



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
FÍSICA CON MENCIÓN EN FÍSICA MÉDICA
SEMINARIO DE GRADUACIÓN
V AÑO

TEMA: Aplicación de la Física

SUBTEMA:

Evaluación de la Seguridad Radiológica en la sala de rayos X del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta de la ciudad de Managua, de agosto a noviembre 2022.

ELABORADO POR:

- ❖ Br. Ana Margarita Flores Marín. #18041767
- ❖ Br. Rachel Deyanira Rivera Vallejos. #18049533

Tutor:

- ❖ Norma Roas, PhD.

Asesor:

- ❖ Byron González, PhD.

Managua, noviembre 2022

Dedicatoria.

Quiero dedicar mi trabajo primeramente a Dios y a mi familia. A mis padres Ángel Flores y Nerssys Marín que han estado conmigo en cada paso que doy, apoyándome incondicionalmente, a mi hermana Alondra Flores, y a Charlie que me ha acompañado en todo el transcurso de la carrera, y principalmente a mis abuelas Ercilia Urrutia y Ana Cruz, sin ellos no estuviera culminando mis estudios, sin su cariño y apoyo. También quiero dedicar este trabajo a mis compañeros de clases y amigos Rachel Rivera, Avigail Granados, Yubran Castro por siempre ser un respaldar para mí.

Ana Margarita Flores Marín

Dedico mi trabajo primeramente a Dios padre por excelencia, quien es el dador de la vida, y así mismo dedico a mis padres Freddy Rivera y María José Vallejos, quienes han sido el principal pilar de mi vida, quienes me educaron, instruyeron y motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos, a mis hermanos Karvin Rivera y Claren Rivera, quienes durante todo el transcurso de mi carrera me han apoyado, a mis abuelas Inés Berrios y Haydessa Columna, a mis abuelos, aunque no estén físicamente con nosotros. Dedico a una persona especial (A). También quiero dedicar este trabajo a mis compañeros de clases y amigos Ana Flores, Avigail Granados, Yubran Castro porque siempre han sido de mucho apoyo durante este camino.

Rachel Deyanira Rivera Vallejos

Agradecimiento

Le damos nuestro más grande agradecimiento primeramente a Dios por que nos ha permitido poder culminar con éxito nuestros estudios, también agradecemos a todas aquellas personas que nos han ayudado en nuestro crecimiento tanto como persona, así como en el ámbito profesional, los cuales han estado de forma directa e indirecta ayudándonos, dándonos su apoyo y conocimientos.

Le agradecemos de forma muy especial y con mucho amor y cariño a nuestros padres los cuales han sido los formadores de nuestros cimientos. Agradecemos a nuestros hermanos por estar siempre prestos a ayudarnos en todo momento.

Les agradecemos a nuestros amigos que nos han motivado a no rendirnos y seguir avanzando en nuestro crecimiento profesional. También agradecemos a las personas dentro y fuera de la universidad que nos han apoyado incondicionalmente. Agradecemos especialmente al Licenciado Lenin Márquez y a la Licenciada Maricielo Acevedo por compartirnos sus conocimientos.

Agradecemos a nuestros docentes de la carrera de Física Médica de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la UNAN-Managua por haber compartido sus conocimientos a lo largo de este tiempo para la preparación de nuestra licenciatura, de manera especial agradecemos a PhD. Norma Roa y al PhD. Byron González tutores de nuestro seminario, quienes nos guiaron con paciencia, y sabiduría para poder culminar.

Managua, Nicaragua
30 de noviembre del 2022

MSc Francisco Espinoza
Director Departamento de Física
Facultad de Ciencias e Ing.

Estimado MSc. Espinoza

Por este medio estoy haciendo llegar mi valoración como tutora del seminario de graduación realizado por la Br. Ana Margarita Flores Marín Y Br. Rachel Deyanira Rivera Vallejos, se ha evaluado el informe final y se considera cumple con los requisitos establecidos con el actual reglamento estudiantil vigente. Este trabajo es de mucha relevancia para el Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta.

El mismo lleva por título **Evaluación de la Seguridad Radiológica en la sala de rayos X del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta de la ciudad de Managua, de agosto a noviembre 2022.**

Agradecería su gestión para que la pre-defensa y defensa sea realizada de acuerdo con la reglamentación. Gracias por su gestión y aprovecho la ocasión para saludarle.

Atentamente,



Msc. Norma Roas Zúniga
Docente
Dpto. de Física

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Resumen..... | 8 |
| I. Introducción..... | 9 |
| II. Justificación | 10 |
| III. Objetivos..... | 11 |
| 3.1. Objetivo General..... | 11 |
| 3.2. Objetivos específicos..... | 11 |
| IV. Desarrollo del Subtema | 12 |
| 4.1. Fundamentos sobre cultura de seguridad | 12 |
| 4.1.1. Consideraciones generales sobre la cultura de la seguridad..... | 12 |
| 4.1.2. Elementos básicos de la cultura de la seguridad en las organizaciones que trabajan con equipos generadores de rayos X | 12 |
| 4.1.3. Niveles de la cultura de seguridad en las organizaciones que trabajan con equipos generadores de rayos X..... | 20 |
| 4.2. Seguridad y Protección Radiológica..... | 22 |
| 4.3. Descripción general de riesgos basados en las guías del OIEA y MINSA-NIC..... | 27 |
| 4.3.1. Evaluación de la Seguridad Radiológica | 31 |
| 4.3.2. Identificación de riesgo..... | 32 |
| 4.3.3. Sucesos Iniciadores | 33 |
| 4.3.4. Barreras o reductores | 36 |
| 4.4. Matriz de Riesgo..... | 38 |
| 4.4.1. Criterios para asignar frecuencias, probabilidad de fallo y consecuencias | 40 |
| 4.4.2. Matriz de Riesgos (Evaluación de la Seguridad Radiológica)..... | 41 |
| 4.4.3. Análisis de la Seguridad..... | 49 |
| 4.4.3.1. Análisis de cultura de Seguridad | 49 |
| 4.4.3.1.1. Resultados de la aplicación del instrumento..... | 49 |
| 4.4.3.2. Análisis de la matriz de riesgo..... | 61 |
| V. Conclusiones..... | 65 |
| VI. Referencias Bibliográficas..... | 66 |
| Anexos | 68 |

Índice de Ilustración

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Triangulo de riesgo | 61 |
|---|----|

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Niveles de la Cultura de Seguridad en las Organizaciones que realizan actividades con fuentes de radiación. Fuente de donde se obtuvo la imagen (IAEA-TECDOC, 1995) | 22 |
| Figura 2. Esquema del proceso de análisis de riesgo. Fuente propia. | 33 |
| Figura 3 Resultados del tipo de riesgo de cada evento iniciador | 39 |
| Figura 4 Resultados del nivel de cultura de seguridad | 49 |
| Figura 5 Resultados de la prioridad de la seguridad | 50 |
| Figura 6 Resultados de Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección respecto de la seguridad | 51 |
| Figura 7 Resultados de Identificación y solución oportunas de los problemas de seguridad..... | 52 |
| Figura 8 Resultados del Enfoque permanente en la seguridad..... | 53 |
| Figura 9 Resultados de Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individuales con respecto a la seguridad..... | 54 |
| Figura 10 Resultados de Comunicación eficaz en materia de seguridad | 55 |
| Figura 11 Resultados de Libre notificación de información relativa a la seguridad | 56 |
| Figura 12 Resultados de Tratamiento justo de los comportamientos individuales respecto de la seguridad | 57 |
| Figura 13 Resultados de Aprendizaje organizativo continuo sobre seguridad | 58 |
| Figura 14 Resultados de Ambiente de confianza y colaboración en relación con la seguridad..... | 59 |
| Figura 15 Resultado del logro final de la evaluación de cultura de seguridad..... | 60 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Sucesos Iniciaadores. | 34 |
| Tabla 2. Barreras o reductores..... | 36 |
| Tabla 3 Matriz de riesgo | 42 |
| Tabla 4 Resultados de triangulo de riesgo, basados en sucesos iniciadores. | 62 |

Siglas y Abreviaturas

1. **MINSA:** Ministerio de Salud.
2. **OIEA:** Organismo Internacional de Energía Atómica.
3. **TOEs:** Trabajador Ocupacionalmente Expuesto.
4. **ADN:** Ácido Desoxirribonucleico.
5. **ICRP:** Comisión Internacional de Protección Radiológica.
6. **ALARA:** As Low As Reasonably Achievable. Tan Bajo Como Sea Razonablemente Alcanzable.
7. **mSv:** mili sieverts.
8. **LET:** Transferencia Lineal de Energía.
9. **NBS:** Normas Básicas de Seguridad.

Resumen

En este trabajo se desarrolla la metodología de evaluación de seguridad basadas en las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica y Ministerio de Salud de la Republica de Nicaragua (MINSAL), en base a una matriz de riesgo, con el fin de identificar los sucesos de mayor probabilidad de ocurrencia con mayor consecuencia en una sala de rayos X, para trabajadores ocupacionalmente expuesto y miembros del público, donde se elaboran diferentes recomendaciones en base a los resultados obtenidos en la matriz de riesgo.

Para nuestro trabajo se consideró la cultura de seguridad en la instalación, se tomó en cuenta los factores humanos y organizacionales relacionados con el servicio, específicamente la sala de rayos X del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta con el fin de identificar el nivel de cultura de seguridad que posee el personal, esto a través de un instrumento de evaluación de la cultura de seguridad diseñado a en base al TECDOC 1995 del OIEA, el cual nos permitió reconocer el nivel de cultura de seguridad que posee la institución en base a los 10 elementos básicos de cultura de seguridad, dando como resultado el cumplimiento del 80 % de cultura de seguridad.

Posteriormente se realizó un análisis de manera cualitativa y cuantitativa, concluyendo con una serie de recomendaciones que la sala de rayos X del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta puede tomar en cuenta para mejorar el estándar de la seguridad en general.

I. Introducción

La evaluación de seguridad se realiza como medio para verificar el cumplimiento de la seguridad de la institución, esta permite determinar las medidas que son necesarias que la institución adopte para fortalecer la seguridad hacia los trabajadores ocupacionalmente expuestos, pacientes, y público en general. Evitando cualquier peligro a exposición a radiaciones ionizantes, que se presentan en este tipo de ambiente laboral.

Para la evaluación de la seguridad en una sala del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta de Managua, en donde se encuentra instalado un equipo de rayos X convencional. Basados en las normas nacionales e internacionales se obtuvieron 10 elementos básicos sobre la evaluación de cultura de seguridad, que la sala debe de cumplir para un nivel aceptable de cultura de seguridad.

Para lograr una evaluación concreta de seguridad fue implementada la realización de una matriz de riesgo la cual es una herramienta de control que ayuda a identificar los sucesos más importantes que pueden ocurrir en una institución esta a su vez, ayuda a reconocer los diferentes niveles de riesgos que conllevan las actividades con equipos generadores de rayos X.

La matriz de riesgo facilita el análisis de datos, donde se toman en cuenta los tipos de incidencias que puedan generar un suceso iniciador, con el fin de disminuir el riesgo procedente de estos.

Es necesario fundamentar la metodología de evaluación en los requerimientos legales que se expresan en las normativas nacionales correspondientes para nuestro país, en esta metodología se describe la forma de obtención de las responsabilidades, análisis de la seguridad, incluyendo los elementos para elaboración de la matriz de riesgo y descripción de las actividades a realizar para su mitigación, considerando todo lo anterior se procedió a la verificación y análisis de los resultados en materia de seguridad radiológica de una sala de rayos X del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta, de la ciudad de Managua Nicaragua, en el período de Agosto a Noviembre del 2022.

II. Justificación

En los diversos centros hospitalarios que poseen servicio de radiodiagnóstico, se utilizan equipos generadores de Rayos X, en los que se debe tomar en cuenta las medidas de seguridad basadas en las normativas internacionales y nacionales sobre el uso de las radiaciones ionizantes.

Es de fundamental importancia que se brinde la seguridad radiológica necesaria a los trabajadores ocupacionalmente expuestos, pacientes y público. Por ello existe la importancia de realizar una evaluación de seguridad para poder determinar si la instalación adopta las medidas adecuadas que garanticen una seguridad radiológica apropiada.

Se debe realizar una matriz de riesgo para determinar los sucesos iniciadores que puedan desencadenar accidentes o incidentes radiológicos en el servicio de radiodiagnóstico y la respuesta que debemos adoptar sobre estos en el departamento de radiodiagnóstico de un hospital.

Por tales razones en este trabajo se realizará el análisis y desarrollará una matriz de riesgo para evaluar todo lo antes dicho en una institución para el beneficio de la institución y los trabajadores ocupacionalmente expuestos, teniendo en cuenta condiciones de operación normal y posibles sucesos que podrían provocar un incidente o accidente. Para ello también se considerarán las situaciones de exposición normales y potenciales en el servicio.

La realización de este trabajo sienta las bases para la ampliación del alcance de la evaluación de la seguridad en la instalación, puesto que en el futuro se podrán estudiar los sucesos iniciadores y medidas a tomar en cuenta en las demás salas de la instalación, partiendo del establecimiento de esta base inicial en estudio considerada en este trabajo, además de una evaluación más allá de las matrices de riesgo que abarque de manera más extensiva la evaluación de la seguridad en la instalación, considerando los cálculos de dosis normales y potenciales.

III. Objetivos

3.1. Objetivo General

Evaluar la seguridad radiológica del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta de la ciudad Managua considerando la matriz de riesgo en la sala de rayos X, de agosto a noviembre del 2022.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar análisis de riesgo basados en las guías del Organismo Internacional de Energía Atómica y Ministerio de Salud de la Republica de Nicaragua (MINSAL), con el fin de identificar los sucesos de mayor probabilidad de ocurrencia con mayor consecuencia en una sala de rayos X del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta, para trabajadores ocupacionalmente expuesto y miembros del público.
- Elaborar una matriz de riesgo adecuada a los posibles sucesos iniciadores que podrían ocurrir en la sala de rayos X del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta
- Aplicar la matriz de riesgo considerando el manejo de la tecnología en la sala de rayos X del Hospital Escuela Dr. Manolo Morales Peralta

IV. Desarrollo del Subtema

4.1. Fundamentos sobre cultura de seguridad

4.1.1. Consideraciones generales sobre la cultura de la seguridad

La cultura de la seguridad es definida como la forma en la que los individuos se relacionan con la seguridad de las actividades que realiza una institución. Es considerada una cultura de seguridad óptima cuando dicha seguridad es considerada una prioridad en todas las actividades realizadas por el personal que labora en dicha institución y se rige a las normas de la misma. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2022)

Una institución que posee una buena cultura de seguridad, es una institución que tiene menos riesgos de accidentes, siendo así un ambiente seguro para su personal ayudándole a evitar, detectar y corregir cualquier situación que amenacen la seguridad. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2022)

Existen componentes generales de la cultura de seguridad, que nos facilitan llevar a cabo los planes de emergencia en caso de alguna incidencia, como el entorno de seguridad que implica la forma en que las personas van a actuar y el aprovechamiento de entorno de seguridad esta tiene que ver con un enfoque prudente. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2022)

4.1.2. Elementos básicos de la cultura de la seguridad en las organizaciones que trabajan con equipos generadores de rayos X

Según (IAEA- TECDOC, 1995), existen 10 elementos básicos que caracterizan la Cultura de Seguridad que deberían estar presentes en una institución que trabaje con generadores de rayos X:

- 1. Prioridad de la seguridad**
- 2. Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección respecto de la seguridad**
- 3. Identificación y solución oportunas de los problemas de seguridad**

- 4. Enfoque permanente en la seguridad**
- 5. Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individuales con respecto a la seguridad**
- 6. Comunicación eficaz en materia de seguridad**
- 7. Libre notificación de información relativa a la seguridad**
- 8. Tratamiento justo de los comportamientos individuales respecto de la seguridad**
- 9. Aprendizaje organizativo continuo sobre seguridad**
- 10. Ambiente de confianza y colaboración en relación con la seguridad.**

Los elementos relacionados con la cultura de seguridad están mutuamente conectados y todos tienen el mismo objetivo que es lograr resguardar la seguridad de los trabajadores, es por ello que es de suma importancia que estos estén presentes para lograr una cultura de seguridad óptima en las instituciones que trabajan con equipos generadores de Rayos X. (IAEA- TECDOC, 1995)

El (IAEA- TECDOC, 1995) manifiesta que *"El nivel que estos elementos alcancen en las actividades que se realiza dependerá de la institución, del entorno en que se opere y de las adaptaciones de las normas."*

A continuación, cada uno de los elementos mencionados anteriormente será definido y se presentará como debe actuar la institución para poder obtener una Cultura de Seguridad óptima, además se explican los aspectos que la institución debería presentar.

1. Prioridad de la seguridad:

Debemos tener en cuenta que la seguridad es la mayor de las prioridades que debe tener una institución. Una institución con una cultura de seguridad óptima prioriza la seguridad en todas sus acciones, decisiones y planes alternativos, sobre el cumplimiento de la misma. Ese enfoque de prioridad de la seguridad se apoya en

políticas y regulaciones a nivel tanto nacional como organizativo. (IAEA- TECDOC, 1995)

Según se lee en el (IAEA- TECDOC, 1995), la prioridad de la seguridad presenta tres niveles:

1. **Nivel nacional:** Este nivel está relacionado con la legislación nacional y el establecimiento de organizaciones para su reglamentación y control.
2. **Nivel organizativo:** Este nivel se relaciona con las políticas y los procedimientos de las organizaciones que trabajan con equipos generadores de Rayos X.
3. **Nivel individual:** Este nivel manifiesta la manera de actuar de los individuos en la Protección Radiológica y la seguridad para los trabajadores, pacientes y miembros del público.

