



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RÚBEN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

Seminario de graduación para optar al título de:
Lic. de Física con mención en Física médica.

Tema general: Protección radiológica

Tema Específico: Evaluación de seguridad radiológica por medio de una matriz de riesgo en
un laboratorio prestador de servicios en el período del 10 de enero al 21 de marzo de 2019.

Autores: Br. Xochilth Karina Rizo Rodríguez

Br. Jerson Josué Obando Silva

Br. Lenin Francisco Márquez Orozco

Tutores: MSc. Norma Roa Zúniga

MSc. Fredy Somarriba Vanegas

Fecha: Managua, 12 de abril del 2019.

Dedicatoria

Quiero dedicar mi trabajo primeramente a Dios y a mi familia. A Dios que ha estado conmigo en cada paso que doy, porque me ha dado la sabiduría y entendimiento para lograr cada objetivo propuesto en este trabajo, a mi familia por el sacrificio y apoyo que me brindaron en todo este tiempo para poder culminar satisfactoriamente mi segundo peldaño que es la licenciatura.

Xochilth Karina Rizo R.

Dedico mi trabajo primeramente a Jehová nuestro Dios, quien con su bendición, protección y amor llena siempre mi vida, el que me pone retos para poderlos superarlos y sentirme una persona importante y valiosa para los que me rodean. A mis padres Claudia Silva y Gerzan Obando quienes con su amor, paciencia y esfuerzos me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, a mis hermanos Yahoska y Anderson por su apoyo moral, a mis tíos Antonio Canales y Martin Espinoza por su apoyo. Gracias por todo.

Jerson Josué Obando Silva.

Dedico el presente trabajo primeramente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, Gloria Orozco por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, a mi padre Francisco Márquez, a mi familia y a mis primos Gabriel y Marvin Orozco que me han apoyado mucho, a mis grandes amigos, Henry Calero y Josué Carbajal que estuvieron conmigo desde un inicio.

Lenin Francisco Márquez Orozco

Agradecimiento

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 MSc. Norma Roa Zúniga y al MSc. Fredy Somarriba Vanegas tutores de nuestro seminario, quienes nos guiaron con paciencia, y sabiduría para poder culminar.

Resumen

En este trabajo se desarrolla una metodología basada en las recomendaciones de la guía de aplicación de cultura de la seguridad física nuclear del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de evaluación de seguridad de prácticas y actividades asociadas al empleo de fuentes de radiaciones ionizantes (CNSN) y Guía de evaluación de seguridad de instalaciones y actividades asociadas a fuentes generadoras de radiaciones ionizantes del Ministerio de salud de Nicaragua (MINSAL), para el análisis de seguridad por medio de la elaboración de una matriz de riesgo para un laboratorio prestador de servicios, permitiendo identificar el riesgo al que pueden estar expuesto el personal y el público.

La matriz de riesgo es un método sistemático, estructurado, simplificado y conservador que consiste en evaluar la secuencia en la cual ocurren los accidentes, considerando un determinado error humano o fallo de equipo (suceso iniciador) ocurre con una frecuencia determinada, si la instalación o actividad dispone de una o varias defensas o barreras (enclavamientos, alarmas o procedimientos) capaces de detectar y controlar el error o falla y actuar para evitar que el suceso iniciador se convierta en un accidente.

Donde posteriormente pudimos detallar nuestro análisis de evaluación de seguridad con un criterio cualitativo y cuantitativo, dando como resultado de que la frecuencia de que ocurra sucesos accidentales es muy baja, la probabilidad es muy robusta que quiere decir que los enclavamientos funcionan correctamente y las consecuencias de que ocurran estos sucesos iniciadores son muy altas debido al tipo de fuentes que dispone el laboratorio y como resultado de tipos de barreras más utilizada según los sucesos iniciadores fueron enclavamientos y alarmas, Concluyendo que las medidas de seguridad de las instalaciones del laboratorio cumplen con un alto estándar de seguridad.

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Justificación.....	4
2. Desarrollo	5
2.1 Matriz de riesgo.....	5
2.2 Metodología de matriz de riesgo.....	6
2.3 Definición del proceso de una matriz de riesgo.....	7
3. Clasificación según el tipo de medidas de seguridad	8
3.1 Clasificación según el momento de actuación en la secuencia accidental.....	9
4. Daños o consecuencias indeseadas	10
5. Grado de detalle de la evaluación de seguridad	10
5.1 Categorización de las fuentes radiactivas.....	11
5.2 Estimación de dosis para condiciones planificadas.....	12
5.3 Estimación de dosis potenciales para casos de emergencias o accidentes.....	13
6. Suceso iniciador	14
6.1 Aplicación de sucesos iniciadores.....	14
6.1.1 Consideraciones sobre la aplicación de los sucesos iniciadores.....	14
6.1.2 Consideraciones sobre la asignación de consecuencias.....	15
6.1.3 Consideraciones sobre la asignación de frecuencias.....	15
6.1.4 Consideraciones sobre la asignación de probabilidad.....	16
6.1.5 Riesgo específico.....	17
7. Barreras o reductores	20
7.1 Aplicación de barreras reductoras, escenarios y secuencias accidentales.....	22
8. Funciones de seguridad genéricas	25

8.1 Secuencias accidentales.....	28
9. Análisis de resultados y recomendaciones de la aplicación de la matriz de riesgo.....	29
10. Conclusión.....	31
11. Anexos.....	33
12. Glosario.....	38
12.1 Definiciones.....	38
13. Bibliografía.....	40

