.org/10.1148/rg.2015150023>
- Bwanga, O., & Chanda, E. (2020). *Challenges in Radiation Protection in Healthcare: A Case of Zambia*. 2, 7-14. <https://doi.org/10.36349/EASJRIT.2020.v02i01.002>
- Dirección General de Seguridad Radiológica. (2020, enero). *GUÍA DE SEGURIDAD PARA LA PRÁCTICA DE RADIODIAGNÓSTICO*.
- Dirección General de Seguridad Radiológica. (2023, agosto). *GUÍA ORIENTATIVA PARA LA REALIZACIÓN DE ANÁLISIS DE SEGURIDAD, PLANIFICACIÓN Y RESPUESTA A EMERGENCIAS RADIOLÓGICAS EN INSTALACIONES RADIATIVAS*.
- Georges, J.-L., Belle, L., Etard, C., Azowa, J.-B., Albert, F., Pansieri, M., Monsegu, J., Barbou, F., Trouillet, C., Leddet, P., Livarek, B., Marcaggi, X., Hanssen, M., Cattan, S., & The Ray'act- Investigators, null. (2017). Radiation Doses to Patients in Interventional Coronary Procedures-Estimation of Updated National Reference Levels by Dose Audit. *Radiation Protection Dosimetry*, 175(1), 17-25. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw261>

- Hamzian, N., Asadian, S., & Zarghani, H. (2022). A Study of Radiation Protection Standards Compliance in Hospital Radiographic Departments in Iran. *Journal of Biomedical Physics & Engineering*, 12(5), 513-520. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.2108-1375>
- Hirvonen, L., Schroderus-Salo, T., Henner, A., Ahonen, S., Kääriäinen, M., Miettunen, J., & Mikkonen, K. (2019). Nurses' knowledge of radiation protection: A cross-sectional study. *Radiography (London, England: 1995)*, 25(4), e108-e112. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2019.04.011>
- IAEA. (2017, agosto 1). *Diagnostic Reference Levels (DRLs)* [Text]. IAEA. <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/radiology/diagnostic-reference-levels>
- IAEA. (2020, diciembre 1). *Jamaica Launches Independent Nuclear Safety, Security and Safeguards Regulatory Body* [Text]. IAEA. <https://www.iaea.org/newscenter/news/jamaica-launches-independent-nuclear-safety-security-and-safeguards-regulatory-body>
- ICRP. (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Annals of the ICRP*, 37(2-4), 1-332. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2007.10.003>
- ICRP. (2021). *Protección Radiológica en Medicina*. <https://www.icrp.org/docs/P%20105%20Spanish.pdf>
- ICRP, I. R. P. A. (2015, junio). *Capacitación y entrenamiento en Protección Radiológica para procedimientos diagnósticos e intervencionistas*. S.A.R. [https://www.icrp.org/docs/P113\\_Spanish.pdf](https://www.icrp.org/docs/P113_Spanish.pdf)
- ICRP, I. R. P. A. (2022). *Seguridad radiológica*. [https://www.icrp.org/docs/SG02\\_Spanish.pdf](https://www.icrp.org/docs/SG02_Spanish.pdf)

International Atomic Energy Agency. (2004). Personal Protective Equipment. En *Personal Protective Equipment* (p. 1) [Text]. International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/publications/6775/personal-protective-equipment>

International Atomic Energy Agency. (2018). Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. En *Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation* (pp. 1-318) [Text]. International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/publications/11102/radiation-protection-and-safety-in-medical-uses-of-ionizing-radiation>

Jasieniak, J., Kuchcińska, A., Podgórska, J., & Cieszanowski, A. (2023). Summary of radiation dose management and optimization: Comparison of radiation protection measures between Poland and other countries. *Polish Journal of Radiology*, 88, e12-e21. <https://doi.org/10.5114/pjr.2023.124376>

Keshtkar, M., & Masoumi, H. (2021). Evaluation of Knowledge and Practice of Radiographers and Operating Room Personnel about Radiation Protection: Importance of Training Courses. *Frontiers in Biomedical Technologies*, 8(4), 311-316. <https://doi.org/10.18502/fbt.v8i4.7759>