La prioridad de la seguridad es una condición que siempre se tendrá en cuenta en la contratación de servicios, la adquisición de productos y equipos y la contratación de personal por parte de la institución, esto no significa que hay que restarle importancia los demás intereses concerniente a las actividades que involucran la radiación ionizante en la institución.

2. Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección respecto de la seguridad

El liderazgo y compromiso de la alta dirección respecto a la seguridad según la (IAEA- TECDOC, 1995) son visibles, permanentes y reconocidos por esta como elementos clave para la promoción y el desarrollo tanto nacional como organizativo de la cultura de la seguridad sólida en la institución que realiza actividades con generadores de radiación en las diferentes modalidades de uso.

Esta misma nos manifiesta que para considerar que un directivo tiene una buena cultura de seguridad debe poseer conocimientos, consciencia y compromiso, para la institución posea aspectos adecuados de la seguridad al momento de realizar actividades con equipos generadores de rayos X.

Así mismo, dentro de la institución un directivo debe desempeñar una triple función de ser: Creador de visión, agente de cambio, generador de confianza mediante sus decisiones y actuaciones, para la seguridad dentro de la institución.

La importancia de un buen liderazgo y compromiso es reflejada en las decisiones tomadas para la buena cultura de seguridad de la institución, a su vez los trabajadores poseen un compromiso alto de seguridad al interés de la misma participando activa y directamente en todo lo concerniente a la seguridad. (IAEA-TECDOC, 1995)

3. identificación y solución oportunas de los problemas de seguridad

Los factores que producen un impacto sobre la seguridad en las instituciones que realizan actividades con generadores de rayos X, son identificadas y deben ser rápidamente evaluadas por tener un impacto sobre la seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

Toda institución con una buena cultura de seguridad posee un mecanismo para lograr identificar a tiempo los problemas de seguridad en las actividades realizadas con los equipos que generen radiación ionizante. La buena cultura de seguridad debe poseer una supervisión constante en todas actividades que se vean relacionados los TOEs concerniente a las normas de seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

La institución debe ser capaz de evaluar de forma integral cada problema detectado, en cuanto a su peligro. La participación activa de los trabajadores en los asuntos de seguridad y el liderazgo de la alta dirección son dos aspectos decisivos para lograr este elemento básico de la cultura de la seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

4. Enfoque permanente en la seguridad

Las actividades que se realizan con radiación ionizante en las instituciones son elaboradas minuciosamente, planificadas y controladas según correspondan para lograr mantener buenos niveles de cultura de seguridad en las instituciones. (IAEA-TECDOC, 1995)

Una institución con una Cultura de Seguridad sólida debe ser capaz de elaborar diferentes enfoques entorno a la seguridad en las diferentes actividades que se realicen teniendo en cuenta las normas de seguridad de la misma, y poniendo en primer plano la seguridad de su personal, y así tener resultados satisfactorios en el cumplimiento de la seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

Un elemento indispensable en el marco de la seguridad son las tomas de decisiones y las gestiones dentro de la institución, es importante que se tengan decisiones claras, precisas y objetivas, sin descuidar la seguridad, y se mantengan vigilantes como autoridad en todas las actividades relacionadas a estas. (IAEA- TECDOC, 1995)

5. Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individuales con respecto a la seguridad

La seguridad es indispensable sobre todo en el personal, se debe asumir como una responsabilidad del que labora en una institución en la cual se llevan a cabo usos de generadores de radiaciones ionizantes, se debe tener como prioridad la protección radiológica y enfocarse sobre todo en la optimización de las radiaciones ionizantes como principio primordial para la prevención de accidentes radiológicos y control físico de los equipos. (IAEA- TECDOC, 1995)

En las instituciones con una cultura de seguridad adecuada, el trabajador es capaz de reconocer la seguridad como una práctica diaria y la considera una responsabilidad para todo el personal, incluyendo pacientes y miembros del público, independientemente de la función que ocupe dentro de la institución. (IAEA- TECDOC, 1995)

La institución debe ser capaz de brindar atención especial a la capacitación y al entrenamiento de todo el personal en toda la materia de seguridad, reconociendo que ellos no constituyen por si solos una garantía de comportamiento seguro, si no que la conforman como equipo al conocer sobre la seguridad y la importancia de esta para lograr la cultura de seguridad sólida. (IAEA- TECDOC, 1995)

El personal que está involucrado en el ámbito de la seguridad es vital, debido a que no solo es responsabilidad de la directiva de la institución brindar la seguridad en el centro de trabajo, si no de cada uno de los que laboran con equipos generadores de rayos X directa e indirectamente para la cultura de seguridad, y la propia seguridad de los individuos como seres propensos a los efectos nocivos de la radiación ionizante. (IAEA- TECDOC, 1995)

6. Comunicación eficaz en materia de seguridad

Una cultura de comunicación favorece el flujo permanente sobre la información en la materia de seguridad en todos los niveles y de los trabajadores un espectro amplio sobre la seguridad para realizar las actividades con radiaciones ionizantes (IAEA- TECDOC, 1995)

Es de suma importancia que dentro de una institución que posee una buena cultura de seguridad exista constantemente un flujo de información sobre los asuntos de seguridad para no omitir hechos que pueden provocar un peligro potencial para la seguridad del trabajador, y así mismo promover la actualización de todos los sucesos que acontece dentro de la institución. (IAEA- TECDOC, 1995)

La cultura de comunicación debe ser parte de la convicción para cada persona que labora en la institución sin importar el área y deben ser de utilidad e importancia estar informados sobre toda la materia de seguridad para lograr tomar decisiones adecuadas y mejorar la seguridad de la institución velando por su propia seguridad y la de los demás. Y así mismo permite a la alta directiva de la organización indicar, mostrar y orientar sobre lo que se espera lograr en cuanto a la seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

7. Libre notificación de información relativa a la seguridad

Existe una cultura dentro de los centros de trabajo sobre expresar preocupaciones de seguridad, notificar cualquier fallo, error humano, incidente o cuasi-accidente sin temor a represalias o intimidaciones, así como cualquier incidencia que pueda

afectar la seguridad de la organización sobre las actividades con generadores de radiación. (IAEA- TECDOC, 1995)

Una institución con una cultura de seguridad adecuada promueve y apoya el reporte de las incidencias en su personal para garantizar la seguridad en cualquiera de sus actividades o procesos, independientemente de la instancia de la institución a que involucre. Además, ello incluye el reporte sobre cualquier fallo de equipo, o decisión que pueda potencialmente afectar a la seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

La institución debe tener la prioridad de poseer planes para evitar eventualidades en la misma, estos deben constar con un reporte de parte de sus miembros, quienes deben de estar preparados ante cualquier evento, dichos planes deben tener en cuenta ciertos mecanismos tales como: reportar, procesar, gestionar, solucionar, remediar y retroalimentar un evento. (IAEA- TECDOC, 1995)

Para tener una buena cultura de seguridad debemos tener en cuenta la cultura de reportar, ya que cada institución debe tener un plan constante de evaluación y retroalimentación para un mejor manejo de las actividades de la misma, dando mayor confianza entre los trabajadores y la directiva de la institución. (IAEA- TECDOC, 1995)

8. Tratamiento justo de los comportamientos individuales respecto de la seguridad.

Las instituciones que realiza actividades con generadores de rayos X, debe permanecer con una cultura constante concerniente a la seguridad, debe retroalimentarse en las investigaciones de accidentes, incidentes y cuasi accidentes, así como de actos, condiciones y comportamientos inseguros, que se centra en la identificación de las causas organizativas o sistémicas de los mismos y no en la búsqueda de culpables. (IAEA- TECDOC, 1995)

Toda institución debe estar en constante estudio sobre los sucesos o las situaciones que pueden ocurrir y afectar la salud de los trabajadores, esto como parte de una buena cultura de seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

Una buena cultura de seguridad posee elementos básicos, tales como la comunicación y la notificación de las actividades que la institución realiza, esto quiere decir que aunque haya una cultura justa no se deben tolerar comportamientos inaceptables. (IAEA- TECDOC, 1995)

9. Aprendizaje organizativo continuo sobre seguridad

Es de vital importancia que la institución este en constante estudio para la identificación de sucesos, como accidentes e incidentes ocurridos o que pudiera ocurrir, relacionados con las actividades con radiación ionizante, esto ayuda a la institución a mejorar en su práctica y mejorar la seguridad en la misma. (IAEA- TECDOC, 1995)

Es importante que, para fomentar la cultura, la institución debe contar con procedimientos que permita buscar, identificar, analizar, aprender y difundir las enseñanzas de cualquier suceso. La cultura del aprendizaje se basa en la capacidad de cambio de la organización, es decir, en una cultura flexible que le permite reconfigurarse siempre que sea necesario como resultado de su aprendizaje organizativo. (IAEA- TECDOC, 1995)

10. Ambiente de confianza y colaboración en relación con la seguridad.

Uno de los principales objetivos de la seguridad es crear un ambiente de confianza y respeto entre todos los que laboran en una institución en las diferentes áreas de la misma. (IAEA- TECDOC, 1995)

Es de importancia que dentro de la institución se establezca diferencia entre todas sus áreas, y que tenga igualdad en las oportunidades del personal, fomentando el

respeto y confianza entre ellos, todo esto para una cultura de seguridad sólida. (IAEA- TECDOC, 1995)

La motivación al personal es eficaz para mejorar la seguridad, esto debe ser a base de charlas motivacionales, explicando la importancia de la actividad que se realiza. La institución como el personal debe brindar confianza en todo lo que concierne a la seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

“Los ambientes colaborativos, de respeto y de confianza promueven comportamientos seguros que son asimilados por los nuevos trabajadores, evitando que se contagien con malas prácticas o hábitos.” (IAEA- TECDOC, 1995)

4.1.3. Niveles de la cultura de seguridad en las organizaciones que trabajan con equipos generadores de rayos X

Según el documento Cultura de Seguridad en las organizaciones, instalaciones y actividades con fuentes de radiación ionizante del foro iberoamericano, se ha elaborado un esquema de cuatro niveles de la Cultura de Seguridad, como se muestra en la Figura 1, en los que puede encontrarse una institución que realiza actividades con equipos generadores de radiación. (IAEA- TECDOC, 1995)

Estos niveles son:

- **Nivel Bajo**
 - **Nivel de Progreso Incipiente**
 - **Nivel de Progreso Avanzado**
 - **Nivel de Excelencia**
-
- **Nivel bajo:** Es considerado un nivel bajo cuando en una institución hay poco interés a la seguridad de todas las actividades que realiza en las diferentes áreas. Al poseer un nivel bajo de interés hacia la seguridad se presentan con mayor frecuencias complicaciones en la misma, esto se da por el poco

esfuerzo del personal y de la directiva de la institución para desarrollar una buena cultura de seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

Una institución entra a una **Fase de progreso** cuando en dicha institución hay un progreso no del 100% pero si muestran un interés a la Cultura de Seguridad, es decir que el personal muestra un avance en esta área, es por ello que está dividido en dos niveles: (IAEA- TECDOC, 1995)

- **Nivel de progreso incipiente:** Este es un nivel de desarrollo, la institución y el personal tienen un interés básico al tema de la Cultura de Seguridad. Este aun es un nivel bajo, es decir el personal y la institución presentan un conocimiento limitado al tema. Este nivel reta a las instituciones a retroalimentarse y enfocarse a la responsabilidad de la Seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)
- **Nivel de progreso avanzado:** Los elementos de la cultura de Seguridad para la institución, en este punto llega a ser de importancia y primordial. Podemos observar la responsabilidad de la institución y del personal, los cuales tienen un grado más alto de enfoque para el cumplimiento de los elementos de la seguridad. El nivel de progreso avanzado presenta un nivel bajo de accidentes e incidentes. (IAEA- TECDOC, 1995)
- **Nivel de excelencia:** En este nivel es indudable que la institución ha alcanzado el conocimiento de todos los elementos básicos de la Cultura de Seguridad. En este nivel es observable que la institución posee la capacidad de evitar tener accidentes e incidentes dentro de ella, están en constante estudio del tema de la seguridad. La institución en este punto se convierte en un modelo de excelencia en cuanto a la Cultura de Seguridad. (IAEA- TECDOC, 1995)

Como bien sabemos la cultura de seguridad debe de tener parte en todas las organizaciones o instituciones que traten con radiación ionizante para un buen desempeño de la seguridad radiológica en el personal ocupacionalmente expuesto (TOEs), pacientes y público.



Figura 1. Niveles de la Cultura de Seguridad en las Organizaciones que realizan actividades con fuentes de radiación. Fuente de donde se obtuvo la imagen (IAEA-TECDOC, 1995)

4.2. Seguridad y Protección Radiológica.

A raíz del descubrimiento de la radiactividad y de los rayos X a finales del siglo XIX, se pusieron en manifiesto los daños producidos por las radiaciones ionizantes, como lesiones que pueden inducir en el ADN, las radiaciones ionizantes tiene el reconocimiento de muchos beneficios especialmente en la medicina se estima que el 90% de la exposición del ser humano a fuentes artificiales de radiaciones está dada en el sector de la Medicina, mediante los efectos visto en el uso de estas nuevas tecnologías se ha reconocido el daño que pueden ocasionar si no se las del uso adecuado. (Ramírez, 2010)

Se ha puesto en evidencia la gran importancia de establecer medidas de seguridad para las actividades realizadas con radiación ionizante con el fin de establecer una garantía de seguridad en la protección de los efectos nocivos de las radiaciones en el ser humano, dando así el origen de la disciplina denominada protección radiológica (Ramírez, 2010)

"La redacción de las normas de seguridad radiológica es una función del Estatuto del OIEA, y la única dentro del sistema de las Naciones Unidas. El OIEA está autorizado para establecer o adoptar normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y el medio, a fomentar y facilitar en el mundo entero la investigación, el desarrollo y la aplicación práctica de la energía atómica con fines pacíficos; y así mismo preceptuar de lo necesario para aplicar esas normas. Las publicaciones mediante las cuales el OIEA establece las normas pertenecen a la Colección de Normas de Seguridad de OIEA." (Wrixon, A. V., 1999)

En 1962 se crearon las primeras normas básicas de seguridad y son la base de los reglamentos nacionales de un gran número de países y están plasmadas en los documentos reglamentarios de los principales organismos internacionales, estas fueron adoptadas por parte del OIEA. (Wrixon, A. V., 1999)

Desde la adaptación de las normas, muchos países han puesto más énfasis en el examen y la revisión de los reglamentos nacionales pertinentes, los cuales sirven como requisitos fundamentales para garantizar una seguridad adecuada. Con el transcurso de los años, el OIEA ha elaborado y publicado familias de requisitos y guías de seguridad radiológica para apoyo a los diferentes países miembros. (Wrixon, A. V., 1999)

A los efectos de la protección radiológica, las exposiciones a la radiación ionizante se dividen en tres tipos:

- Exposición médica
- Ocupacional
- Exposición del público

Exposición médica: "Exposición sufrida por los pacientes en el curso de su propio diagnóstico o tratamiento médico o dental; exposición sufrida de forma consciente por personas que no estén expuestas profesionalmente mientras ayudan voluntariamente a procurar alivio y bienestar a pacientes; asimismo, la sufrida por voluntarios en el curso de un programa de investigación biomédica que implique su exposición" (IAEA, 2010)

Exposición ocupacional: "Toda Exposición de los trabajadores sufrida durante el desempeño de su trabajo operacional en su centro de trabajo, con excepción de las exposiciones excluidas del ámbito de las normas y de las exposiciones causadas por las practicas o fuentes exentas según las normas." (IAEA, 2010)

Exposición del público: "Comprende todas las exposiciones no incluidas en las ocupacional, ni en las médicas, y que son consecuencia de las actividades que dan lugar a las dos anteriores, así como las derivadas de fuentes naturales que produzcan una irradiación significativa." (IAEA, 2010)

Los principios de protección radiológica y seguridad que se dan en las NBS son los siguientes:

1. **Justificación de las prácticas:** "No debería ser autorizada ninguna práctica o fuente adscrita a una práctica a no ser que la práctica produzca a los individuos expuestos o a la sociedad un beneficio suficiente para compensar los daños por radiación que pudiera causar, es decir: a no ser así como otros factores pertinentes." (IAEA, 2010)
2. **Limitación de dosis:** "La exposición normal de los individuos se deberá restringir de modo que ni el total de la dosis efectiva ni el total de la dosis equivalente a órganos o tejidos de interés, causadas por la posible combinación de exposiciones originadas por prácticas autorizadas, excedan de cualesquiera límites de dosis especificados" (IAEA, 2010)
3. **Optimización de la protección y la seguridad:** "En relación con las exposiciones debidas a una fuente determinada adscrita a una práctica, salvo en el caso de las exposiciones médicas terapéuticas, la protección y

seguridad deberán optimizarse de forma que la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de sufrir exposiciones, se reduzcan al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales, con la condición de que las dosis causadas en los individuos por la fuente se sometan a restricciones de dosis relacionadas con esa fuente.” (IAEA, 2010)