ÍNDICE DE ECUACIONES

1. Ecuación # 1, Riesgo.....	6
------------------------------	---

ÍNDICE DE TABLAS

1. Tabla #1 Categorización de las fuentes.....	11
2. Tabla # 2, Datos de estimación de la dosis en condiciones planificadas.....	12
3. Tabla # 3, Estimación de dosis potenciales.....	13
4. Tabla # 4, Sucesos iniciadores.....	18
5. Tabla # 5, Funciones de seguridad genéricas y barreras.....	24
6. Tabla # 6, Funciones de seguridad.....	26
7. Tabla # 7, Secuencia accidentales.....	28
8. Tabla # 8, Análisis de resultados de la matriz de riesgo.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Figura # 1, Procesos de análisis de riesgo.....	7
2. Figura # 2, Tipos de defensas.....	20
3. Figura # 3, Elementos del análisis de riesgo.....	21

1. Introducción

Las evaluaciones de seguridad se realizan como medio para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad y de esa manera la aplicación de los principios fundamentales de seguridad radiológica que son: Justificación, optimización y límite de dosis que tienen que aplicarse en todas las instalaciones y actividades, con el fin de determinar las medidas que serán necesarias para adoptar y fortalecer la seguridad. El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) concede gran importancia al permanente problema que significa la protección radiológica para los usuarios y los reguladores en general, donde se deben garantizar un elevado nivel de seguridad en la utilización de los materiales nucleares y las fuentes de radiaciones ionizantes en todo el mundo. La aplicación coherente de una cultura de seguridad física nuclear permite que el personal garantice la eficacia de mantener un elevado nivel de seguridad.

En Nicaragua la ley N° 156 - ley sobre radiaciones ionizantes en el Art. #1 establece que, esta ley tiene como objeto regular supervisar y fiscalizar todas las actividades relacionadas con el uso de los radioisótopos y radiaciones ionizantes en sus diversos campos de aplicación, a fin de proteger la salud, el medio ambiente, los bienes públicos y privados.

El Art. #2 establece que, las disposiciones de esta ley son aplicables en todo el territorio nacional y de obligatorio cumplimiento por las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, lo mismo que para instituciones estatales, entidades descentralizadas, autónomas o semiautónomas, que realicen cualesquiera de las actividades siguientes: Instalar y/u operar equipos generadores de radiaciones ionizantes, irradiar alimentos u otros productos, producir, usar, manipular, aplicar, transportar, comercializar, importar, exportar o tratar sustancias radiactivas, u otras actividades relacionadas con la misma.

El Art #6 establece que, todas las instalaciones de construcciones y/o instalaciones donde se apliquen radiaciones ionizantes deberán ser autorizadas previa revisión de los aspectos de diseños, construcción, sistema de seguridad y radio protección, conforme a las disposiciones reglamentarias que se emiten para el efecto.

Dentro del reglamento técnico de protección contra las radiaciones ionizantes de Nicaragua, En la seguridad física de las fuentes que menciona el Art.# 37 establece, que las fuentes se deberán guardar en condiciones de seguridad que impidan su robo o deterioro y que impidan su uso no autorizado.

1.1 Objetivos

Objetivo general

1. Elaborar una matriz de riesgo para un laboratorio prestador de servicios.

Objetivos específicos

1. Realizar análisis de riesgos basados en las guías del OIEA, CNSN y MINSA-NIC, con el fin de identificar los sucesos de mayor probabilidad de ocurrencia con mayores consecuencias radiológicas para trabajadores y miembros del público en el laboratorio.
2. Determinar cuál sería la frecuencia de accidentes de mayor riesgo, así como las barreras que mayor impacto tienen en la reducción del riesgo en estas prácticas.
3. Aplicar la matriz de riesgo al laboratorio considerando el manejo que disponen en la utilización de fuentes radiactivas.

1.2 Justificación

Uno de los objetivos que pretende el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) es que las instituciones establezcan sistemas apropiados para la seguridad y protección radiológica. En una institución donde se trabaja con radiaciones ionizantes y además se prestan servicios en ese campo, se requiere la evaluación de los posibles riesgos radiológicos a los que están sometidos los pacientes y el personal ocupacionalmente expuesto; para ello se requiere una revisión de los procedimientos, de los elementos de protección radiológica, del personal, del equipo, de la protección y seguridad de los pacientes y del rendimiento en general.

Este trabajo plantea una metodología que servirá como herramienta apoyada en el marco legal nacional e internacional para la seguridad y protección radiológica de cualquier centro que disponga de fuentes o generadores de radiaciones ionizantes. Es por esto que como físicos médicos se deben crear herramientas y modelos de chequeo en evaluación de riesgos a los servicios que estén vinculados en la vigilancia del personal de protección radiológica o a los equipos que emitan radiaciones ionizantes, centros que poseen el servicio de radiología, de radioterapia o de laboratorios especializados en estos temas.

La necesidad de una matriz de riesgo es para realizar un análisis a través de una metodología de evaluación de riesgos que permite una revisión de procedimientos en el laboratorio es por eso que se debe evaluar al personal, capacitar, control de dosimetría, documentación, equipos, instalaciones, control de calidad e infraestructura, finalmente este tipo de valoraciones de riesgos proporcionara una mejora a la institución en la calidad para el personal expuesto, atención al público, el uso eficaz de los recursos y equipos, revelación de los puntos débiles, y controles de calidad.