Khamtuikrua, C., & Suksompong, S. (2020). Awareness about radiation hazards and knowledge about radiation protection among healthcare personnel: A quaternary care academic center-based study. *SAGE Open Medicine*, 8, 2050312120901733. <https://doi.org/10.1177/2050312120901733>

López, P. O., Dauer, L. T., Loose, R., Martin, C. J., Miller, D. L., Vañó, E., Doruff, M., Padovani, R., Massera, G., Yoder, C., & Authors on Behalf of ICRP. (2018). ICRP Publication 139:

- Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. *Annals of the ICRP*, 47(2), 1-118. <https://doi.org/10.1177/0146645317750356>
- Mildenberger, P., Brady, A. P., Onur, M., Paulo, G., Pinto Dos Santos, D., Howlett, D., Frija, G., & European Society of Radiology (ESR). (2020). Performance indicators for radiation protection management: Suggestions from the European Society of Radiology. *Insights into Imaging*, 11(1), 134. <https://doi.org/10.1186/s13244-020-00923-1>
- NCRP. (2021, agosto 11). *SC 6-13: Methods and Models for Estimating Organ Doses from Intakes of Radium - NCRP | Bethesda, MD*. <https://ncrponline.org/program-areas/sc-6-13-methods-and-models-for-estimating-organ-doses-from-intakes-of-radium/>
- Ngoye, W., Motto, J., & Muhogora, W. (2019). Challenges facing the implementation of quality control by radiographers in Tanzania. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 7. <https://doi.org/10.15392/bjrs.v7i1.752>
- Oakley, P. A., & Harrison, D. E. (2020). Death of the ALARA Radiation Protection Principle as Used in the Medical Sector. *Dose-Response: A Publication of International Hormesis Society*, 18(2), 1559325820921641. <https://doi.org/10.1177/1559325820921641>
- OIEA. (2016). *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad*. Normas de seguridad del OIEA para la protección de las personas y el medio ambiente. [https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/p1578\\_s\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/p1578_s_web.pdf)
- OMS. (2022, mayo 6). *Salud radiológica—OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. <https://www.paho.org/es/temas/salud-radiologica>

- OMS. (2023). *Efectos en la salud de las radiaciones ionizantes*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects>
- Parakh, A., Kortensniemi, M., & Schindera, S. T. (2016). CT Radiation Dose Management: A Comprehensive Optimization Process for Improving Patient Safety. *Radiology*, *280*(3), 663-673. <https://doi.org/10.1148/radiol.2016151173>
- Rosen, E. M., Day, R., & Singh, V. K. (2015). New Approaches to Radiation Protection. *Frontiers in Oncology*, *4*, 381. <https://doi.org/10.3389/fonc.2014.00381>
- Secretaria de Energía, S. (2021). Guía Orientativa de Seguridad Radiológica para Señalización de Instalaciones Radiactivas. *Acuerdo Ministerial SEN 026-2021*.
- Secretaria de Salud de Honduras. (2010, noviembre 12). Historia de los Hospitales de Honduras. *Secretaria de Salud, Honduras*. <https://secretariadesaludhn.wordpress.com/historia-de-los-hospitales-de-honduras/>
- Sociedad Española de Radiología Médica. (2022). Historia de la radiología. *SERAM*. <https://seram.es/historia-de-la-radiologia/>
- Stoeva, M. (2021, febrero 15). *IAEA Launches Guide to Promote Recognition of Medical Physicists as Health Professionals—International Organization for Medical Physics*. <https://old.iomp.org/iaea-launches-guide-to-promote-recognition-of-medical-physicists-as-health-professionals/>
- Thrall, J. H., Li, X., Li, Q., Cruz, C., Do, S., Dreyer, K., & Brink, J. (2018). Artificial Intelligence and Machine Learning in Radiology: Opportunities, Challenges, Pitfalls, and Criteria for Success.