Las medidas necesarias para limitar la exposición a la radiación ionizante a los seres humanos, son aquellas que toman las medidas mediante las aplicaciones de acciones, blindajes, normas de seguridad en cualquier punto del sistema que vincula las fuentes con los individuos. Tales acciones se pueden aplicar a las fuentes emisora de radiación ionizante. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012)

Los riesgos de irradiación a que están sometidos los individuos se reducen aplicando las siguientes medidas generales de protección según sea la energía y tipo de la radiación, será conveniente utilizar distintos materiales y espesores de blindaje contra las radiaciones: (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012)

Distancia: Aumentando la distancia entre el operador y la fuente de radiaciones ionizantes, la exposición disminuye en la misma proporción en que aumenta el cuadrado de la distancia, esto quiere decir a mayor distancia de la fuente menor radiación se recibe. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012)

Tiempo: Disminuyendo el tiempo de exposición todo lo posible, se reducirán las dosis. Debido a que mayor tiempo de estancia cercana a la fuente mayor será la dosis recibida por el individuo es importante que las personas que vayan a realizar operaciones con fuentes de radiación estén bien adiestradas, con el fin de invertir el menor tiempo posible en ellas, teniendo así importantes consideraciones para su seguridad. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012)

Blindaje: Es necesario interponer un espesor de material absorbente, blindaje, entre el operador y la fuente de radiación, esta servirá para atenuar la radiación dispersa en el medio. Y evitar una sobreexposición del operador u acompañante,

existen diferentes tipos de blindajes como concreto, plomo, mamparas o bien delantales plomados entre otros. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012)

Para lograr un buen margen de seguridad radiológica en las diferentes instituciones que laboran con radiaciones ionizantes, y conociendo barreras protectoras contra estas es importante conocer los límites de dosis, las dosis de radiación recibidas por las personas no deben superar los límites establecidos en la normativa nacional de la ICRP. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012)

Los límites de dosis establecidos garantizan que las personas no sean expuestas a un nivel de riesgo inaceptable. Estos han de ser respetados siempre sin tener en cuenta consideraciones económicas. El uso del criterio ALARA está también exigido legalmente. Los límites han sido incorporados en la Directiva de Protección Radiológica de la Unión Europea y en las reglamentaciones de los Estados Miembros. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012)

El límite de dosis anual es de 20 mSv para la exposición ocupacional de trabajadores (TOEs), durante la operación normal de una instalación o la realización de una práctica con radiaciones ionizantes. Este valor debe ser considerado como el promedio en cinco años consecutivos (100 mSv en cinco años), no pudiendo excederse de 50 mSv en un único año. (Autoridad Reguladora Nuclear, 2016)

Como consecuencia de las diferentes exposiciones existen efectos biológicos asociado con las radiaciones ionizantes llamados efectos estocásticos y efectos deterministas. (Gallego, 2014)

Los efectos deterministas se dan a cabo por muerte celular de un tejido u órgano, esto ocurre tras la exposición a dosis relativamente altas de radiación, y periodos prolongados a esta misma, el organismo reacciona según diferentes factores físicos (LET, tasa de dosis), biológicos (ciclo celular, reparación) y químicos (oxígeno), a este tipo de efectos se le conoce por tener umbrales de dosis, y así mismo existen umbrales de dosis para diferentes tejidos con el fin de evitar sobrepasar los límites establecidos. (Gallego, 2014)

Los efectos estocásticos son efectos probabilísticos, esto quiere decir que son efectos que pueden aparecer, pero no lo hacen necesariamente, por lo cual se le determinan como una probabilidad de ocurrencia en periodos de tiempos cortos o largos, los efectos estocástico más conocidos son el desarrollo del cáncer y las mutaciones genéticas, cabe mencionar que la probabilidad que estos aparezcan están directamente relacionados con la dosis recibida, sin embargo también pueden aparecer con dosis moderadas-bajas en especial si se reciben por un largo periodo de tiempo. (Gallego, 2014)

4.3. Descripción general de riesgos basados en las guías del OIEA y MINSA-NIC.

Aspectos generales basados en las guías del OIEA

Las NBS (Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación), establecen que: “En el cumplimiento de sus obligaciones estatutarias, el organismo regulador deberá establecer, promover o adoptar regulaciones y guías sobre las cuales se basen sus acciones reguladoras.” (IAEA-TECDOC-1710/S, 2013)

Para cumplir los requisitos de la NBS en marco de las exposiciones médicas requiere diferentes elementos como la capacidad del organismo regulador y los usuarios que labora con fuentes de radiación para ejecutar una seguridad y protección adecuada. La NBS establece que una de las responsabilidades del órgano regulador es la de “establecer mecanismos para la comunicación y el debate que involucren interacciones profesionales y constructivas con las partes competentes en relación con todas las cuestiones relacionadas con la protección y seguridad”. (IAEA-TECDOC-1710/S, 2013)

La protección radiológica debe estar correctamente regulada por un marco normativo basado en normas internacionales, y que el organismo que promueve la consecución y mantenimiento de estos altos niveles de seguridad tecnológica y física en las aplicaciones de la protección radiológica. (IAEA-TEDOC-1710/S, 2013)

Los países miembros deberán adoptar estas normas, en consonancia con su marco, el alcance de dicho marco normativo debería abarcar el radiodiagnóstico, la radiología intervencionista, la medicina nuclear y todas sus especialidades y subespecialidades, y a todos los tipos de instalaciones, equipamientos, fuentes de radiación y personal involucrados. (IAEA-TECDOC-1710/S, 2013)

Un marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad debidamente creado permite la regulación de las instalaciones y actividades que generan riesgos radiológicos, desde el uso de estos hasta casos de emergencias radiológicas por diferentes factores independientemente que sea por factores ajenos a la institución. (IAEA-TECDOC-1710/S, 2013)

Existe una jerarquía de responsabilidades en este marco, desde los gobiernos hasta los órganos reguladores y las organizaciones. Tanto el gobierno como el órgano regulador tienen responsabilidades importantes en la creación del marco regulador para la protección de las personas y del medio ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones, así como en el establecimiento de normas. (OIEA, 2007)

Aspectos generales según las guías del MINSA- NICARAGUA (Ministerio de Salud de Nicaragua)

La Comisión Nacional de Energía Atómica es la instancia nacional para los temas vinculados con las radiaciones ionizantes, y las evaluaciones de seguridad se realizan como medio para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad en todas las instalaciones y actividades con el fin de determinar las medidas que será necesario adoptar para fortalecer la seguridad de los trabajadores, usuarios, pacientes, población en general y medio ambiente, evitando cualquier peligro a exposición de estas radiaciones ionizantes, que se presentan en este tipo de ambiente laboral. (Ministerio de Salud, 2017)

Las políticas tanto en la ley como en las diferentes guías facilitadas por el Minsa Nicaragua tiene como objetivo principal que los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes puedan tener las condiciones de la seguridad correspondiente, y así mismo brindar la protección del paciente, el público y el

medioambiente, en base a esto se da la Estrategia Nacional prevé la elaboración de un Plan Nacional de Formación y Capacitación que tendrá resultados claves promovidos por el OIEA, en la materia de la seguridad y calidad. (Ministerio de Salud, 2016)

El Minsa Nicaragua regula los aspectos relacionados con la evaluación de seguridad de las instalaciones de radiología diagnóstica, a través de la “Guía de evaluación de la seguridad de instalaciones y actividades asociadas a fuentes generadoras de radiación ionizante”, el cual cuenta con 24 requisitos, en el cual abarca aspectos técnicos, vida útil de las instalaciones, documentación, y evaluación de factores humanos, entre otros requisitos necesarios para mantener una seguridad adecuada para los trabajadores, y público en una institución que labore con radiaciones ionizantes.

Requisitos de seguridad

Los requisitos de seguridad se basan en los principios fundamentales de seguridad, del organismo internacional de energía atómica. Tomaremos requisitos específicos para englobar y tener una mejor idea de estos centralizados sobre nuestro tema de interés, como lo es la evaluación de seguridad, en instalaciones que cuenten con generadores de radiaciones ionizantes. Los requisitos deben de cumplirse para poder demostrar que se cumple con la Seguridad Radiológica de la actividad o instalación. Según (Ministerio de Salud, 2017)

Los requisitos de seguridad son:

Requisito 1, Enfoque diferenciado.

Requisito 2, Alcance de la evaluación de la seguridad.

Requisito 3, Responsabilidad de la evaluación de la seguridad.

Requisito 4, Finalidad de la evaluación de la seguridad.

Requisito 5, Preparativos para la evaluación de la seguridad.

Requisito 6, Evaluación de los posibles riesgos radiológicos.

Requisito 7, Evaluación de las funciones de seguridad.

Requisito 8, Evaluación de las características del emplazamiento.

Requisito 9, Evaluación de las disposiciones de protección radiológica.

Requisito 10, Evaluación de aspectos técnicos.

Requisito 11, Evaluación de los factores humanos.

Requisito 12, Evaluación de la seguridad durante la vida útil de una instalación o la ejecución de una actividad.

Las guías proporciona una base sistemática y coherente, para la evaluación de seguridad de todas las instalaciones y actividades asociadas a fuentes generadoras de radiaciones ionizantes, asimismo facilita los criterios generales que deben cumplir los usuarios para que una evaluación de seguridad sea considerada suficiente, a los fines de complementar lo establecido en el Reglamento Técnico de Protección Contra las Radiaciones Ionizantes vigente. (Ministerio de Salud, 2017)

En la evaluación de la seguridad de una instalación o una actividad se debe determinar si existen medidas adecuadas para proteger a las personas y el medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante, tal como requiere el objetivo fundamental de seguridad, y así mismo determinar si existen las medidas adecuadas para controlar la exposición radiológica de los trabajadores y públicos dentro de los límites pertinentes. (Ministerio de Salud, 2017)

Descripción de la sala de rayos X

Conforme a la visita a una sala de rayos x en un hospital de ciudad de Managua y verificación de capacidad técnica en el manejo de seguridad radiológica el cual opera con un equipo generador de Rayos X Fijo, Marca Phillips, Modelo SRO 33100, Serie 262231, Generación máxima 150 KV. Donde verificamos de manera visual, subjetiva y objetiva, los requisitos específicos de Seguridad Radiológicas, las cuales se deben llevar a cabo para prevenir o mitigar las consecuencias de posibles accidentes en la sala, derivadas del funcionamiento normal, los incidentes operacionales y las condiciones de la instalación, los cuales son los siguientes:

- Las funciones de seguridad (Son funciones que se deben llevar a cabo para prevenir o mitigar las consecuencias radiológicas derivadas del funcionamiento normal, los incidentes operacionales y las condiciones de accidentes de la instalación).
- Aspectos técnicos (Estructuras, sistemas y componentes).
- Factores humanos (Interacciones de los seres humanos con la instalación o actividad).
- Emplazamiento (El lugar donde está ubicada la instalación o donde se realiza la actividad).
- Disposiciones protección radiológica (Medidas para proteger a las personas y el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes).
- Vida útil de la instalación (Tiempo de vida útil de la instalación, este tiempo comienza en la fase de diseño de la nueva instalación).

4.3.1. Evaluación de la Seguridad Radiológica

Para realizar la evaluación de seguridad en una instalación, tomando en cuenta los tipos de exposiciones tanto normales como potenciales, en casos de operación normal o situaciones de emergencia, es necesario fundamentar la metodología de evaluación en los requerimientos legales que se expresan en las normativas nacionales correspondientes, para nuestro país particularmente la guía mencionada en el acápite anterior.

En este acápite se muestra una metodología para la evaluación de la seguridad en una sala de un hospital de la ciudad de Managua, en donde se encuentra instalado un equipo de rayos X convencional, utilizado para la atención de pacientes del servicio de radiodiagnóstico de dicha instalación.

A manera de resumen, en esta metodología se describe la forma de obtención de las responsabilidades, análisis de la seguridad, incluyendo los elementos para elaboración de la matriz de riesgo y descripción de las actividades a realizar para su mitigación, considerando todo lo anterior se procedió a la verificación y análisis

de los resultados en materia de seguridad radiológica de la sala, tomando en cuenta factores humanos relacionados con los aspectos básicos de la cultura de seguridad.

4.3.2. Identificación de riesgo.

El concepto básico de riesgo es definido como un suceso peligroso que podría ocurrir en cualquier momento esto es denominado accidente que puede afectar las instalaciones, el medio ambiente y la salud de las personas. (Chiossi, C.E., 1998)

"El riesgo (R) se evalúa mediante la medición de los dos parámetros que lo determinan, la magnitud de la consecuencia o daño posible, y la probabilidad que dicha consecuencia o daño llegue a ocurrir". (Ocampo, 2015)

El cálculo del riesgo se realizará utilizando la siguiente expresión:

$$R = F \times P \times C$$

Donde:

F: Es la Frecuencia del fallo (F).

P: Probabilidad de fallo de las barreras.

C: Magnitud de las consecuencias (C).

Como posibles resultados de esta combinación se definirán cuatro niveles de riesgo:

Riesgo muy alto.

Riesgo alto.

Riesgo medio.

Riesgo bajo.

La matriz de riesgo combinará los cuatro niveles de cada una de las tres variables frecuencia del iniciador, probabilidad de fallo de las barreras y consecuencias asociándolas a uno de los cuatro niveles definidos de riesgo.

Para el análisis de riesgo se aplica el siguiente esquema mostrado en la Figura 2:

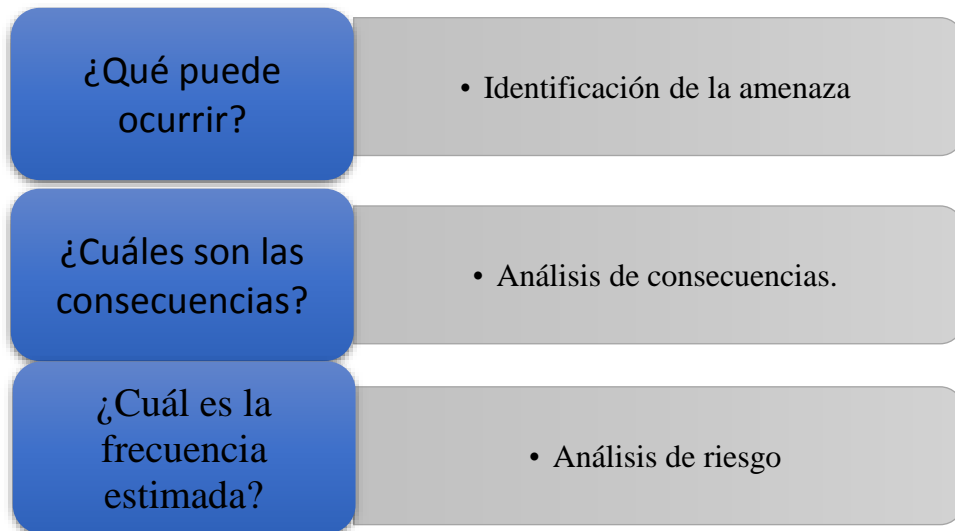


Figura 2. Esquema del proceso de análisis de riesgo. Fuente propia.

Las consecuencias es establecer los límites entre lo que se considerarían fallas aceptables de acuerdo a los resultados debido a los procesos y lo que se considera inaceptable y causa un daño producto de un error.

Las consecuencias indeseadas se dividen en los siguientes niveles:

- ✓ Muy alta
- ✓ Alta
- ✓ Media
- ✓ Baja

4.3.3. Sucesos Iniciadores

Los posibles riesgos asociados a cada suceso iniciador dependen de la frecuencia de ocurrencia del mismo, la resistencia de las barreras de seguridad y la severidad de las consecuencias de cada suceso iniciador.

El análisis de seguridad incluye la determinación de fallas o errores iniciadores y las consecuencias al momento de la ausencia de medidas de seguridad, y así mismo la identificación de las barreras que la instalación dispone para la mitigación de accidentes.

En la Tabla 1 se muestran los diferentes tipos de sucesos iniciadores, con sus respectivos niveles y las tres variables (frecuencia, probabilidad, consecuencia). A cada suceso iniciador se le asigna un nivel de consecuencia (C) una frecuencia de ocurrencia iniciadora (F) y una probabilidad (P).

Las tres variables presentadas anteriormente se clasifican en cuatro niveles; Para las variables frecuencia y probabilidad de fallos de barreras los niveles son: Alto (A), medio (M), bajo (B) y muy bajo (MB). Para la variable consecuencia los niveles son: Muy alto (MA), alto (A), medio (M) y bajo (B). Explicando la consecuencia de riesgo cada suceso iniciador.