2. Desarrollo

La matriz de riesgo es un método sistemático, estructurado, simplificado y conservador que consiste en evaluar la secuencia lógica en la cual ocurren los accidentes, considerando un determinado error humano o fallo de equipo (suceso iniciador) ocurre con una frecuencia determinada, si la instalación o actividad dispone de una o varias defensas o barreras (enclavamientos, alarmas o procedimientos) capaces de detectar y controlar el error o falla y actuar para evitar que el suceso iniciador se convierta en un accidente, sin embargo, siempre existe una determinada probabilidad de que estas barreras puedan fallar, y en tal caso ocurrirá el accidente, y este se manifiesta con unas consecuencias determinadas.

La matriz de riesgo se utiliza como una herramienta para establecer prioridades en la gestión del riesgo de una instalación a partir del análisis combinado de la frecuencia de un evento indeseado y sus consecuencias. Este método, aunque no permite cuantificar el riesgo numéricamente, hace posible clasificarlo en niveles, lo cual resulta suficiente para establecer prioridades, sin necesidad de análisis de riesgos más precisos y que son mucho más costosos.

2.1 Matriz de riesgo.

Riesgo es la posibilidad de un daño y de forma simplificada “se define el riesgo de una actividad como la combinación de la probabilidad de que se produzca un daño, derivado de un fallo en el proceso normal establecido, y de la magnitud de dicho daño”. (CSN, 2017, pág. 22)

Ecuación #1.

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

“Riesgo= Frecuencia del fallo (F) x Probabilidad de fallo de las barreras (P) x la magnitud de las consecuencias (C)”. (CSN, 2017, pág. 22)

Como posibles resultados de esta combinación se definen también cuatro niveles de riesgo:

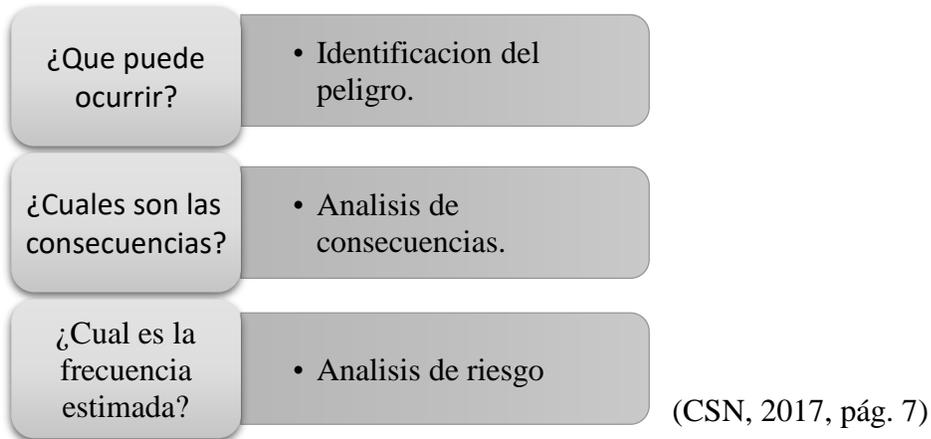
- Riesgo muy alto
- Riesgo alto
- Riesgo medio
- Riesgo bajo.

La matriz de riesgo viene siendo un conjunto de reglas para combinar 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.

2.2 Metodología de Matriz de Riesgo.

Se realiza un análisis de riesgo como medio para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad, las causas que podrían llevar a un riesgo, las consecuencias que tendría y si realmente sería probable que ocurriera. El análisis de riesgo se deriva a una determinada actividad de responder el proceso de análisis de riesgo.

Figura # 1, Proceso de análisis de riesgo.



2.3 Definición del proceso de una matriz de riesgo.

El inicio para el proceso es en un laboratorio prestador de servicios que posee lo siguiente: Laboratorio de calibración dosimétrico (LCD), Laboratorio de dosimetría externa (LDE), Laboratorio de dosimetría interna (LDI) y laboratorio de control de calidad y monitoreo (LCM). Teniendo como mayor relevancia el laboratorio de calibración dosimétrico (LCD) en donde usa una fuente de ^{137}Cs siendo esta de mayor actividad y de alto riesgo, asumiendo como alcance analizar la prevención, capacitación y seguridad que contiene el laboratorio y todas sus medidas para el control de posibles incidentes. Teniendo como objetivo determinar si ha alcanzado un nivel adecuado de seguridad con respecto a la instalación y actividades.

El proceso de análisis fue la elaboración de preguntas con respecto a la seguridad externa e interna del edificio, personal capacitado, medidas de prevención, seguridad radiológica, control y adecuado manejo de los equipos, y la elaboración de tablas sobre la estimación de las dosis recibidas en condiciones normales.

3. Clasificación según el tipo de medidas de seguridad.

- **Enclavamientos**

“Son sistemas o dispositivos tecnológicos que cumplen una función de protección y son capaces de detectar automáticamente una condición insegura y actuar automáticamente para restablecer las condiciones de seguridad, (por ejemplo, desactivar el haz de radiación, hacer retornar la fuente radiactiva a la posición segura dentro de su blindaje o impedir que la fuente salga de la posición segura). Como enclavamientos típicos podemos citar el enclavamiento de la puerta del bunker en laboratorios de radiación”. (FORO, 2016, pág. 14)

- **Alarmas**

“Son señales sonoras, visuales, etc. que advierten de la presencia de una condición insegura y facilitan la toma de decisiones por parte del operador, pero requieren de la participación humana”. (FORO, 2016, pág. 14)

- **Procedimientos**

“Son instrucciones escritas y aceptadas por todos, que describen cómo realizar las tareas del uso de cada área y sus equipos con el fin de evitar errores o desviaciones en las diferentes etapas de dicho proceso.