*Journal of the American College of Radiology: JACR*, 15(3 Pt B), 504-508.  
<https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.12.026>

Tsapaki, V. (2020). Radiation dose optimization in diagnostic and interventional radiology: Current issues and future perspectives. *Physica Medica: PM: An International Journal Devoted to the Applications of Physics to Medicine and Biology: Official Journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)*, 79, 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.09.015>

US EPA, O. (2017, noviembre 16). *Efectos de la radiación sobre la salud* [Collections and Lists]. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-de-la-radiacion-sobre-la-salud>

Vassileva, J., Applegate, K., Paulo, G., Vano, E., & Holmberg, O. (2021). Strengthening radiation protection education and training of health professionals: Conclusions from an IAEA meeting. *Journal of Radiological Protection*, 42. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac40e9>

Vaz, P. (2014). Radiation protection and dosimetry issues in the medical applications of ionizing radiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 104, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.02.007>

Wolfovich, R. A. O. (2021). *Acuerdo SEN-026-2021*. 35.

World Health Organization. (2014). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. En *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards* (pp. 1-436) [Text]. International Atomic Energy Agency. <https://doi.org/10.61092/iaea.u2pu-60vm>

Yusuf, S. D., Lumbi, W. L., Umar, I., Loko, Z. A., & Mundi, A. A. (2020). Structural Shielding Evaluation: A Case Study of the Radiography Room of a Rural Hospital in Jos, Nigeria. *Journal of*

*Medical Imaging and Radiation Sciences*, 51(2), 331-341.

<https://doi.org/10.1016/j.jmir.2020.02.002>

## IX.ANEXOS

### Anexo 1: Pasillos del Hospital del Progreso



## Anexo 2: Estado del Equipo y la Sala de Rayos X



### Anexo 3: Mediciones en la sala con RaySafe 452



### Anexo 4: Mediciones en la sala con RaySafe x2



**Anexo 5: Sala de Descanso del Personal**



**Anexo 6: Cuarto Oscuro**



## Anexo 7: Preguntas de entrevista

<b>Infraestructura</b>
El hospital cuenta con la autorización correspondiente para la práctica de radiodiagnóstico, cumpliendo con el Reglamento de Autorización para Instalaciones Radiactivas y Equipos Generadores de Radiaciones Ionizantes
Todo el personal que realiza la práctica de radiodiagnóstico posee la autorización individual necesaria, de acuerdo a su puesto de trabajo.
Los equipos emisores de radiación utilizados en el hospital cuentan con el permiso de importación emitido por la Dirección General de Seguridad Radiológica.
Los trabajadores ocupacionales no sobrepasan la dosis máxima permitida de 20 mSv por año (0.1 mSv/ semana)
El público en general no sobrepasará la dosis de 1 mSv por año (0.02 mSv/semana).
Existe en el hospital un Programa de Protección Radiológica que garantice un adecuado nivel de protección para pacientes, trabajadores y público y este se implementa de forma correcta.
Se realiza una verificación periódica de los requisitos relativos a la radiación de fuga y fuera del haz primario.
Existe disponibilidad de equipos de protección individual y esta se encuentra en buen estado
El equipo de protección es utilizado correctamente y el personal ha recibido entrenamiento específico para su uso.
Se implementan medidas de rotación de personal para limitar la exposición acumulativa a la radiación.
El grosor de las paredes plomadas es suficiente para asegurar que la dosis de radiación fuera de la sala de rayos X no exceda 1 mSv por año para el público en general. (0.02mSv/semana)
Las paredes y puertas en la sala de radiología tienen un equivalente de plomo de al menos 2 mm Pb.
Las dimensiones mínimas de la sala de Rayos X no son menores a 4 metros por 5 metros, con un techo de al menos 2.5 metros de altura.
La sala cuenta con señalización adecuada indicando la presencia de radiación ionizante.
Los equipos de rayos X son calibrados regularmente y mantenidos en buen estado de funcionamiento para asegurar que operan dentro de los parámetros seguros.
Se informan las dosis de radiación a los pacientes y que estas se registran en su historial médico
Se llevan registros detallados de las exposiciones a la radiación del personal y se realizan análisis periódicos de estos datos.