Tabla 1 Sucesos Iniciadores.

| N° | Sucesos iniciadores | F | P | C | Consecuencia del riesgo |
|-----------|---|----------|----------|----------|---|
| 1 | Falta de mantenimiento de equipos | MB | B | A | Mal funcionamiento del equipo |
| 2 | Fallas del panel de control; Error en la señal del disparo | MB | B | MA | Peligro de irradiación al desconocer si el equipo está emitiendo radiación ionizante |
| 3 | Inundaciones | M | B | A | Daño en infraestructura y equipo |
| 4 | Sismos | A | A | MA | Daño en infraestructura y equipo, posibilidad de muerte en caso de que se encuentre personas en la sala |
| 5 | Filtraciones de agua | M | M | A | Daño en infraestructura y equipo |
| 6 | Errores humanos; repetición de los estudios por errores de posicionamiento. | A | A | M | Sobre exposición a los TOEs y a los pacientes |

| N° | Sucesos iniciadores | F | P | C | Consecuencia del riesgo |
|-----------|---|----------|----------|----------|---|
| 7 | Fallas de generador de Rayos X; Error en la corriente del tubo | B | MB | MA | Fallas latentes impredecibles, involucrando el daño completo del tubo de rayos X |
| 8 | Falla del sistema en los tiempos de exposición | B | MB | MA | Calentamiento excesivo del ánodo, deformaciones y aumento de la fricción de la rotación del ánodo |
| 9 | Personal no capacitado en el manejo de los equipos | MB | B | A | Daños accidentales del equipo |
| 10 | Conflicto de terrorismo | MB | B | MA | Pérdida o robo total del equipo, y daño a la sala, pérdida de información |
| 11 | Cambio de posicionamiento del equipo sin evaluación de las barreras primarias | MB | MB | A | Exposición a radiación superando los límites |
| 12 | Fallas eléctricas de la sala en general | B | B | A | Incendios provocados por corto circuitos |
| 13 | Falta de uso del dosímetro personal | B | M | M | Lectura errónea de dosis |
| 14 | Perdida de la información personal de los estudios realizados | B | B | A | Filtración de datos, pérdida de la información, manipulación de la información |

| N° | Sucesos iniciadores | F | P | C | Consecuencia del riesgo |
|----|------------------------------------|---|----|---|---|
| 15 | Falta de uso de medios protectores | B | M | A | Afectaciones a la salud. |
| 16 | Caída del suministro eléctrico | M | MB | A | Daño del equipo generados por el aumento drástico e instantáneo del voltaje |

4.3.4. Barreras o reductores

Las barreras son medidas de seguridad que nos permiten evitar, prevenir o detectar el avance de las fallas, se ha demostrado que la utilización de barreras, ayuda a prevenir los accidentes, ayudando a controlar y mitigar, y así mismo reducen las consecuencias de un accidente una vez ocurrido el suceso iniciador, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Barreras o reductores.

| N° | Suceso Iniciador | Barreras de seguridad |
|----|--|---|
| 1 | Falta de mantenimiento de equipos | Controles periódicos de los equipos |
| 2 | Fallas del panel de control; Error en la señal del disparo | Controles de calidad diarios, bitácoras de incidencias de la sala de rayos X, Monitoreo de área con detector de radiación para evaluar si el equipo está emitiendo radiación ionizante. |
| 3 | Inundaciones | NO EXISTEN |
| 4 | Sismos | Estructura antisísmica |
| 5 | Filtraciones de agua | NO EXISTEN |

| | | |
|----|---|--|
| 6 | Errores humanos; repetición de los estudios por errores de posicionamiento. | Cultura de seguridad sobre seguridad radiológica haciendo énfasis en la optimización de estudios. |
| 7 | Fallas del generador de Rayos X; Error en la corriente del tubo | Constante supervisión y mantenimiento por parte de los proveedores del equipo. |
| 8 | Falla del sistema en los tiempos de exposición | Constante supervisión y mantenimiento de los proveedores del equipo, y equipo técnico al notar variación de los tiempos de estudios. |
| 9 | Personal no capacitado en el manejo de los equipos | Capacitación para nuevos TOEs. |
| 10 | Conflicto de terrorismo | Seguridad proporcionada por medio de la institución para sobre guardar las instalaciones y equipos. |
| 11 | Cambio de posicionamiento del equipo sin evaluación de las barreras primarias | Realización de cálculo de blindaje, en base al nuevo posicionamiento del equipo y la incidencia de haz primario, y barreras primarias y secundarias. |
| 12 | Fallas eléctricas de la sala en general | Supervisión constante como parte de la cultura de seguridad del personal, y los encargados de mantenimiento. |
| 13 | Falta de uso del dosímetro personal | Constante supervisión de los encargados de sala para el uso de los dosímetros personales de los TOEs |
| 14 | Perdida de la información personal de los estudios realizados | Sistema de respaldo de los estudios, constante supervisión por parte del ingeniero en sistema, y encargado de la sala. |

| | | |
|----|------------------------------------|---|
| 15 | Falta de uso de medios protectores | Usos de medios protectores tales como delantales, gafas plomadas |
| 16 | Caída del suministro eléctrico | Paneles eléctricos con suministro de energía en casos de caídas en el suministro eléctrico principal. |

4.4. Matriz de Riesgo.

Una matriz de riesgo es una herramienta de control que ayuda a identificar los sucesos más importantes que pueden ocurrir en una institución. Ayuda a poder reconocer los niveles de riesgos en las actividades de exposición a radiación ionizantes. Igualmente, una matriz de riesgo permite evaluar la efectividad de una adecuada gestión y administración de los riesgos que pudieran impactar en una institución y los resultados que puedan. (Matriz de Riesgo, Evaluación y Gestión de Riesgo)

La matriz de riesgo debe ser una herramienta flexible que evalúe de manera integral el riesgo de una institución y los factores que desencadenan un peligro para estas, a partir de estos riesgos de los cuales se realiza un diagnóstico objetivo de la situación global de riesgo de una entidad. (Matriz de Riesgo, Evaluación y Gestión de Riesgo)

Una efectiva matriz de riesgo permite hacer comparaciones objetivas entre sucesos, áreas, procesos o actividades. Todo ello constituye un soporte conceptual y funcional para la evaluación de esta. (Matriz de Riesgo, Evaluación y Gestión de Riesgo)

Para evaluar lógicamente conforme este método hay que ver de manera secuencial en la que ocurren los accidentes, considerando múltiples errores de diferentes factores tanto humanos o de equipo con una frecuencia (f) determinada y aunque haya defensas o barreras, siempre existe una probabilidad (P) de que las barreras o defensas fallen, esto ocasiona un accidente con consecuencias determinadas (C).

Este método nos permite calcular el riesgo. (Organismo Internacional de Energía Atómica)

Las 3 variable presentadas anteriormente se clasifican en 4 niveles: Para la variable frecuencia y probabilidad de fallo de barreras los niveles son: Alto (A), Medio (M), Bajo (B), y muy bajo (MB). Para la variable consecuencia los niveles son: Muy alto (MA), Alto (A), Medio (M), Bajo (B).

En la Figura 3 se presentan los resultados del tipo de riesgo asociado a cada evento iniciador, a partir de los niveles asociados a cada variable.

Figura 3 Resultados del tipo de riesgo de cada evento iniciador

| | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| f _A | P _A | C _{MA} | R _{MA} |
| f _M | P _A | C _{MA} | R _{MA} |
| f _B | P _A | C _{MA} | R _A |
| f _{MB} | P _A | C _{MA} | R _A |
| f _A | P _M | C _{MA} | R _{MA} |
| f _M | P _M | C _{MA} | R _A |
| f _B | P _M | C _{MA} | R _A |
| f _{MB} | P _M | C _{MA} | R _A |
| f _A | P _B | C _{MA} | R _A |
| f _M | P _B | C _{MA} | R _A |
| f _B | P _B | C _{MA} | R _M |
| f _{MB} | P _B | C _{MA} | R _M |
| f _A | P _{MB} | C _{MA} | R _A |
| f _M | P _{MB} | C _{MA} | R _M |
| f _B | P _{MB} | C _{MA} | R _M |
| f _{MB} | P _{MB} | C _{MA} | R _M |

| | | | |
|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| f _A | P _A | C _A | R _{MA} |
| f _M | P _A | C _A | R _A |
| f _B | P _A | C _A | R _A |
| f _{MB} | P _A | C _A | R _A |
| f _A | P _M | C _A | R _A |
| f _M | P _M | C _A | R _A |
| f _B | P _M | C _A | R _A |
| f _{MB} | P _M | C _A | R _M |
| f _A | P _B | C _A | R _A |
| f _M | P _B | C _A | R _A |
| f _B | P _B | C _A | R _M |
| f _{MB} | P _B | C _A | R _M |
| f _A | P _{MB} | C _A | R _M |
| f _M | P _{MB} | C _A | R _M |
| f _B | P _{MB} | C _A | R _B |
| f _{MB} | P _{MB} | C _A | R _B |

| | | | |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| f _A | P _A | C _M | R _A |
| f _M | P _A | C _M | R _A |
| f _B | P _A | C _M | R _M |
| f _{MB} | P _A | C _M | R _M |
| f _A | P _M | C _M | R _A |
| f _M | P _M | C _M | R _M |
| f _B | P _M | C _M | R _M |
| f _{MB} | P _M | C _M | R _M |
| f _A | P _B | C _M | R _M |
| f _M | P _B | C _M | R _M |
| f _B | P _B | C _M | R _M |
| f _{MB} | P _B | C _M | R _M |
| f _A | P _{MB} | C _M | R _M |
| f _M | P _{MB} | C _M | R _M |
| f _B | P _{MB} | C _M | R _B |
| f _{MB} | P _{MB} | C _M | R _B |

| | | | |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| f _A | P _A | C _B | R _M |
| f _M | P _A | C _B | R _M |
| f _B | P _A | C _B | R _M |
| f _{MB} | P _A | C _B | R _M |
| f _A | P _M | C _B | R _M |
| f _M | P _M | C _B | R _M |
| f _B | P _M | C _B | R _B |
| f _{MB} | P _M | C _B | R _B |
| f _A | P _B | C _B | R _B |
| f _M | P _B | C _B | R _B |
| f _B | P _B | C _B | R _B |
| f _{MB} | P _B | C _B | R _B |
| f _A | P _{MB} | C _B | R _B |
| f _M | P _{MB} | C _B | R _B |
| f _B | P _{MB} | C _B | R _B |
| f _{MB} | P _{MB} | C _B | R _B |

4.4.1. Criterios para asignar frecuencias, probabilidad de fallo y consecuencias

Frecuencia alta (fA): El suceso ocurre frecuentemente.

Frecuencia media (fM): El suceso ocurre ocasionalmente.

Frecuencia baja (fB): Es poco usual que ocurra el suceso iniciador, aunque puede haber ocurrido.

Frecuencia muy baja (fMB): Es muy raro que ocurra el suceso iniciador, aunque no se tenga conocimientos de que haya ocurrido se considera que podría suceder.

Probabilidad alta (PA): No hay ninguna barrera de seguridad.

Probabilidad media (PM): Hay una o dos barreras de seguridad.

Probabilidad baja (PB): Hay tres barreras de seguridad.

Probabilidad muy baja (PMB): Hay cuatro o más barreras de seguridad.

Consecuencias muy altas, catastróficas o muy graves (CMA): Estas provocan efectos deterministas severos siendo hasta mortales, aunque puede causar un daño irreparable que reduce la calidad de vida de las personas afectadas.

Consecuencias altas (CA): Provocan efectos deterministas, pero, no representan un peligro para la vida y no producen daños permanentes a la calidad de vida de las personas afectadas.

Consecuencia media (CM): Estas provocan exposiciones anómalas o no previstas como normales que están por debajo de los umbrales de los efectos deterministas sólo representan un aumento de la probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos. Estas consecuencias son por superar las restricciones o límites de dosis establecidos.

Consecuencias bajas (CB): No producen efectos sobre los trabajadores y público, pero se degradan las medidas de seguridad.

Para realizar la matriz de riesgo definimos ciertos términos indispensables para la realización de estas:

- **Sucesos iniciadores:** Es todo fallo de equipo, error humano o suceso externo, que conduce a una exposición accidental si fallan las medidas previstas para prevenirlas.
- **Secuencia accidental:** Es una cadena de acontecimientos que comienza con el suceso iniciador y muy probablemente termine en accidente. La secuencia accidental incluye el suceso iniciador, el fallo de las medidas de seguridad, la exposición accidental y la manifestación de posibles consecuencias.
- **Consecuencias:** Son los posibles daños ocasionados por el suceso iniciador cuando ocurrió un fallo de todas las defensas y medidas de seguridad. En la clasificación de las consecuencias se tomarán en cuenta la severidad de los efectos y el número de personas afectadas. La severidad puede abarcar desde una simple pérdida de la defensa en profundidad son efectos negativos para la salud de las personas, hasta la muerte de la persona irradiada.

Para la elaboración de una matriz de riesgos y evaluación de la seguridad basada en la gestión para la mitigación de los mismos, se aplican diferentes instrumentos tales como observación, encuestas y revisión documental en la instalación para recopilar información.

Una vez recopilada la información y procesados los datos, se registra la información en el siguiente cuadro:

4.4.2. Matriz de Riesgos (Evaluación de la Seguridad Radiológica)

Para la Estimación de Riesgo el enfoque que se utilizó, fue un enfoque cualitativo haciendo una construcción de una matriz de riesgo en base diferentes combinaciones de las variables F, P y C posibles junto con su riesgo R resultante del suceso iniciador, Por cada frecuencia, probabilidad y consecuencia se muestra su nivel de riesgo correspondiente junto con la consecuencia de cada uno.

Para esta matriz se determinó un puntaje para las consecuencias indeseadas determinada por un valor de 1 al 5 siendo el puntaje más alto categorizado como la mayor consecuencia, a continuación, presentamos la categoría según su puntaje determinado: Muy alta= 5, Alta=4, Media= 3, Baja=2, Muy baja=1 dando así el valor final de cada suceso iniciador en base al promediado de estos. Así mismo la matriz mostrada en la Tabla 3, incluye las barreras que encontramos presentes en la sala de rayos X.

Tabla 3 Matriz de riesgo

| No. | SUCESOS INICIADORES | FUENTE DE RIESGO | CONSECUENCIA DE RIESGO | FRECUENCIA | | PROBABILIDAD | | CONSECUENCIAS | | NIVELES DE RIESGO RESULTANTE | | BARRERAS |
|-----|--|------------------|--|------------|-------|--------------|-------|---------------|-------|------------------------------|-------|---|
| | | | | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | RIESGO | VALOR | |
| 1 | Falta de mantenimiento de equipos | Interna | Mal funcionamiento del equipo | MB | 1 | B | 2 | A | 4 | M | 2.3 | Controles periódicos de los equipos. |
| 2 | Fallas del panel de control; Error en la señal del disparo | Interna | Peligro de irradiación al desconocer si el equipo está emitiendo radiación ionizante | MB | 1 | B | 2 | MA | 5 | M | 2.6 | Controles de calidad diarios, bitácoras de incidencias de la sala de rayos x, Monitoreo de área con detector de radiación para evaluar si el equipo está emitiendo radiación ionizante. |

| No. | SUCESOS INICIADORES | FUENTE DE RIESGO | CONSECUENCIA DE RIESGO | FRECUENCIA | | PROBABILIDAD | | CONSECUENCIAS | | NIVELES DE RIESGO RESULTANTE | | BARRERAS |
|-----|----------------------|------------------|---|------------|-------|--------------|-------|---------------|-------|------------------------------|-------|------------------------|
| | | | | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | RIESGO | VALOR | |
| 3 | Inundaciones | Externa | Daño en infraestructura y equipo | M | 3 | B | 2 | A | 5 | A | 3.3 | NO EXISTEN |
| 4 | Sismos | Externa | Daño en infraestructura y equipo, posibilidad de muerte en caso de que se encuentre personas en la sala | A | 4 | A | 4 | MA | 5 | MA | 4.3 | Estructura antisísmica |
| 5 | Filtraciones de agua | Externa | Daño en infraestructura y equipo | M | 3 | M | 3 | A | 4 | A | 3.3 | NO EXISTEN |

| No. | SUCESOS INICIADORES | FUENTE DE RIESGO | CONSECUENCIA DE RIESGO | FRECUENCIA | | PROBABILIDAD | | CONSECUENCIAS | | NIVELES DE RIESGO RESULTANTE | | BARRERAS |
|-----|---|------------------|---|------------|-------|--------------|-------|---------------|-------|------------------------------|-------|---|
| | | | | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | RIESGO | VALOR | |
| 6 | Errores humanos; repetición de los estudios por errores de posicionamiento. | Interna | Sobre exposición a los TOEs y a los pacientes | A | 4 | A | 4 | M | 3 | A | 3.6 | Cultura de seguridad sobre seguridad radiológica haciendo énfasis en la optimización de estudios. |
| 7 | Fallas de generador de Rayos X; Error en la corriente del tubo | Interna | Fallas latentes impredecibles, involucrando el daño completo del tubo de rayos X. | B | 2 | MB | 1 | MA | 5 | M | 2.6 | Constante supervisión y mantenimiento de los proveedores del equipo |

| No. | SUCESOS INICIADORES | FUENTE DE RIESGO | CONSECUENCIA DE RIESGO | FRECUENCIA | | PROBABILIDAD | | CONSECUENCIAS | | NIVELES DE RIESGO RESULTANTE | | BARRERAS |
|-----|--|------------------|---|------------|-------|--------------|-------|---------------|-------|------------------------------|-------|---|
| | | | | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | RIESGO | VALOR | |
| 8 | Falla del sistema en los tiempos de exposición | Interna | Calentamiento o excesivo del ánodo, deformaciones y aumento de la fricción de la rotación del ánodo | B | 2 | MB | 1 | MA | 5 | M | 2.6 | Constante supervisión y mantenimiento de los proveedores del equipo, y equipo técnico al notar variación de los tiempos de estudios |
| 9 | Personal no capacitado en el manejo de los equipos | Interna | Daños accidentales del equipo | MB | 1 | B | 2 | A | 4 | M | 2.3 | Asegurar que el personal cumple con los requisitos necesarios para la utilización de los equipos, y así mismo con las capacitaciones adecuadas para trabajar con generadores de rayos X |