Las medidas de seguridad se clasifican en barreras y se divide de mayor a menor:

Barreras tipo 1: Enclavamientos

Barreras tipo 2: Alarmas

Barrera tipo 3: Procedimientos de trabajo ejecutados por personas diferentes a quienes pueden desencadenar el suceso iniciador.

Barrera tipo 4: Procedimientos de trabajo ejecutados por la misma persona que desencadena el suceso iniciador, pero en etapas o momentos diferentes”. (FORO, 2016, pág. 14)

3.1 Clasificación según el momento de actuación en la secuencia accidental.

“Las medidas de seguridad se pueden clasificar también en función del momento en que se produce su actuación respecto a la secuencia accidental.

- **Reductores de frecuencia:** Son aquellas medidas encaminadas a evitar y prevenir que ocurra un suceso iniciador; por lo tanto, actúan antes de que el suceso iniciador haya ocurrido. Su eficacia se manifiesta en una reducción de la frecuencia de dicho suceso.
- **Barreras:** Son aquellas medidas encaminadas a detectar el suceso iniciador e impedir sus consecuencias, tales como una exposición accidental. Por lo tanto, las barreras directas actúan después de que el suceso iniciador haya ocurrido y antes de que tengan lugar sus consecuencias.
- **Reductores de consecuencias:** Son aquellas medidas encaminadas a detectar y mitigar las consecuencias de una exposición accidental. Los reductores de consecuencias actúan después de que haya ocurrido el suceso y se hayan comenzado a manifestar las consecuencias. Un ejemplo de reductores de consecuencias es el plan de emergencias.”
(FORO, 2016, pág. 15)

4. Daños o consecuencias indeseadas.

Es establecer los límites entre lo que se considera 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

5. Grado de detalle de la evaluación de seguridad.

“El grado de detalle de la evaluación de seguridad se definirá aplicando un enfoque diferenciado, considerando, algunos criterios siguientes:

- **Importancia para la seguridad:** Son importantes para la seguridad, todas aquellas estructuras, sistemas y componentes, cuyo fallo o deterioro produzcan un suceso iniciador de accidentes, los sistemas y barrera de seguridad.
- **Categorización de las fuentes radiactivas:** El organismo internacional de energía atómica (OIEA), divide las fuentes radiactivas en cinco categorías que se identifican con números del 1 al 5, según su peligrosidad, siendo la categoría 1 la más peligrosa para la salud de los seres humanos y la 5 menos peligrosa. Las fuentes de categoría 1,2 y 3 forman el conjunto de fuentes radiactivas selladas de alta actividad”.

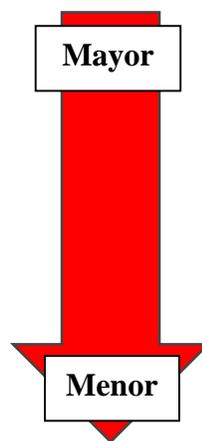
(CNSN, 2012, pág. 28)

5.1 Categorización de las fuentes radiactivas.

El laboratorio cuenta actualmente con 28 fuentes radiactivas, pero en esta tabla se muestran únicamente dos fuentes, debido a la seguridad de información que posee el laboratorio solo se nos proporcionó la información de estas dos fuentes que son las más relevantes, siendo una de mayor actividad y la otra de baja actividad dentro del laboratorio.

Tabla # 1, *Categorización de las fuentes.*

Categoría	Radio nucleído	Actividad	Fuente
1	Cesio 137 / Cs 137	740 GBq	Irradiadores auto blindado
2			
3			
4			
5	Estroncio 90 / Sr 90	33 MBq	Fuente de constancia y de baja actividad



En la tabla #1 se muestran las fuentes de ^{137}Cs ubicado en el laboratorio de calibración dosimétrico (LCD) y ^{90}Sr ubicado en el laboratorio de dosimetría externa (LDE), describiendo su categoría y fuente. La información obtenida del radio nucleído fue tomada del OIEA- Organismo internacional de energía atómica (2009) Clasificación de las fuentes radiactivas, guía de seguridad No. RS-G-1.9 (Viena, OIEA).

5.2 Estimación de dosis en condiciones planificadas.

Se debe realizar una categorización de los procesos asociados a la práctica y determinar las dosis esperadas en condiciones planificadas de operación, considerando aspectos tales como: Para fuente sellada, determinar las dosis esperadas por exposición en correspondencia con la energía e intensidad de la radiación emitida, según como corresponda se debe evaluar las dosis individuales y colectivas y compararlas con los criterios de seguridad establecidos y las restricciones de dosis adecuadas. (CNSN, 2012, pág. 31)

Tabla # 2, Datos de estimación de la dosis en condiciones planificadas

	Dosis esperada en condiciones planificadas	Comparación con las restricciones de dosis	Criterios considerados para la estimación de la dosis, comentarios generales.
Trabajadores ocupacionales	0,76mSv/a	≤ 20 mSv/a	Considerando que esta dosis está muy por debajo del límite.
Miembros del público	0,25 mSv/a	≤ 1 mSv/a	A 30 cm de distancia se tiene la mayor dosis al final de la pared, después viene una malla en donde se detecta el fondo natural de radiación.

En la tabla #2, se muestran las dosis en condiciones normales para TOE y miembros del público, con su respectiva comparación de límites de dosis del OIEA y el criterio considerado para la estimación de dosis según información brindada por el laboratorio del equipo irradiador con fuente sellada de ^{137}Cs . La información de comparación de límites de dosis fue obtenida de las normas de Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad No. GSR parte 3. (OIEA) y la ICRP publicación 103. 2007.