Existen programas de educación continua en protección radiológica para todo el personal involucrado en procedimientos de radiología.
El personal recibe capacitación actualizada regularmente sobre nuevas tecnologías y técnicas de protección radiológica.
La tasa de dosis en puntos fuera del haz primario, pero cerca de la fuente de radiación, debe ser monitoreada para asegurar que se mantenga dentro de los límites de seguridad. La tasa ideal recomendada es < 0.1 mSv por hora
En áreas adyacentes a las salas de rayos X, como áreas de espera y oficinas, la tasa de dosis debe ser lo suficientemente baja para proteger al público y al personal administrativo. La tasa ideal recomendada es < 0.02 mSv por semana (0.02 milisievert/semana).
Delantales de plomo con un equivalente de plomo de al menos 0.25 mm (recomendado 0.5 mm) para procedimientos estándar.
Protectores tiroideos con un equivalente de plomo de al menos 0.5 mm.
Gafas plomadas con un equivalente de plomo de al menos 0.5 mm.
Guantes plomados con un equivalente de plomo de al menos 0.25 mm.
<b>EPP para los Pacientes</b>
Delantales de plomo para proteger órganos sensibles que no están en el área de interés.
<b>Verificación de Autorizaciones</b>
¿El hospital cuenta con la autorización correspondiente para la práctica de radiodiagnóstico?
¿Todo el personal que realiza la práctica de radiodiagnóstico posee la autorización individual necesaria?
¿Los equipos emisores de radiación cuentan con el permiso de importación emitido por la Dirección General de Seguridad Radiológica?
<b>Dosis Máxima Permitida</b>
¿Se garantiza que la dosis recibida por los trabajadores ocupacionales no excede los 20 mSv por año promediado en 5 años, con un máximo de 50 mSv en un año?
¿Se asegura que la dosis para el público en general no excede 1 mSv por año?
<b>Protección Radiológica</b>
¿Existe y se implementa correctamente un Programa de Protección Radiológica?
¿Se verifica periódicamente la radiación de fuga y fuera del haz primario?
¿Los equipos de protección individual están disponibles y en buen estado?
¿El personal usa adecuadamente los medios de protección y recibe entrenamiento específico?
<b>Justificación de Exposiciones</b>
¿El grosor de las paredes plomadas asegura que la dosis fuera de la sala de rayos X no excede 1 mSv por año?
¿Las salas de radiología cumplen con las dimensiones mínimas recomendadas (4x5 metros con un techo de 2.5 metros)?
¿Las salas están distribuidas para minimizar la exposición innecesaria y cuentan con señalización adecuada

¿Se instalan dosímetros de área para monitorear las dosis de radiación en tiempo real?
<b>Mantenimiento y Calibración</b>
¿Los equipos de rayos X son calibrados regularmente y mantenidos en buen estado para asegurar su funcionamiento seguro?
<b>Optimización de Protocolos</b>
¿Se optimizan los protocolos de imagen para minimizar la dosis recibida por los pacientes sin comprometer la calidad de la imagen?
¿Se informan y registran las dosis de radiación en el historial médico del paciente?
<b>Educación y Capacitación</b>
¿Se llevan registros detallados de las exposiciones a la radiación del personal y se realizan análisis periódicos?
¿Existen programas de educación continua en protección radiológica para el personal involucrado?
¿El personal recibe capacitación actualizada regularmente sobre nuevas tecnologías y técnicas de protección radiológica?
<b>Tasa de Dosis</b>
¿La tasa de dosis en áreas de acceso público no excede 0.02 mSv por semana?
¿La tasa de dosis en áreas de trabajo para personal ocupacionalmente expuesto no excede 0.1 mSv por semana?
¿La tasa de dosis en puntos cercanos a la fuente de radiación fuera del haz primario se mantiene dentro de los límites de seguridad (< 0.1 mSv/hora)?
<b>Equipos de Protección Personal (EPP)</b>
El personal utiliza delantales de plomo con un equivalente de al menos 0.25 mm (recomendado 0.5 mm) para procedimientos estándar?
¿Se utilizan protectores tiroideos, gafas y guantes plomados con el equivalente de plomo recomendado?
¿Los pacientes utilizan delantales de plomo para proteger órganos sensibles que no están en el área de interés?