| No. | SUCESOS INICIADORES | FUENTE DE RIESGO | CONSECUENCIA DE RIESGO | FRECUENCIA | | PROBABILIDAD | | CONSECUENCIAS | | NIVELES DE RIESGO RESULTANTE | | BARRERAS |
|-----|---|------------------|---|------------|-------|--------------|-------|---------------|-------|------------------------------|-------|--|
| | | | | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | RIESGO | VALOR | |
| 10 | Conflicto de terrorismo | Externa | Pérdida o robo total del equipo, y daño a la sala, perdida de información | MB | 1 | B | 2 | MA | 5 | M | 2.6 | Seguridad proporcionada por medio de la institución para sobreguardar las instalaciones y equipos |
| 11 | Cambio de posicionamiento del equipo sin evaluación de las barreras primarias | Interna | Cambio de la estructura | MB | 1 | MB | 1 | A | 4 | B | 2 | Realización de cálculo de blindaje, en base al nuevo posicionamiento del equipo y la incidencia de haz primario, y barreras primarias y secundarias. |

| No. | SUCESOS INICIADORES | FUENTE DE RIESGO | CONSECUENCIA DE RIESGO | FRECUENCIA | | PROBABILIDAD | | CONSECUENCIAS | | NIVELES DE RIESGO RESULTANTE | | BARRERAS |
|-----|---|------------------|--|------------|-------|--------------|-------|---------------|-------|------------------------------|-------|--|
| | | | | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | RIESGO | VALOR | |
| 12 | Fallas eléctricas de la sala en general | Interna | Incendios provocados por corto circuitos | B | 2 | B | 2 | A | 4 | M | 2.6 | Supervisión constante como parte de la cultura de seguridad del personal, y los encargados de mantenimiento. |
| 13 | Falta de uso del dosímetro personal | Interna | Lectura errónea de dosis | B | 2 | M | 3 | M | 3 | M | 2.6 | Constante supervisión de los encargados de sala para el uso de los dosímetros personales de los TOEs |
| 14 | Perdida de la información personal de los estudios realizados | Interna | Filtración de datos, pérdida de la información, manipulación de la información | B | 2 | B | 2 | A | 4 | M | 2.6 | Sistema de respaldo de los estudios, constante supervisión por parte del ingeniero en sistema, y encargado de la sala. |

| No. | SUCESOS INICIADORES | FUENTE DE RIESGO | CONSECUENCIA DE RIESGO | FRECUENCIA | | PROBABILIDAD | | CONSECUENCIAS | | NIVELES DE RIESGO RESULTANTE | | BARRERAS |
|-----|------------------------------------|------------------|---|------------|-------|--------------|-------|---------------|-------|------------------------------|-------|---|
| | | | | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | CLASF | VALOR | RIESGO | VALOR | |
| 15 | Falta de uso de medios protectores | Interna | Afectaciones a la salud. | B | 2 | M | 3 | A | 4 | A | 3 | Usos de medios protectores tales como delantales, gafas plomadas. |
| 16 | Caída del suministro eléctrico | Externa | Daño del equipo generados por el aumento drástico e instantáneo del voltaje | M | 3 | MB | 1 | A | 4 | M | 2.6 | Paneles eléctricos con suministro de energía en casos de caídas en el suministro eléctrico principal. |

4.4.3. Análisis de la Seguridad

4.4.3.1. Análisis de cultura de Seguridad

El análisis de la cultura de seguridad se hizo en base a la planteado en los elementos básicos de la cultura de la seguridad en las organizaciones que trabajan con equipos generadores de rayos X, el cual se hizo con un instrumento de Evaluación cuantitativa, mostrado en anexos 2, donde de cada elemento básico se desglosaron sub elementos complementarios los cuales fueron de ayuda para una mejor recopilación de datos a través de entrevista a los TOEs.

4.4.3.1.1. Resultados de la aplicación del instrumento

En base al instrumento de evaluación, fue obtenido un resultado del 80% como se visualiza en la Figura 4, concerniente a la cultura de seguridad de la sala de rayos X. Fueron evaluados diferentes aspectos en el marco de la cultura de seguridad de los TOEs, a través de las diferentes entrevistas al personal ocupacional de la sala, y con evaluación física y documental de manera visual y objetiva.



Figura 4 Resultados del nivel de cultura de seguridad

En las entrevistas realizadas con base a los sub elementos relacionados con los elementos básicos de la cultura de seguridad, se evidenciaron algunos aspectos que deben fortalecerse, por lo cual, el nivel de cultura de seguridad no llegó al 100 %, a continuación se presentan los aspectos que deben atenderse en la institución para elevar el nivel de cultura de seguridad.

- **Prioridad de la seguridad:** En este elemento fueron desglosados 10 subelementos que nos ayudaron a evaluar la prioridad de seguridad con un puntaje final de 5 puntos como meta, la cual nos dio un logro de 3.8 puntos, visualizados en anexos 3, en el cual encontramos debilidades en los conflictos de prioridad con respecto a la seguridad y la detención de trabajo, como se muestra en la Figura 5, por lo cual recomendamos a la institución tener como prioridad la seguridad de sus TOEs y la detención inmediata de cualquier tipo de actividad con el equipo de rayos X en caso de alguna incidencia, para sobre guardar la seguridad de todo el personal y pacientes.



Figura 5 Resultados de la prioridad de la seguridad

- **Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección respecto de la seguridad:** En este elemento fueron desglosados 9 subelementos que nos ayudaron a evaluar el liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección respecto de la seguridad con un puntaje de 6 puntos como meta, la cual nos dio un logro 3.6 puntos, visualizados en anexos 4, en las cuales se encontraron mayores debilidades en conflictos de prioridad con respecto a la seguridad, como se muestra en la Figura 6, por lo cual recomendamos tener presente las recomendaciones brindadas anteriormente en el primer elemento básico con respecto a la prioridad seguridad.

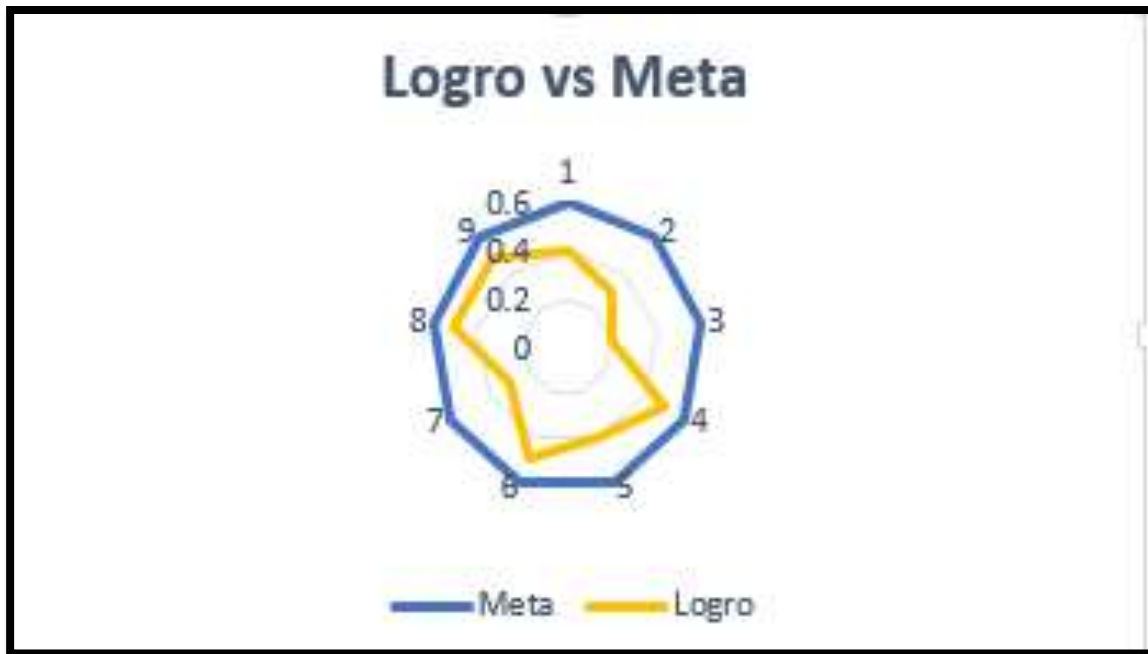


Figura 6 Resultados de Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección respecto de la seguridad

- **Identificación y solución oportunas de los problemas de seguridad:** En este elemento fueron desglosados 6 subelementos que nos ayudaron a evaluar la identificación y solución oportunas de los problemas de seguridad con un puntaje de 5.4 puntos como meta, la cual nos dio un logro 3.6 puntos, visualizados en anexos 5, en la cual se encontraron mayores debilidades en los mecanismos de identificación oportuna de los problemas de seguridad, como se muestra en la Figura 7, es por ello que se recomienda realizar constantes capacitaciones sobre la vigilancia y detección de manera anticipada a posibles accidentes e incidencias en la sala.

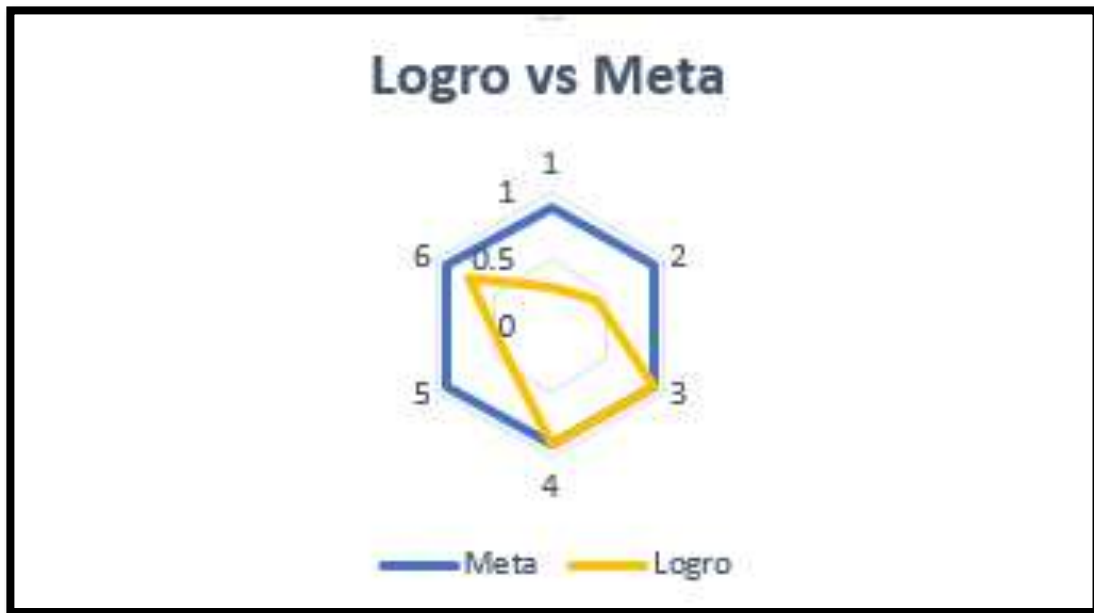


Figura 7 Resultados de Identificación y solución oportunas de los problemas de seguridad

- **Enfoque permanente en la seguridad:** En este elemento fueron desglosados 6 subelementos que nos ayudaron evaluar un enfoque permanente en la seguridad con un puntaje de 5.4 puntos como meta, la cual nos dio un logro de 4.4 puntos, visualizados en anexos 6, en las cuales se encontraron mayores debilidades en las consideraciones permanentes de la seguridad y las gestiones de cambio, como se muestra en la Figura 8, para estas incidencias recomendamos a la institución velar por la seguridad de sus trabajadores constantemente para lograr mantener un correcto enfoque permanente en la seguridad.

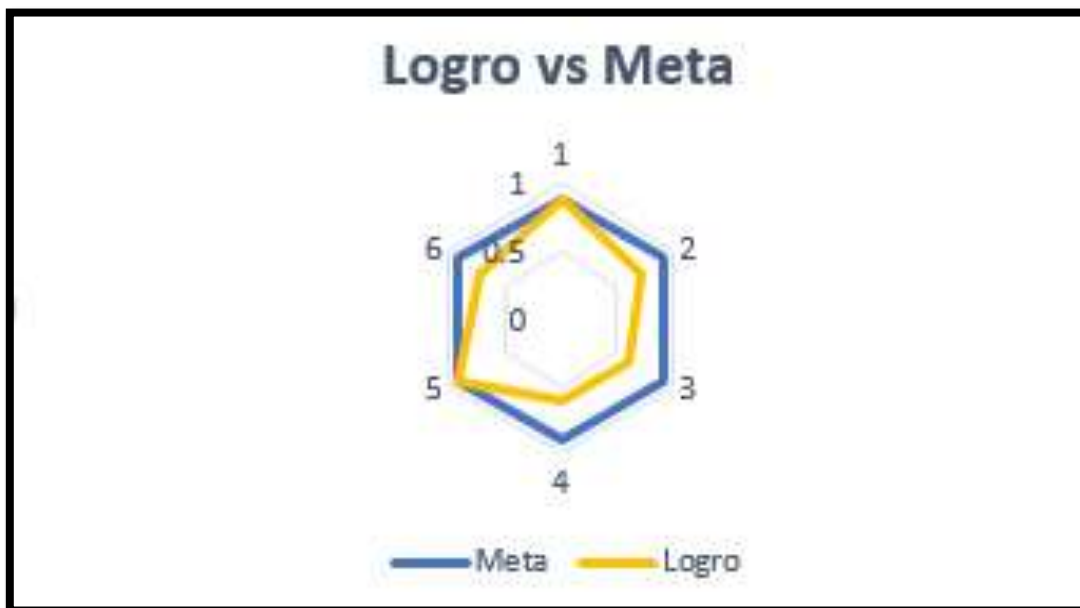


Figura 8 Resultados del Enfoque permanente en la seguridad

- **Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individuales con respecto a la seguridad:** En este elemento fueron desglosados 9 subelementos que nos ayudaron evaluar la responsabilidad, involucramiento y comportamiento individuales con respecto a la seguridad con un puntaje de 5.4 puntos como meta, la cual nos dio un logro de 4.1 puntos, visualizados en anexos 7, en las cuales se encontraron mayores debilidades en sistema de premiación, tendencias de la premiación por seguridad y consideración de la seguridad física de fuentes como responsabilidad individual del personal e involucramiento del personal en su mejora, como se muestra en la Figura 9, se le recomienda a la institución incentivar a una buena cultura de seguridad a los trabajadores, para lograr un ambiente seguro de trabajo, así mismo un compromiso en el cuidado y manejo de los equipos.

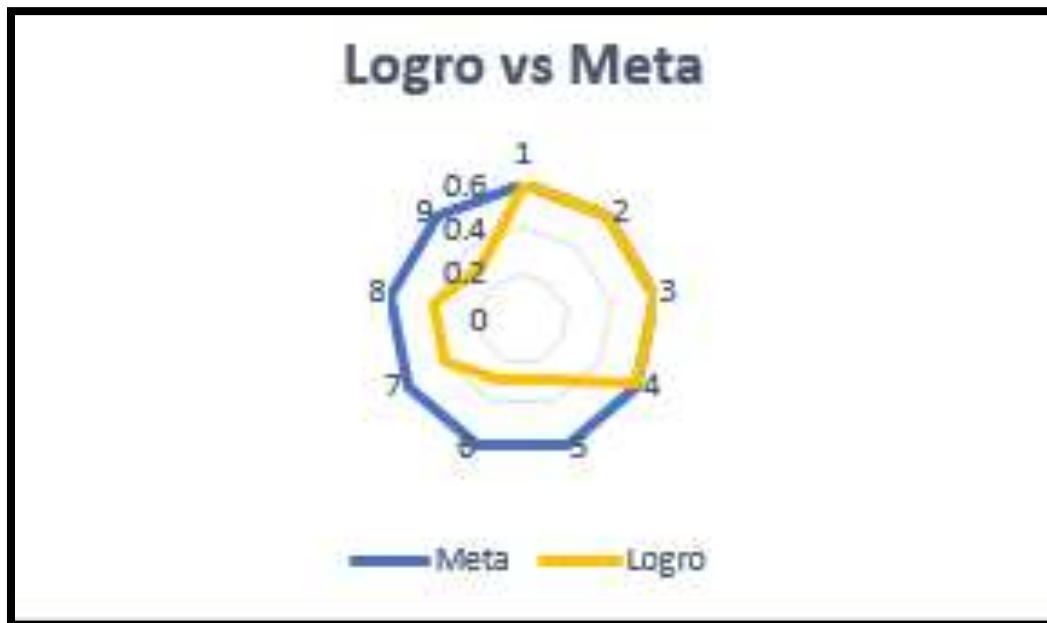


Figura 9 Resultados de Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individuales con respecto a la seguridad

- **Comunicación eficaz en materia de seguridad:** En este elemento fueron desglosados 6 subelementos que nos ayudaron evaluar la comunicación eficaz en materia de seguridad con un puntaje de 5.4 como meta, la cual nos dio un logro de 5.4 puntos, visualizados en anexos 8, dando un resultado completamente satisfactorio en este elemento, como se muestra en la Figura 10.