5.3 Estimación de dosis potenciales para casos de emergencia o accidentes.

Se debe realizar una evaluación de las exposiciones potenciales considerando las consecuencias radiológicas más graves razonablemente predecibles que podrían darse teniendo en cuenta los sistemas de seguridad o las medidas de protección existentes para evitarlas.

Tabla # 3, *Estimación de dosis potenciales*

Denominación del escenario en que se produciría de la exposición potencial evaluada	Dosis potenciales estimadas	Comparación con las restricciones de dosis potenciales	Relación de medidas de protección existentes	Comentarios generales
Que una persona quede dentro del área del bunker cuando este irradiando y el tiempo de reacción sea de 30 s.	0,55 mSv	50 mSv	Presionar el botón de emergencia y detener inmediatamente el equipo.	Considerando que la tasa de dosis equivalente ambiental actual es de 65.5 mSv/h. Al hacer la multiplicación de la dosis por el tiempo daría 0,55mSv siendo esta dosis baja con respecto al límite.
Que la fuente no regrese a su posición inicial y el tiempo de reacción sea de 40 s.	0,72 mSv	50 mSv	Bajar breaker, subir manualmente los colimadores, Quitar la tapa lateral y pulsar para que la fuente regrese manualmente.	Considerando que la tasa de dosis equivalente ambiental actual es de 65.5mSv/h. Al hacer la multiplicación de la dosis por el tiempo daría 0,72 mSv siendo esta dosis baja con respecto al límite.

En la tabla #3, mostramos ejemplos de sucesos iniciadores con dosis potenciales estimadas, la comparación de límites de dosis del OIEA y las barreras a utilizar en cualquier suceso que ocurra en el área del laboratorio de calibración dosimétrica, que utiliza una fuente sellada de ¹³⁷Cs. La información de comparación de límites de dosis fue obtenida de las normas de Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad No. GSR parte 3. (OIEA).

6. Suceso Iniciador.

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

Nuestro proceso es el análisis de seguridad radiológica en el laboratorio en el cual, para iniciar, debemos determinar fallos o errores iniciadores y cuáles son las consecuencias al momento de la ausencia de medidas de seguridad, a pesar de que el laboratorio dispone de medidas y normas de seguridad para mitigar las consecuencias de los errores que se pueden producir.

A cada suceso iniciador se le asigna un nivel de consecuencia (C) una frecuencia de ocurrencia iniciadora (F) y una probabilidad (P).

6.1 Aplicación de sucesos iniciadores.

A partir del modelo de errores y fallos potenciales el siguiente paso es determinar la lista de iniciadores de dicha inspección que son aplicables al proceso que estamos analizando.

6.1.1 Consideraciones sobre la aplicación de los sucesos iniciadores.

En la definición de suceso iniciador se incluye implícitamente que puede conducir a una consecuencia indeseada, suponiendo que fallaran todas las posibles medidas de protección previstas para prevenir. A la hora de determinar si un suceso iniciador de la lista es aplicable o no, debemos hacer el ejercicio de abstracción consistente en considerar únicamente el suceso iniciador (el error o fallo) y cuáles serían sus consecuencias en ausencia de cualquier medida de protección.

6.1.2 Consideraciones sobre la asignación de consecuencias.

La asignación de las consecuencias para cada suceso iniciador se ha hecho teniendo en cuenta:

- Si el suceso afecta a una persona.
- Si el suceso afecta a más de una persona.
- La peor situación creíble en lo relativo a desviaciones de la dosis.

Además, la asignación considera las consecuencias que se producirían directamente a partir del suceso iniciador sin la intervención de ninguna.

6.1.3 Consideraciones sobre la asignación de frecuencias

“Al igual que para las consecuencias, cada iniciador tiene asignado un nivel de frecuencia. La asignación de las frecuencias para cada suceso iniciador proviene de un cálculo cuantitativo que tiene en cuenta el número de personas que labora en el centro, el número de gente q lo visita, la probabilidad de que ocurre el fallo de equipo o error humano y el número de veces que interviene el equipo o se realiza la tarea anualmente. Además, la asignación considera la frecuencia de ocurrencia del suceso iniciador, independientemente de la intervención de las medidas preventivas o mitigadoras.

Sus niveles son:

- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja.

Puede surgir cambiar la frecuencia de un iniciador porque no nos haya ocurrido nunca o porque hay muchas barreras. Debe tenerse en cuenta en estos casos lo siguiente:

- La frecuencia hace referencia a la frecuencia con que puede ocurrir el iniciador (el error o fallo), no a la frecuencia con que dicho iniciador tiene consecuencias indeseadas.
- El hecho de que existan barreras no nos asegura que no vayan a producirse las consecuencias indeseadas, sino que hará que el riesgo sea menor.
- El hecho de que existan barreras no nos asegura que no vaya a producirse el accidente, sino que hará que el riesgo sea menor”. (CSN, 2017, pág. 33)

6.1.4 Consideraciones sobre la asignación de probabilidad de fallo al conjunto barreras.

En el método de la matriz de riesgo se asigna un nivel a la probabilidad de fallo del conjunto de barreras, que, como se ha mencionado anteriormente, sirven para detectar un determinado suceso iniciador e impedir que ocurra el accidente.

Por tanto, se pueden establecer los niveles de probabilidad (P) en función a sus categorías, como se muestra a continuación:

Categoría de probabilidades

- Blanda: Tarea de una persona
- Normal: Procedimiento ejecutado por varias personas
- Robusta: Alarma
- Muy robusta: Enclavamiento

6.1.5 Riesgo específico.

El riesgo específico se ubica luego de aplicar las barreras a un suceso iniciador y este establece un nivel de exposición.

Nivel de exposición al riesgo:

- No aceptable
- Mayor
- Media
- Menor

Tabla # 4, Sucesos iniciadores.

No.	Sucesos iniciadores	F	P	C	Consecuencias de riesgo
1	Robo de fuentes radiactivas	Baja	Muy robusta	Muy alta	Daños en las instalaciones y exposición a las fuentes
2	Robo de información	Muy baja	Robusta	Baja	Perdida de documentos impresos o digitales para divulgación
3	Calibración de equipo detectores	Muy baja	Robusta	Muy alta	Mal funcionamiento del equipo
4	Mantenimiento de equipos	Muy baja	Muy robusta	Baja	Modificaciones del equipo ya sea en ubicación o cambio de alguna pieza sin comunicar.
5	Falla en el equipo del irradiador ¹³⁷ Cs	Muy baja	Robusta	Alta	Fuente atascadas, panel de control no responda y que la fuente no regrese a su posición segura
6	Fallas en el sistema eléctrico del laboratorio	Muy baja	Muy robusta	Muy alta	Incendios
7	Inundaciones	Baja	Normal	Alta	Daño en infraestructura y equipos.
8	Sismos	Baja	Normal	Media	Infraestructura no posee seguridad antisísmica.
9	Filtraciones de agua	Baja	Robusta	Media	Fugas en drenajes o falta de mantenimiento en servicios higiénicos.
10	Fuente del irradiador	Muy baja	Muy robusta	Alta	Falla del mecanismo de retorno.
11	Intromisión en el bunker	Muy baja	Muy robusta	Media	Perdidas de equipos e irradiación a las personas.
12	Errores humanos	Alta	Muy robusta	Alta	Error en cálculos por ende se dan malas calibraciones.
13	Filtración al sistema de seguridad Electrónico	Muy baja	Robusta	Media	Hackeo de redes, cámaras y enclavamiento.
14	Falla en el sistema de seguridad de ingreso	Muy baja	Muy robusta	Alta	Fallas en claves y códigos de acceso y permita la entrada a personas ajenas al laboratorio.

15	Robo de irradiador	Baja	Muy robusta	Muy alta	Muertes, exposiciones y contaminación ambiental.
16	Personal no capacitado	Muy baja	Muy robusta	Alta	Falta de conocimiento en el uso de equipos
17	Acciones terroristas	Baja	Muy robusta	Muy alta	Robo de fuente para provocar pánico en población
18	Acciones terroristas	Muy baja	Muy robusta	Muy alta	Creación de bomba sucia
19	Acciones terroristas	Baja	Muy robusta	Muy alta	Comercio ilegal de fuentes radiactivas a grupos armados
20	Conflicto armado en el país	Baja	Robusta	Muy alta	Saqueos de instalaciones, robo, quema de instalaciones.
21	Modificación de instalaciones	Muy baja	Muy robusta	Baja	Cambio de estructura.

En la tabla #4, contiene los diferentes tipos de sucesos iniciadores con sus respectivos niveles de cada una de las tres variables, frecuencia del iniciador (Valores: Alta, media, baja y muy baja), probabilidad de fallo de las barreras (Blanda, normal, robusta y muy robusta) y consecuencias (Muy alta, alta, media y baja).

7. Barreras o reductores.

Las barreras son todas aquellas medidas de seguridad que permiten evitar, prevenir o detectar el avance de las fallas hasta como resultado provocar un incidente. En la siguiente figura se muestra el actuar de la defensa según el momento en que intervienen.

Figura # 2, *Tipos de defensas*



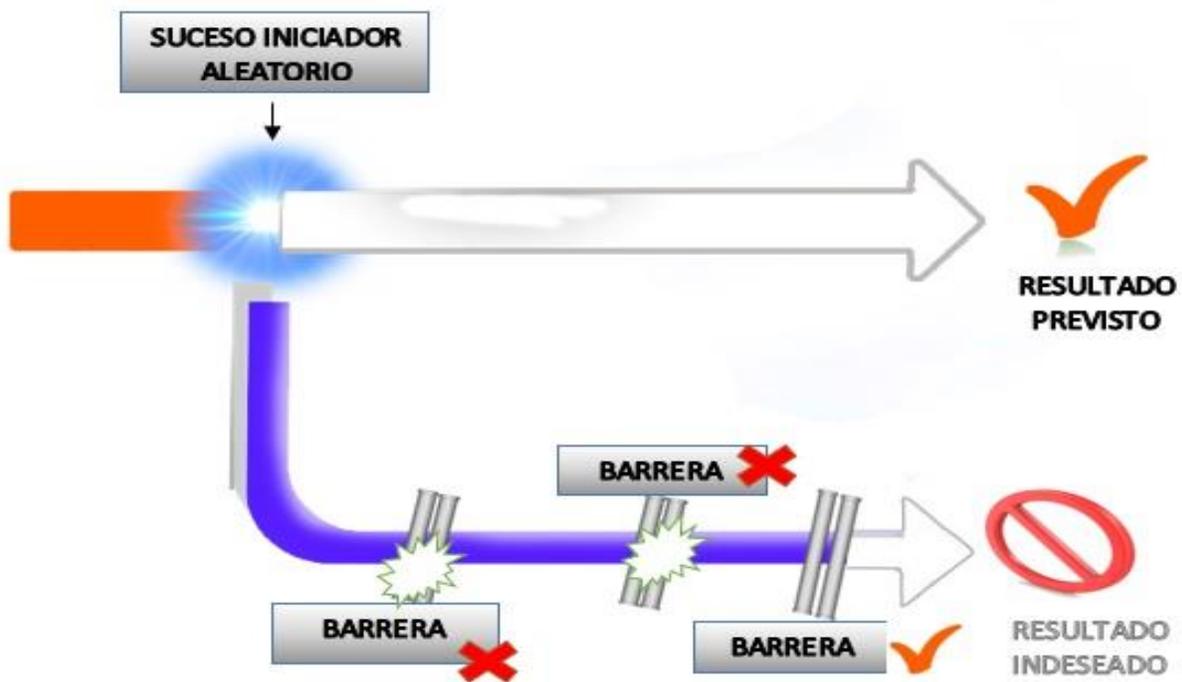
Fuente: Guía para la aplicación de la metodología de matrices de riesgo en radioterapia externa, CSN (Consejo de seguridad nuclear) – 2017.