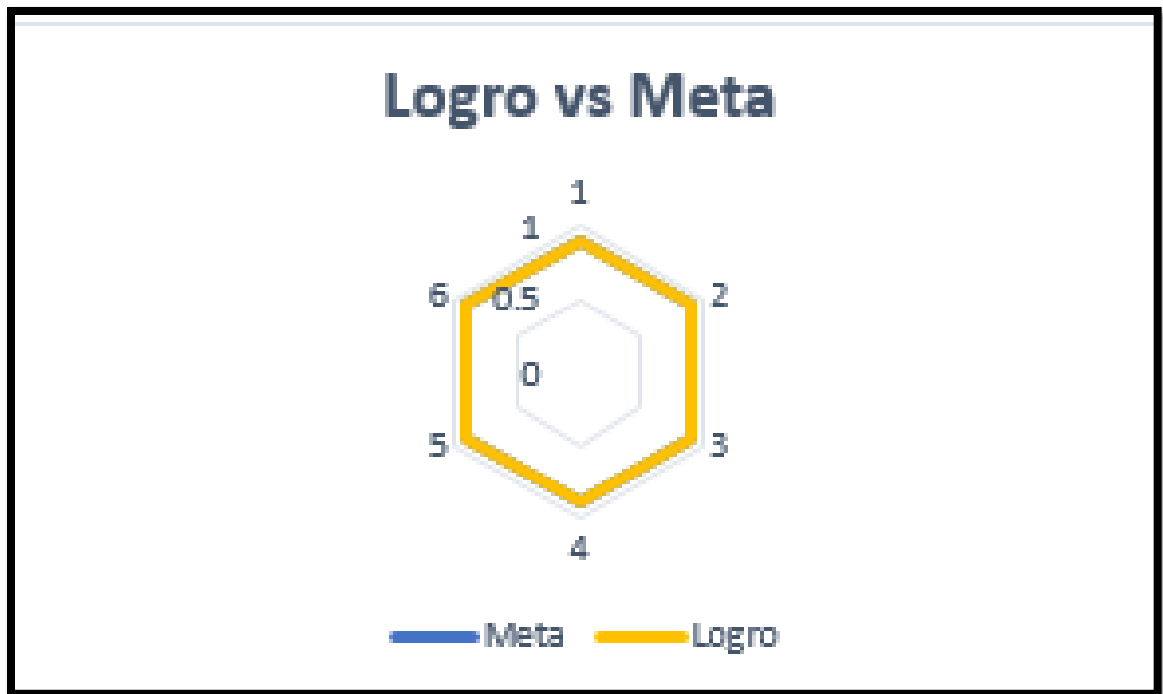


Figura 10 Resultados de Comunicación eficaz en materia de seguridad

- **Libre notificación de información relativa a la seguridad:** En este elemento fueron desglosados 10 subelementos que nos ayudaron evaluar la libre notificación de información relativa a la seguridad con un puntaje a 5 puntos como meta, la cual nos dio un logro de 4 puntos en total, visualizados en anexos 9, en las cuales se encontraron como debilidad mayor en el respaldo de la Alta Dirección al reporte por parte de los trabajadores, como se muestra en la Figura 11, es por ello que a la alta dirección a crear un ambiente laboral se confianza y seguridad con los encargados de la institución para lograr afianzar lazos de comunicación para los reportes de las incidencias.

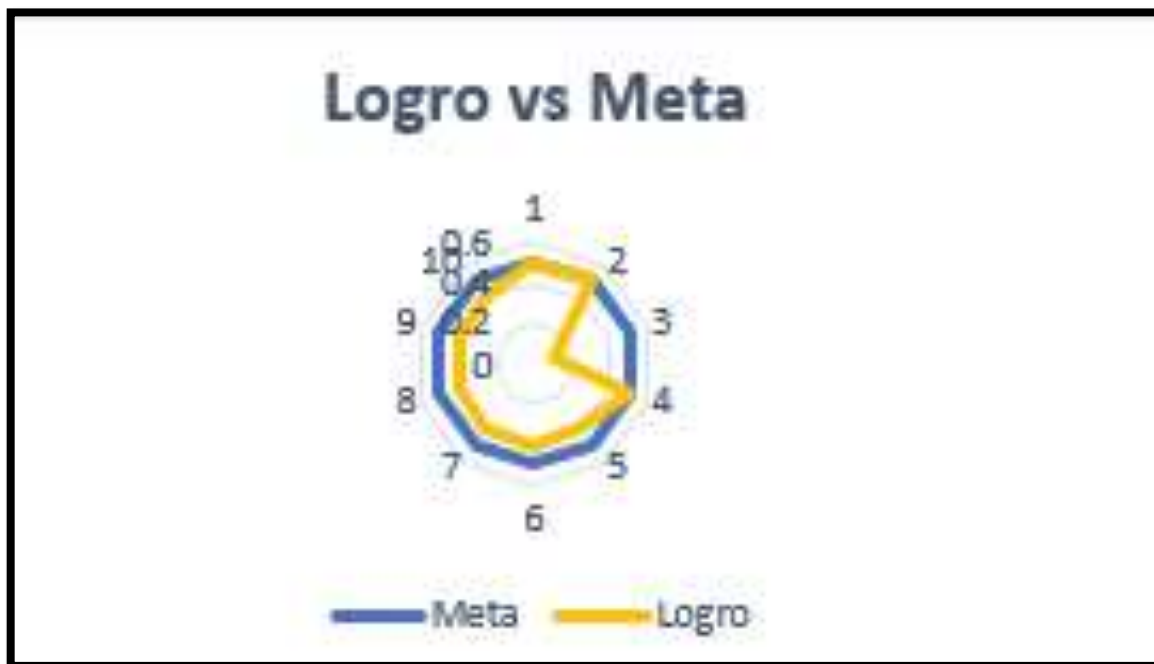


Figura 11 Resultados de Libre notificación de información relativa a la seguridad

- **Tratamiento justo de los comportamientos individuales respecto de la seguridad:** En este elemento fueron desglosados 5 subelementos que nos ayudaron evaluar el tratamiento justo de los comportamientos individuales respecto de la seguridad con un puntaje total a 4.5 puntos como meta, obteniendo un logro de 2.2 puntos, visualizados en anexos 10, donde encontramos como debilidades en evidencias de enfoque centrado en la búsqueda de culpables y visión de los errores en la organización, como se muestra en la Figura 12, es por ellos que recomendamos mayor atención a problemas sucedidos con el personal, promoviendo así constante capacitaciones de ética y cultura de seguridad, para así evitar incidencias dentro de la institución.

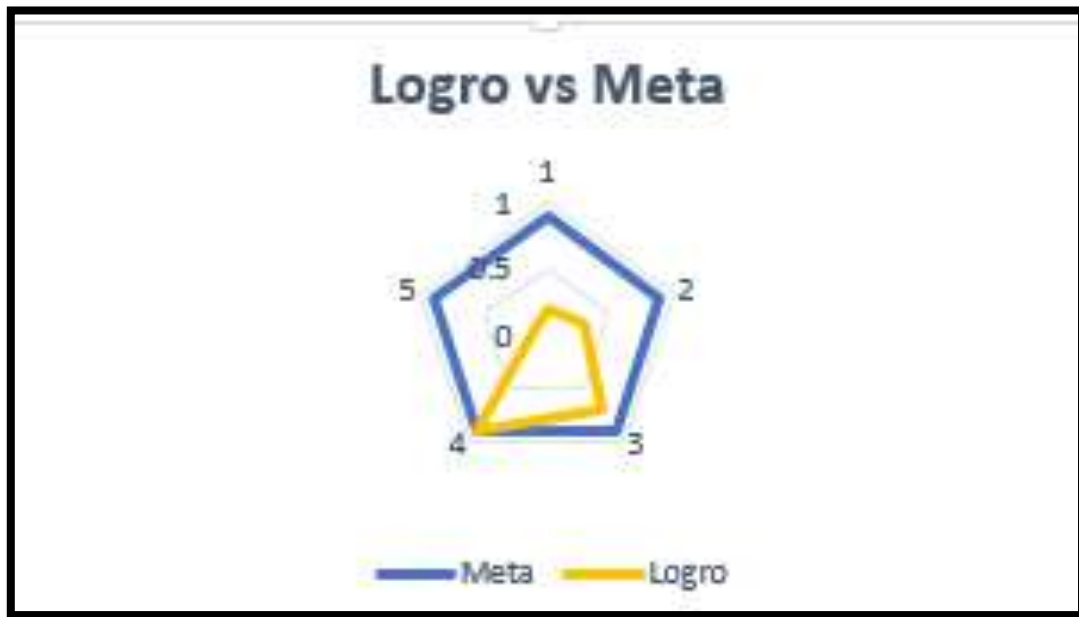


Figura 12 Resultados de Tratamiento justo de los comportamientos individuales respecto de la seguridad

- **Aprendizaje organizativo continuo sobre seguridad:** En este elemento fueron desglosados 13 subelementos que nos ayudaron evaluar el aprendizaje organizativo continuo sobre la seguridad con un puntaje a 5.2 puntos, obteniendo un logro de 4.7 puntos, visualizados en anexos 11, donde encontramos como mayores debilidades el aprendizaje a partir de lo sucedido a otros, la investigación de sucesos radiológicos o de seguridad física, análisis organizacional proactivo, compartir experiencias con otras Organizaciones, como se muestra en la Figura 13, por esto se recomienda que la institución insista en la capacitación a su personal a través de investigaciones de sucesos ocurridos, para así evitar la repetición de los mismos, por ende la colaboración con otras instituciones para afianzar los conocimientos y experiencias adquiridas debe tenerse en consideración.

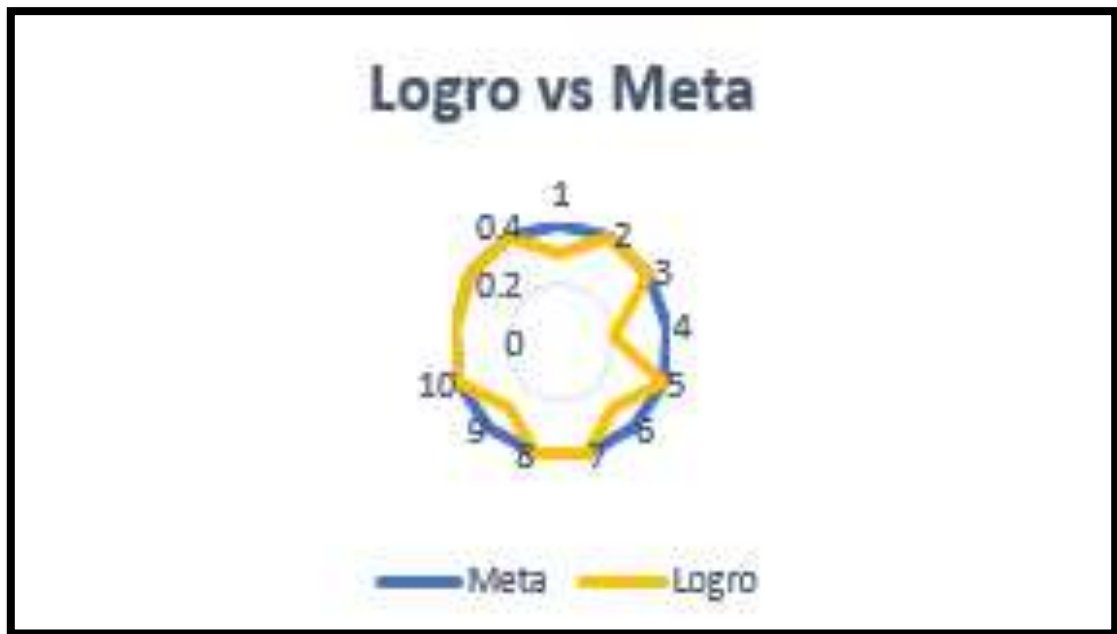


Figura 13 Resultados de Aprendizaje organizativo continuo sobre seguridad

- **Ambiente de confianza y colaboración en relación con la seguridad:** En este elemento fueron desglosados 9 subelementos que nos ayudaron evaluar el ambiente de confianza y colaboración en relación con la seguridad con un puntaje a 5.4 puntos, obteniendo como logro 4.3 puntos, visualizados en anexos 12, donde encontramos como mayores debilidades en Habilidades mentales (no-técnicas) del personal (anticiparse a errores, ensayar recuperaciones, mantenerse alerta, conciencia de situación, como se muestra en la Figura 14, es por ello que recomendamos que la institución realice simulacros para que el personal sepa actuar ante cualquier incidencia, convirtiéndose en un sistema de detección oportuna como parte de un plan de emergencia.

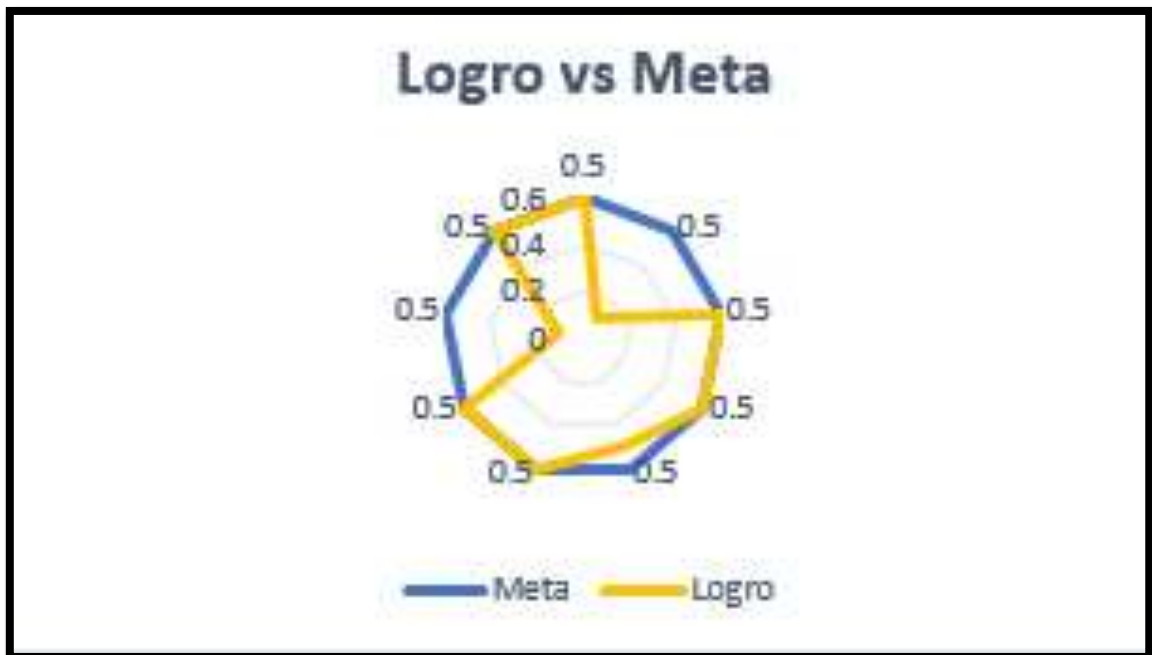


Figura 14 Resultados de Ambiente de confianza y colaboración en relación con la seguridad

Obteniendo como resultado un logro de 4.3 puntos de 5.4 puntos que es la meta final, basados en los 10 elementos básicos de la cultura de la seguridad como se muestra en la Figura 15, donde encontramos como mayores debilidades en los elementos de tratamiento justo de los comportamientos individuales sobre seguridad.

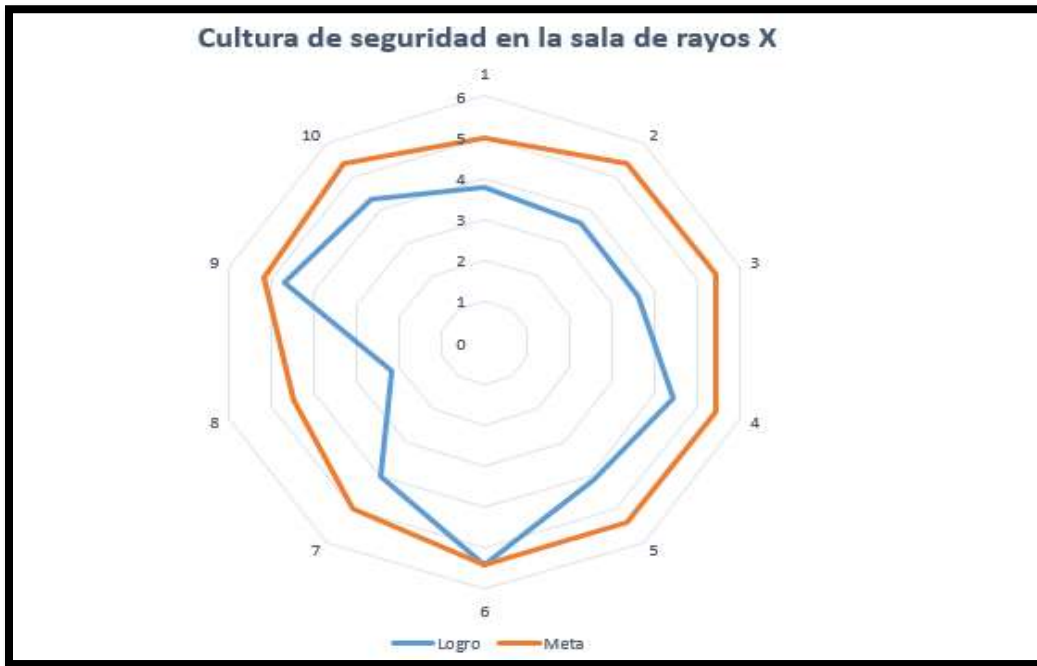


Figura 15 Resultado del logro final de la evaluación de cultura de seguridad

En este gráfico se observa la variación de los elementos de seguridad según su puntuación en el cual la gráfica de color naranja muestra la meta de 100% de cultura de seguridad que la sala debería de cumplir, y el gráfico de color azul muestra el logro de la sala en base a los 10 elementos básicos de cultura de seguridad.