Si actúan después de que ocurra el suceso iniciador y su objetivo es detener la evolución del incidente evitando completamente las consecuencias indeseadas se denominan BARRERAS, Si actúan antes de que ocurra un suceso iniciador y su función es prevenir que ocurra, y su efecto se manifiesta en la reducción de la frecuencia de ocurrencia del iniciador al que afectan, se denominan REDUCTOR DE FRECUENCIA y si actúan después de que haya ocurrido el iniciador y su objetivo es disminuir las consecuencias, se denominan REDUCTOR DE CONSECUENCIA.

El análisis de las medidas preventivas o mitigadoras, de estas barreras y medidas necesarias para controlar el peligro se diferencian en tres tipos:

- Enclavamiento de seguridad.
- Alarmas o advertencia de seguridad.
- Procedimiento de seguridad y emergencia.

Figura # 3, Elementos del análisis de riesgo.



Fuente: Matrices de riesgo en radioterapia, CSN (Consejo de seguridad nuclear) – 2016.

Así como se mencionó anteriormente sobre las frecuencias y consecuencias de los sucesos iniciadores, también existe una escala de cuatro niveles para la probabilidad de fallo para cada barrera de acuerdo al tipo de esta misma.

- Blanda: Tarea de una persona
- Normal: Procedimiento ejecutado por varias personas
- Robusta: Alarma
- Muy robusta: Enclavamiento

7.1 Aplicación de barreras, reductores, escenarios y secuencias accidentales.

Para cada uno de los iniciadores incluidos en modelo de errores y fallos potenciales se incluye también una lista de barreras y reductores que les afectan, con sus parámetros de robustez correspondientes.

El siguiente paso del análisis consiste en revisar las barreras y reductores asociados a cada uno de los iniciadores seleccionados en el paso anterior, determinando si son o no aplicables en el servicio analizado.

“Al analizar las barreras deben distinguirse aspectos tales como:

Suficiencia: Evaluar si la barrera es suficiente para cumplir la función de seguridad o si requiere la activación o disponibilidad de algún otro elemento o componente.

Fiabilidad/Disponibilidad: Analizar la confiabilidad de la barrera y la posibilidad de detectar con antelación si la misma ha fallado y no es capaz de cumplir su función de seguridad a la demanda.

Robustez: Analizar la efectividad de la barrera para cumplir la función de seguridad, así como su independencia y vulnerabilidad antes fallos causas común.

Especificidad: Analizar si la activación de una barrera puede conllevar al aumento de otro peligro de accidente.

Condiciones latentes de fallos: Analizar si existe causas tales como decisiones organizacionales, errores o violaciones comunes que degradan las barreras existentes.” (CNSN, 2012, pág. 40)

El análisis de una determinada secuencia accidental debe contener, en primera instancia, la evaluación de los cinco objetivos específicos que deben lograrse con fines de seguridad en las instalaciones radiactivas, siendo las funciones de seguridad típicas:

- Blindaje de la fuente
- Confinamiento del material radiactivo
- Robustez de la fuente
- Control de acceso
- Tiempo de exposición

Como se muestran en la siguiente tabla.

Tabla # 5, Funciones de seguridad genéricas y barreras.

No	Funciones de seguridad	Sistemas y barreras de operaciones
1	Blindaje	1: Sistemas que proporcione blindaje.
		2: Enclavamiento, cierres y mecanismos de obturadores.
		3: Mecanismos de encendido y apagado.
		4: Embalaje.
		5: Vigilancia radiológica periódica.
		6: Vigilancia periódica en la infraestructura.
		7: Mantenimiento de la infraestructura.
2	Confinamiento	1: Encapsulamiento.
		2: Contenedor/Frasco.
		3: Caja (Box).
		4: Bóveda de almacenamiento.
		5: Filtros.
		6: Sistema de ventilación y aire acondicionado.
		7: Ropa de trabajo.
		8: Pruebas, vigilancia.
		9: Sistema de manipulación remota.
		10: Verificación periódica del inventario de materiales.
		11: Etiquetas, avisos y señales de alerta.
		12: Sistemas contra incendio.
3	Robustez de la fuente.	1: Prueba de hermeticidad y estanqueidad.
		2: Marcas y etiqueta de la fuentes.
		3: Sistema de enclavamiento y fallos de seguridad.
4	Control de acceso	1: Monitoreo y alarmas de irradiación.
		2: Puertas, cercas, paredes, jaulas y etc.
		3: Procedimientos de control de accesos, claves o códigos de acceso.
		4: Procedimientos para el uso autorizado de la fuente, registro de usuarios autorizados.
		5: Ubicación y configuración de las consola de control.
		6: Señalización.
		7: Sistemas de vigilancia.
		8: Enclavamientos.
		9: Límites de la instalación.
5	Tiempo de exposición	1: Alarmas de irradiación.
		2: Tiempo de exposición.
		3: Límites de exposición.
		4: Procedimientos de operación normal y de emergencia.