Con base a la guía (IAEA- TECDOC, 1995), es posible clasificar a la institución en un **Nivel de progreso avanzado**, basándose en avances significativos de los 10 elementos básicos de cultura de seguridad, fundamentados con enfoques proactivos y de aprendizaje continuo, clasificando a la institución con un grado de responsabilidad alto, debido a la poca reproducibilidad de accidentes e incidentes que en ella se presentan.

4.4.3.2. Análisis de la matriz de riesgo

En base a la guía (Ministerio de Salud, 2017) se realizó el Triángulo de Riesgo mostrado en la Ilustración 1, y se clasificó los sucesos iniciadores en tres Niveles (Región Inaceptable, Región Tolerable y Región Ampliamente Aceptable) presentados a continuación con los valores resultante de la matriz de riesgo de 1 a 2 región ampliamente aceptables (color verde), de 2.1 a 3 región tolerable (color amarillo) y de 3.1 a 5 región inaceptable (color rojo).

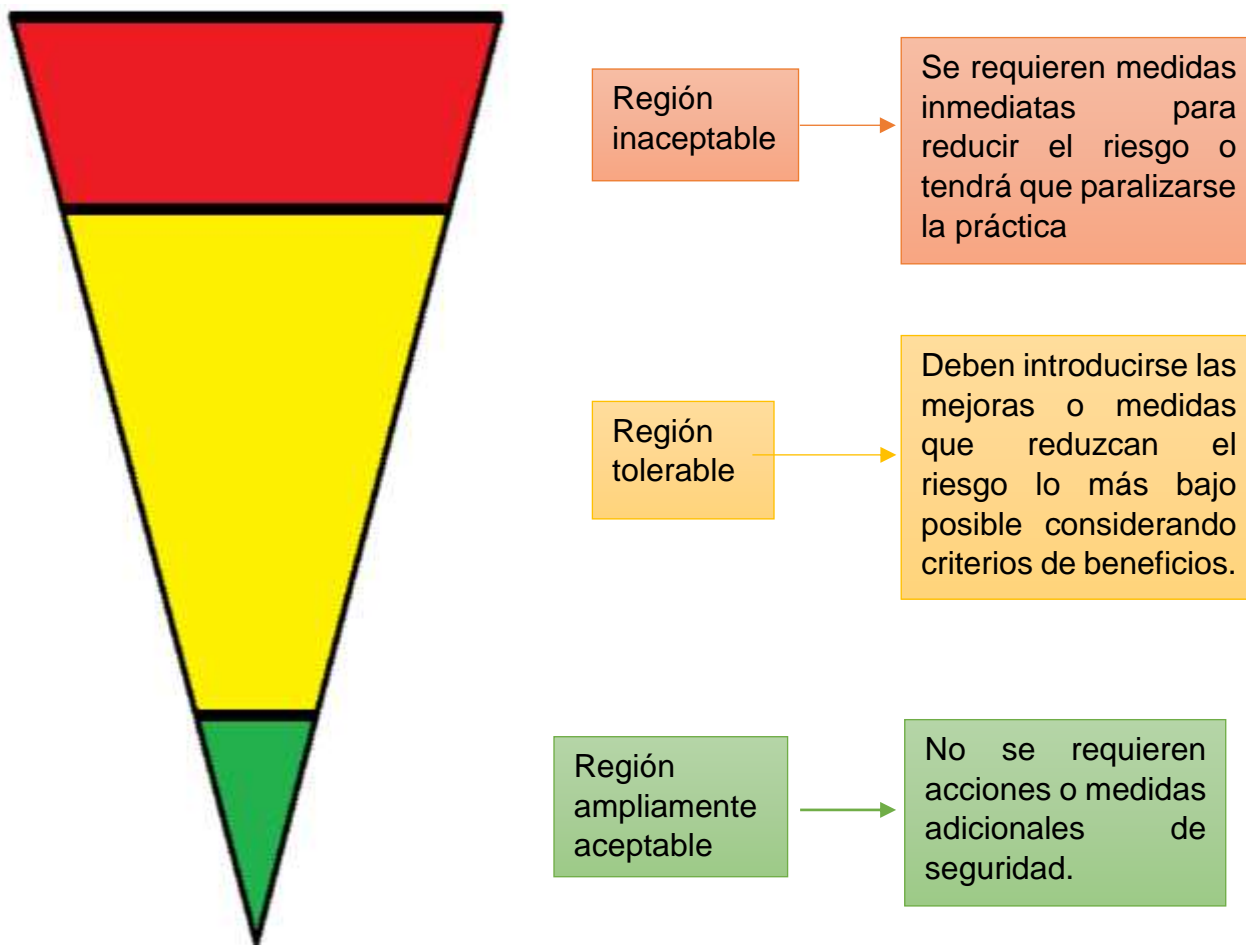


Ilustración 1 Triangulo de riesgo

A continuación, se presenta a través de la tabla 4 los resultados obtenidos;

Tabla 4 Resultados de triangulo de riesgo, basados en sucesos iniciadores.

| REGIÓN INACEPTABLE | REGIÓN TOLERABLE | REGIÓN AMPLIAMENTE ACEPTABLE |
|---|---|--|
| Inundaciones | Falta de mantenimiento de equipos | Cambio de posicionamiento del equipo, sin evaluación de las barreras primarias |
| Sismos | Falla del panel de control; error en la señal del disparo | |
| Filtraciones de agua | Fallas de generador de rayos X, error en la corriente del tubo. | |
| Errores humanos; repetición de los estudios por errores de posicionamiento. | Falla de sistema en los tiempos de exposición | |
| Falta de uso de medios protectores. | Personal no capacitado en el manejo de los equipos | |
| | Conflictos de terrorismos | |
| | Fallas eléctricas de la sala en general. | |

| | | |
|--|---|--|
| | Falta de uso del dosímetro personal | |
| | Perdida de la información personal de los estudios realizados | |
| | Caída del suministro eléctrico. | |

De acuerdo a nuestro análisis realizado hemos encontrado 5 sucesos iniciadores de Riesgo Alto evidenciado en la Matriz y categorizado en la Tabla 4 por lo cual se recomienda realizar una capacitación con el personal sobre medios protectores y la importancia de la optimización de los estudios basados en el principio ALARA "Tan bajo como sea razonablemente posible", esto para evitar exposición injustificada a los pacientes.

Del mismo modo recomendamos tomar en cuenta la matriz para lograr evitar el deterioro del equipo generador de rayos X, lo cual trae como consecuencia la detención del trabajo en la sala y por ende evitar una mayor acumulación de este.

Así mismo recomendamos para la región inaceptable, los cuales de manera evidente se pueden prever debido a que los mismo son consecuencia de errores humanos, y falta de mantenimiento en dicha sala, se debe establecer un método para mitigar los sucesos externos tales como inundaciones, y sismos, como recomendación para este tipo de sucesos iniciadores se deben establecer barreras en el plan de emergencia, en casos de que la sala sea afectada por una inundación, o bien el deterioro de su infraestructura en caso de un sismo.

Se ha puesto en evidencia que la mayor parte de sucesos iniciadores están en la región tolerable, por ende, recomendamos a la institución fortalecer las barreras existentes las cuales sirven como reductores para evitar que estos sucesos bajen a la región inaceptable. De igual manera incentivamos a mantener una cultura de

prevención, con diferentes planes, barreras, y capacitaciones para que la institución logre un nivel ampliamente aceptable en sucesos iniciadores ya identificados.

También recomendamos a la institución a explorar la posibilidad de ampliar esta evaluación de seguridad en todas las áreas en las que se realicen actividades con radiaciones ionizantes, esta con el fin de sobre guardar la seguridad del personal ocupacionalmente expuestos, pacientes y público.

V. Conclusiones

Al hacer uso de los 10 elementos básicos del informe titulado "Cultura de la seguridad en las organizaciones, instalaciones y actividades vinculadas al uso de fuentes de radiación ionizante", a través de un instrumento de evaluación se determinó que la sala de Rayos X, del Hospital escuela Dr. Manolo Morales Peralta cuenta con un nivel avanzado en términos de cultura seguridad con un resultado del 80% concerniente a la seguridad de la sala de rayos X, demostrando que se le brinda importancia a la cultura seguridad de parte de la organización y sus trabajadores.

Se identificaron 16 sucesos iniciadores de mayor probabilidad de ocurrencia, de los cuales comprobamos las barreras de seguridad y evidenciamos las consecuencias de cada suceso iniciador, mostrados en la matriz de riesgo presentada, colaborando a poder reconocer los niveles de riesgos en las actividades de exposición a radiación ionizantes de manera cualitativa en base a una entrevista realizada al personal que labora en la institución, con un enfoque primario en la cultura de seguridad en el personal ocupacionalmente expuesto. Esto permitió evaluar la efectividad de una adecuada gestión y administración de los riesgos que pudieran impactar en la sala y los resultados.

Haciendo uso de la metodología para la evaluación de la seguridad propuesta en la "guía de evaluación de seguridad de instalaciones y actividades asociadas a las fuentes generadoras de radiaciones ionizantes" de la Comisión nacional de energía atómica de Nicaragua (CONEA), se evaluó de manera cuantitativa los riesgos que pudieran ocasionar cada suceso iniciador y se clasificaron en tres regiones mostradas en el triángulo de riesgo, dando como resultado cinco sucesos iniciadores inaceptables en los cuales la institución debe mejorar, para los cuales brindamos una serie de recomendaciones en los análisis presentados.

VI. Referencias Bibliográficas.

- Autoridad Reguladora Nuclear. (2016). Buenos Aires .
- Chiossi, C.E. (1998). Riesgo radiológico en el caso de exposiciones potenciales. En *Seguridad Radiológica* (págs. 7-27). Argentina.
- Comisión Internacional de Protección Radiológica. (2007). *ICRP Publicación 103*. Madrid : Senda Editorial S.A. .
- Consejo de Seguridad Nuclear. (2012). *Protección Radiológica/ CSN*. Madrid.
- FORO IBEROAMERICANO. (2015). *Cultura de seguridad en las organizaciones, instalaciones y actividades con fuentes de radiación ionizante* .
- Gallego, A. R. (2014). *Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes*. España.
- IAEA. (2010). Protección radiológica relacionada con la exposición medica a la radiación ionizante. En OMS, OPS, & OIEA. Viena.
- IAEA- TECDOC. (1995). *Cultura de la seguridad en las organizaciones, instalaciones y actividades vinculadas al uso de fuentes de radiación ionizante*.
- IAEA-TECDOC-1710/S. (2013). Programa Nacional de Protección Radiológica en las Exposiciones Medicas. En OIEA. Viena, Austria.
- Instituto de Salud Publica de Chile. (2013). *Guia para la identificación y evaluación de riesgos de seguridad en los ambientes de trabajo*. Chile.
- Instituto de Salud Publica de Chile. (s.f.). *Trabajador(a) ocupacionalmente expuesto(a) a radiaciones ionizantes*. Chile.
- (s.f.). *Matriz de Riesgo, Evaluación y Gestión de Riesgo*. Chile: SIGWEB.
- Ministerio de Salud. (2016). Política Nacional de Formación y Capacitación en Seguridad y Protección Radiológica. Managua, Nicaragua.
- Ministerio de Salud. (2017). *“GUÍA DE EVALUACIÓN DE SEGURIDAD DE INSTALACIONES Y ACTIVIDADES ASOCIADAS A FUENTES GENERADORAS DE RADIACIONES IONIZANTES*. MANAGUA.
- Ocampo, J. C. (2015). *Gestión del Riesgo Radiológico*. Medellín- Colombia.
- OIEA. (2007). Principios fundamentales de seguridad. En EURATOM, FAO, OIEA, OIT, OMI, AEN/OCNE, . . . OMS, *Normas Básicas Internacionales de Seguridad*. Viena.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2022). *Cultura de Seguridad en las Organizaciones, instalaciones y actividades vinculadas al uso de fuentes de radiación ionizante*. Viena: IAEA.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (s.f.). *MÉTODO DE MATRIX DE RIESGO” RADIOTERAPIA Y GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL*.

Ramírez, M. P. (2010). *Medidas Básicas de Protección Radiológica*. México.

Wrixon, A. V. (1999). Normas de seguridad radiológica. En *Boletín del OIEA*.

Anexos

Anexo 1. Glosario

1. **Rayos X:** Las radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda va desde unos 10 nm hasta 0,01 nm cuanto menor sea la longitud de onda de los rayos X, mayores es energía y su poder de penetración. Los rayos X de longitudes de ondas mayores, cercanas a la banda ultravioleta del espectro electromagnético, se conocen como rayos X blandos y los de longitud de ondas menores, es decir que están más cercanos a la zona de rayos gamma, se denominan rayos X duros. Los rayos X formados por una mezcla de longitudes de onda diferentes se conocen como rayos X blancos, y para diferenciarlos de los rayos X monocromáticos, que tienen una única longitud de onda. (ANTONIO BROSED) (1)
2. **Equipo de Rayos X:** Generador de Rayos X, utilizado para obtener una imagen en un receptor, con fines de diagnóstico médico o para orientar procedimientos médicos invasivos (o intervencionistas) (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)
3. **Tubo de rayos X:** El tubo de rayos es un componente del equipo de rayos X. Se trata de una ampolla de cristal en la que se ha realizado el vacío y que se encuentra en el interior de una coraza de protección de donde se originan los rayos X. (ANTONIO BROSED) (1)
4. **Bucky:** Dispositivo que contiene y desplaza a la rejilla anti difusora con movimiento oscilatorio utilizada para disminuir la radiación dispersa de los aparatos de rayos X. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)
5. **Kilovoltaje:** Determina la energía con la que los electrones van a desplazarse del cátodo al ánodo. En el espectro, el uso del kV va a afectar a la exposición que llegue al receptor, pero también al contraste inherente que el haz de rayos X transmite a la imagen un alto kV significará un haz energético, con más poder de penetración y será usado en principio para anatomías de alta absorción (ANTONIO BROSED) (1)

- 6. Miliamperaje:** Es la cantidad de electrones que se desplazan por unidad de tiempo del cátodo al ánodo. A mayor corriente de tubo, más fotones en el haz y más exposición en el receptor de imagen, es decir mayor cantidad de radiación ionizante. (ANTONIO BROSED) (1)
- 7. Tiempo:** Es el tiempo de exposición que se da cuando se adquieren imágenes. Es decir, a mayor tiempo de exposición mayor dosis. (ANTONIO BROSED) (1)
- 8. Blindaje:** Es barrera protectora de diferentes materiales y espesores en base a la necesidad de la sala o bien un dispositivo interpuesto entre el equipo generador de radiaciones ionizantes y los seres humanos expuestos, o medio al ambiente con el propósito de obtener la seguridad radiológica correspondiente atenuando la radiación ionizante dispersa. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)
- 9. Radiodiagnóstico:** Es la obtención de imágenes radiográficas de calidad suficiente para el diagnóstico sin pérdida de información o con una tolerancia adecuada con la menor dosis posible en el paciente. A esto se dirigen todos los esfuerzos tanto tecnológicos como operativos al momento de realizar los exámenes al paciente. (ANTONIO BROSED) (1)
- 10. Equipos fijos:** Aquellos equipos cuyo uso se restringe a un ambiente exclusivo de operación es decir no se pueden mover de lugar sin los permisos necesario por las autoridades reguladoras. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)
- 11. Equipos móviles y/o portátiles:** Aquellos equipos que pueden ser desplazados a diversos ambientes, tales como los que se utilizan, terapia intensiva, quirófanos o en casos de emergencia. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)
- 12. Capa hemirreductora (CHR):** Espesor de un material específico que, introducido en el haz primario de rayos X, reduce a la mitad la tasa de kerma en el aire. Esta reduce la intensidad del haz de radiación a la mitad. La capa

hemirreductora es una característica de cada tipo de material y de la energía de la radiación empleada. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

13. Cultura de Seguridad: Son elementos de la sociología y la psicología del comportamiento de individuos y organizaciones, obliga a remitirse al significado y alcance del concepto de Cultura, en sentido amplio y general. Es necesario partir de una comprensión del concepto de Cultura, de sus particularidades y de sus métodos y formas de transformación para aplicarlos adecuadamente al entorno tecnológico donde opera la protección y seguridad radiológica y física de fuentes de radiación, produciendo el cambio cultural deseado. En medicina, es clave para establecer instituciones que funcionen correctamente y que den prioridad a la seguridad de los pacientes. (FORO IBEROAMERICANO, 2015) (2)

14. Dispositivos de Protección Individual: Delantales, guantes, protectores de gónadas, protectores de tiroides, lentes y otros blindajes con sus equivalencias en plomo como las mamparas utilizados para la protección de pacientes, acompañantes autorizados o de profesionales durante las exposiciones a radiaciones ionizantes. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

15. Dosímetro personal: Dispositivo usado en ciertas partes del cuerpo de un individuo ya sea cuerpo, anillo, cristalino, de acuerdo con reglas específicas, con el objetivo de evaluar la dosis efectiva o la dosis equivalente acumulada en un período dado en el TOE. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

16. Dosis de entrada en la piel (DEP): Dosis absorbida en el centro del haz incidente en la superficie del paciente sometido a un procedimiento radiológico. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

17. Garantía de Calidad: Conjunto de acciones sistemáticas y planificadas con el objetivo de garantizar la seguridad y confiabilidad adecuada en cuanto al funcionamiento de un, sistema, o procedimientos, de acuerdo con un patrón aprobado o bien con una normativa. En radiodiagnóstico, estas acciones

deben llevar a la producción continuada de imágenes de alta calidad o aceptable para el diagnóstico con un mínimo de exposición (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

18. Persona jurídica: "Cualquier organización, corporación, asociación, firma, institución pública o privada, grupo, entidad administrativa o política o cualesquiera otras personas designadas, de acuerdo a la legislación nacional, quienes tienen la responsabilidad y autoridad de las acciones indicadas en esta Norma". (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

19. Responsable de Protección Radiológica: Persona técnicamente competente en materia de protección y seguridad radiológica para la práctica de radiodiagnóstico, de la cual es responsable, designado por el titular responsable de la seguridad en salas, departamentos, instituciones donde se utilizan radiaciones ionizantes. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

20. Titular responsable: "Persona física o jurídica autorizada por la Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección para efectuar una práctica o construir u operar una instalación que use fuentes de radiación ionizante". (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

21. Zona controlada: Toda zona en la que son o pudieran ser necesarias medidas de protección y disposiciones de seguridad específicas, donde existe la posibilidad de recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv/año (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

22. Zona supervisada: Toda zona no definida como zona controlada, pero en la que se mantienen en vigilancia las condiciones de exposición ocupacional, aunque normalmente no sean necesarias medidas protectoras. (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

23. Radiología: La radiología es una rama de la medicina que utiliza la tecnología imagenológica para diagnosticar y tratar una enfermedad. Se puede dividir en dos áreas diferentes: radiología diagnóstica y radiología

intervencionista. Los médicos que se especializan en radiología se denominan Médicos radiólogo (FORO IBEROAMERICANO, 2014) (2)

Anexo 2. Instrumento de evaluación utilizado para evaluar la cultura de seguridad.

| Nº | Elemento Básico | Logro | Meta |
|----|--|-------|------|
| 1 | PRIORIDAD DE LA SEGURIDAD | 3.8 | 5 |
| 2 | LIDERAZGO Y COMPROMISO VISIBLES DE LA ALTA DIRECCIÓN CON LA SEGURIDAD | 3.6 | 5.4 |
| 3 | IDENTIFICACIÓN Y SOLUCIÓN OPORTUNA DE LOS PROBLEMAS DE SEGURIDAD | 3.6 | 5.4 |
| 4 | ENFOQUE PERMANENTE EN LA SEGURIDAD | 4.4 | 5.4 |
| 5 | RESPONSABILIDAD, INVOLUCRAMIENTO Y COMPORTAMIENTO INDIVIDUAL CON RESPECTO A LA SEGURIDAD | 4.1 | 5.4 |
| 6 | COMUNICACIÓN EFECTIVA SOBRE SEGURIDAD | 5.4 | 5.4 |
| 7 | REPORTE LIBRE SOBRE SEGURIDAD | 4 | 5 |
| 8 | TRATAMIENTO JUSTO DE LOS COMPORTAMIENTOS INDIVIDUALES SOBRE SEGURIDAD | 2.2 | 4.5 |
| 9 | APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL CONTINUO | 4.7 | 5.2 |
| 10 | AMBIENTE DE CONFIANZA Y COLABORACIÓN EN SEGURIDAD | 4.3 | 5.4 |



| Buscar por Subelement |
|-----------------------|
| EB1 |
| EB2 |
| EB3 |
| EB4 |
| EB5 |
| EB6 |
| EB7 |
| EB8 |
| EB9 |
| EB10 |

Anexo 3. Resultado obtenido del elemento Prioridad por la seguridad.

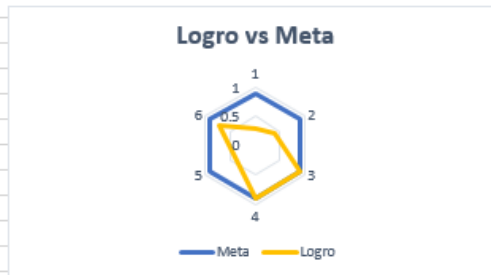
| EB1: PRIORIDAD POR LA SEGURIDAD | | | |
|---------------------------------|--|------------|----------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Visibilidad de la prioridad de la seguridad en la documentación de la Organización | 0.4 | 0.5 |
| 2 | Visibilidad de la prioridad en la actuación de la Organización | 0.3 | 0.5 |
| 3 | Conflictos de prioridad con respecto a la seguridad | 0.2 | 0.5 |
| 4 | Detención de trabajos | 0.2 | 0.5 |
| 5 | Carrera y promoción de directivos | 0.4 | 0.5 |
| 6 | Oficial de Protección Radiológica (OPR) | 0.5 | 0.5 |
| 7 | Subordinación administrativa del OPR/Dependencia de Protección Radiológica | 0.3 | 0.5 |
| 8 | Seguridad en la contratación de servicios, empresas y personal técnicos | 0.5 | 0.5 |
| 9 | Gestión de la Seguridad | 0.5 | 0.5 |
| 10 | Seguridad física de fuentes integrada en la prioridad de la seguridad en la Organización | 0.5 | 0.5 |
| Total | | 3.8 | 5 |

Anexo 4. Resultado obtenido del elemento Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección con la seguridad.

| EB2: LIDERAZGO Y COMPROMISO VISIBLES DE LA ALTA DIRECCIÓN CON LA SEGURIDAD | | | |
|--|--|------------|------------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Visibilidad de la prioridad de la seguridad en la documentación de la Organización | 0.4 | 0.6 |
| 2 | Visibilidad de la prioridad en la actuación de la Organización | 0.3 | 0.6 |
| 3 | Conflictos de prioridad con respecto a la seguridad | 0.2 | 0.6 |
| 4 | Detención de trabajos | 0.5 | 0.6 |
| 5 | Carrera y promoción de directivos | 0.4 | 0.6 |
| 6 | Oficial de Protección Radiológica (OPR) | 0.5 | 0.6 |
| 7 | Subordinación administrativa del OPR/Dependencia de Protección Radiológica | 0.3 | 0.6 |
| 8 | Seguridad en la contratación de servicios, empresas y personal técnicos | 0.5 | 0.6 |
| 9 | Gestión de la Seguridad | 0.5 | 0.6 |
| Total | | 3.6 | 5.4 |

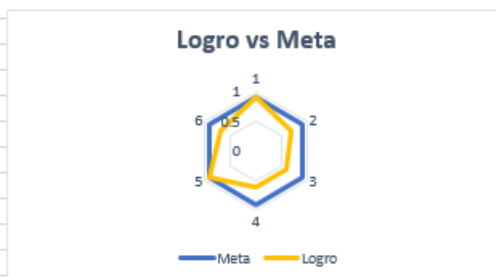
Anexo 5. Resultado obtenido del elemento Identificación y solución oportuna de los problemas de seguridad.

| EB3: IDENTIFICACIÓN Y SOLUCIÓN OPORTUNA DE LOS PROBLEMAS DE SEGURIDAD | | | |
|---|---|------------|------------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Mecanismos de identificación oportuna de los problemas de seguridad | 0.3 | 0.9 |
| 2 | Anticipación a los problemas de seguridad | 0.4 | 0.9 |
| 3 | Alerta y vigilancia en la Organización con respecto a la seguridad | 0.9 | 0.9 |
| 4 | Evaluación y solución oportuna de los problemas detectados | 0.9 | 0.9 |
| 5 | Rasgos de Organización Altamente Fiable | 0.4 | 0.9 |
| 6 | Integración de la seguridad física en los mecanismos de identificación y solución oportuna de problemas | 0.7 | 0.9 |
| Total | | 3.6 | 5.4 |



Anexo 6. Resultado obtenido del elemento Enfoque permanente en la seguridad.

| EB4: ENFOQUE PERMANENTE EN LA SEGURIDAD | | | |
|---|---|------------|------------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Visión de la Organización sobre el logro de la seguridad | 0.9 | 0.9 |
| 2 | Visión de la Organización sobre el carácter de la seguridad | 0.7 | 0.9 |
| 3 | Consideración permanente de la seguridad | 0.6 | 0.9 |
| 4 | Gestión de cambios | 0.6 | 0.9 |
| 5 | Contactos sobre Seguridad con las Partes Interesadas | 0.9 | 0.9 |
| 6 | Integración de la seguridad física de fuentes en el enfoque permanente en la seguridad dentro de la Organización. | 0.7 | 0.9 |
| Total | | 4.4 | 5.4 |



Anexo 7. Resultado obtenido del elemento Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individual con respecto a la Seguridad.

| EB5: RESPONSABILIDAD, INVOLUCRAMIENTO Y COMPORTAMIENTO INDIVIDUAL CON RESPECTO A LA SEGURIDAD | | | |
|---|--|------------|------------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Visión individual sobre la responsabilidad por la seguridad | 0.6 | 0.6 |
| 2 | Base de los comportamientos individuales | 0.6 | 0.6 |
| 3 | Involucramiento en los asuntos de seguridad de la Organización | 0.6 | 0.6 |
| 4 | Reconocimiento interno del personal por el involucramiento activo en los asuntos de Seguridad | 0.6 | 0.6 |
| 5 | Sistemas de premiación | 0.3 | 0.6 |
| 6 | Tendencias de la premiación por seguridad | 0.3 | 0.6 |
| 7 | Visión sobre el papel de la capacitación y el entrenamiento | 0.4 | 0.6 |
| 8 | Actitud cuestionadora y enfoque riguroso y prudente en el comportamiento individual de los trabajadores | 0.4 | 0.6 |
| 9 | Consideración de la seguridad física de fuentes como responsabilidad individual del personal e involucramiento del personal en su mejora | 0.3 | 0.6 |
| Total | | 4.1 | 5.4 |

Logro vs Meta

— Meta — Logro

Anexo 8. Resultado obtenido del elemento Comunicación efectiva sobre seguridad.

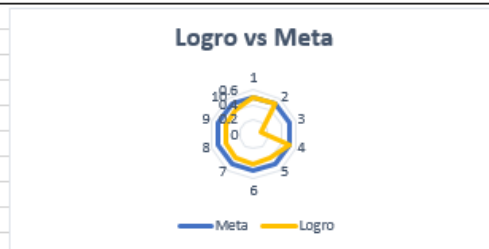
| EB6: COMUNICACIÓN EFECTIVA SOBRE SEGURIDAD | | | |
|--|--|------------|------------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Visión de la comunicación sobre seguridad | 0.9 | 0.9 |
| 2 | Comunicaciones internas sobre seguridad | 0.9 | 0.9 |
| 3 | Mecanismos y canales de comunicación interna sobre seguridad más frecuentemente utilizados dentro de la Organización | 0.9 | 0.9 |
| 4 | Interés del personal por la comunicación sobre seguridad | 0.9 | 0.9 |
| 5 | Comunicaciones al exterior de la Organización sobre asuntos de seguridad derivados de sus actividades | 0.9 | 0.9 |
| 6 | Integración de la seguridad física de fuentes en la cultura de comunicación de la Organización | 0.9 | 0.9 |
| Total | | 5.4 | 5.4 |

Logro vs Meta

— Meta — Logro

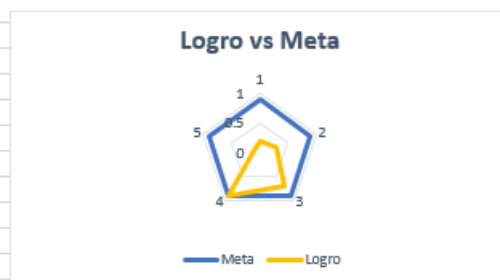
Anexo 9. Resultado obtenido del elemento Reporte libre sobre Seguridad.

| EB7: REPORTE LIBRE SOBRE SEGURIDAD | | | |
|------------------------------------|---|----------|----------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Grado en que se estimula el reporte libre sobre problemas o preocupaciones relacionados con la seguridad en la Organización | 0.5 | 0.5 |
| 2 | Valor conferido en la Organización al reporte por parte de los trabajadores | 0.5 | 0.5 |
| 3 | Respaldo de la Alta Dirección al reporte por parte de los trabajadores | 0.1 | 0.5 |
| 4 | Mecanismos establecidos en la Organización para el reporte por parte de los trabajadores | 0.5 | 0.5 |
| 5 | Cantidad de reportes realizados por los trabajadores | 0.4 | 0.5 |
| 6 | Motivación del personal de la Organización por reportar sobre asuntos de seguridad | 0.4 | 0.5 |
| 7 | Visión del reporte por el resto del personal | 0.4 | 0.5 |
| 8 | Tipo de información reportada | 0.4 | 0.5 |
| 9 | Mecanismos preferentes de reporte libre | 0.4 | 0.5 |
| 10 | Integración de los aspectos relacionados con la seguridad física de fuentes dentro de la cultura de reportar de la Organización | 0.4 | 0.5 |
| Total | | 4 | 5 |



Anexo 10. Resultado obtenido del elemento Tratamiento justo de los comportamientos individuales sobre seguridad.

| EB8: TRATAMIENTO JUSTO DE LOS COMPORTAMIENTOS INDIVIDUALES SOBRE SEGURIDAD | | | |
|--|---|------------|------------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Visión de los errores en la Organización | 0.2 | 0.9 |
| 2 | Enfoque de la Alta Dirección hacia los incidentes o sucesos radiológicos o de seguridad física de fuentes | 0.3 | 0.9 |
| 3 | Manejo de comportamientos individuales | 0.7 | 0.9 |
| 4 | Políticas disciplinarias de la Organización | 0.9 | 0.9 |
| 5 | Evidencias de enfoque centrado en la búsqueda de culpables | 0.1 | 0.9 |
| Total | | 2.2 | 4.5 |



Anexo 11. Resultado obtenido del elemento Aprendizaje organizacional continuo.

| EB9: APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL CONTINUO | | | |
|--|--|--------------|------------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Investigación de sucesos radiológicos o de seguridad física (qué pasó?) | 0.3 | 0.4 |
| 2 | Análisis de sucesos radiológicos o de seguridad física | 0.4 | 0.4 |
| 3 | Participación de la Alta Dirección | 0.4 | 0.4 |
| 4 | Aprendizaje a partir de lo sucedido a otros | 0.2 | 0.4 |
| 5 | Análisis de causa raíz para determinar causas subyacentes de tipo sistémica u organizacional | 0.4 | 0.4 |
| 6 | Análisis organizacional proactivo | 0.3 | 0.4 |
| 7 | Implementación de las lecciones aprendidas de los sucesos que ocurren | 0.4 | 0.4 |
| 8 | Efectividad de las mejoras por lecciones aprendidas | 0.4 | 0.4 |
| 9 | Compartir experiencias con otras Organizaciones | 0.3 | 0.4 |
| 10 | Retroalimentación | 0.4 | 0.4 |
| 11 | Reclamos externos (pacientes, personal, etc.). | 0.4 | 0.4 |
| 12 | Reconocimiento organizacional de errores | 0.4 | 0.4 |
| 13 | Nivel de aprendizaje continuo sobre seguridad física de fuentes | 0.4 | 0.4 |
| | | Total | 4.7 |
| | | | 5.2 |

Logro vs Meta

— Meta — Logro

Anexo 12. Resultado obtenido del elemento Ambiente de confianza y colaboracion en seguridad.

| EB10: AMBIENTE DE CONFIANZA Y COLABORACIÓN EN SEGURIDAD | | | |
|---|---|--------------|------------|
| Nº | Sub elemento | Logro | Meta |
| 1 | Colaboración | 0.6 | 0.6 |
| 2 | Premiación | 0.1 | 0.6 |
| 3 | Confianza | 0.6 | 0.6 |
| 4 | Rol de la Alta Dirección | 0.6 | 0.6 |
| 5 | Relación Alta Dirección – Trabajadores | 0.5 | 0.6 |
| 6 | Sentido de pertenencia y apego del personal a la Organización | 0.6 | 0.6 |
| 7 | Seguridad como estilo de vida fuera del entorno laboral | 0.6 | 0.6 |
| 8 | Habilidades mentales (<i>no-técnicas</i>) del personal (<i>anticiparse a errores, ensayar recuperaciones, mantenerse alerta, conciencia de situación</i>) | 0.1 | 0.6 |
| 9 | Colaboración del personal de la Organización a favor de la seguridad física de fuentes | 0.6 | 0.6 |
| | | Total | 4.3 |
| | | | 5.4 |

Logro vs Meta

— Meta — Logro