En la tabla #5, se están identificando las barreras en el diseño que satisfacen las funciones de seguridad de cada una de las instalaciones. (CNSN, 2012, pág. 42)

8. Funciones de seguridad genéricas.

Cuando la evaluación de las funciones de seguridad típicas indicadas en el punto anterior, no sean suficiente para identificar todas las barreras de seguridad de una secuencia accidental determinada, hay un método estructurado para el análisis de las secuencias iniciadoras de accidentes.

Se analizan las siguientes funciones de seguridad genérica:

- Evitar.
- Prevenir.
- (Detectar) + Controlar.
- (Detectar) + Limitar.

Se definen las funciones de seguridad detalladas combinando las funciones genéricas y el objeto a que estas aplican.

Tabla # 6, Funciones de seguridad

Suceso iniciador	Función de seguridad		Barreras de seguridad
	Genéricas	Detalladas	
Rayos x Portátil, equipo LCD Error de calibración de la corriente alterna durante puesta en servicio.	Prevenir	Prevenir errores de calibración.	Entrenamiento y capacitación de los físicos médicos.
	Detectar	Detectar errores de calibración en la puesta en servicio.	Revisión independiente de los resultados de calibración, por parte de otro físico médico.
	Controlar	Controlar errores de calibración en la puesta en servicio	Auditoria externa antes del uso del equipo.
	Limitar	Limitar las consecuencias de errores de calibración y puesta en servicio.	Constancia de tasa de dosis.
Prueba de dosimetría al personal.			
Fuentes radiactivas y equipos detectores. Perdida de fuentes y equipos detectores.	Prevenir	Prevenir perdida de fuentes y equipos.	Personal capacitado.
	Detectar	Detectar la perdida de fuentes y equipos.	Revisión de las fuentes radiactivas que se emplean y equipos.
	Controlar	Controlar la perdida de fuente y equipos.	Encargado de PR verifique que todo las fuentes y equipos estén a disposición.
	Limitar	Limitar las consecuencias de pérdidas de fuentes radiactivas y equipos.	Tabla de bitácora antes y después del uso de fuentes y equipos.
Acciones terroristas Robo de fuente para provocar pánico en población, Creación de bomba sucia y comercio ilegal a grupos armados.	Prevenir	Prevenir acciones terroristas	Sistema de vigilancia
	Detectar	Detectar robos	Alarmas y sensores
	Controlar	Controlar acciones después del robo	Puertas, Jaulas y paredes.
	Limitar	Limitar las consecuencias de acciones terroristas	Estrategias para el control de seguridad

Desastres naturales Sismos Inundaciones Incendios	Prevenir	Prevenir fallas en el sistema eléctrico	Mecanismo de encendido, apagado y sistema contra incendio.
	Detectar	Detectar fallas en la infraestructura	Vigilancia periódica en la infraestructura.
	Controlar	Controlar los desastres ocasionados	Mantenimiento de la infraestructura.
	Limitar	Limitar las consecuencias de los desastres naturales	Sistema de prevención y capacitación al personal ante un desastre natural.
Mantenimiento de equipos y modificación en las instalaciones.	Prevenir	Prevenir mal mantenimiento de equipos y modificaciones de las instalaciones	Entrenamiento y capacitación de los físicos médicos
	Detectar	Detectar un mal mantenimiento de equipos y modificaciones de las instalaciones	Revisión independiente, por parte de otro físico médico
Modificaciones del equipo ya sea en ubicación o cambio de alguna pieza sin comunicar y cambio de infraestructura.	Controlar	Controlar el mantenimiento de los equipos y modificaciones de las instalaciones	Auditoria externa antes del uso de equipos
			Supervisión por el encargado de protección radiológica
	Limitar	Limitar errores en el mantenimiento de los equipos y modificaciones de las instalaciones	Tabla de bitácora antes y después del uso de fuentes y equipos
			Vigilancia periódica en la infraestructura

En la tabla #6, se muestran sucesos iniciadores, la determinación de las funciones y barreras de seguridad asociadas.

8.1 Secuencias Accidentales.

Para realizar el análisis de las secuencias accidentales, deben estimularse el realismo y el pensamiento creativo, buscando combinaciones de sucesos potencialmente complejos o un conjunto de problemas ocurrentes. El análisis de las secuencias accidentales puede realizarse utilizando métodos tabulares o gráficos.

Los métodos tabulares analizan el escenario que se produce cuando han fallado todas las barreras de seguridad asociadas a un suceso iniciador.

Formato tabular de la secuencia accidentales

Tabla # 7, Secuencia accidentales.

No	Suceso Iniciador de Accidente	Barreras o Medidas de seguridad	Consecuencias
1	Saqueos en la instalaciones	Barrera 1: Puertas, cercas, paredes, jaulas y etc.	Saqueo, destrucción de las instalaciones y robo de equipos.
		Barrera 2: Monitoreo y alarmas.	
		Barrera 3: Sistema de vigilancias.	
2	Fuente atascadas, panel de control no responda	Barrera 1: Monitoreo y alarmas de irradiación.	Fallos en el equipo y posible aumento de dosis radiactiva.
		Barrera 2: Sistema de manipulación remota.	
3	Acciones terroristas	Barrera 1: Sistema de vigilancia.	Robo de fuente para provocar pánico en población, Creación de bomba sucia y comercio ilegal a grupos armados.
		Barrera 2: Puertas, cercas, paredes, jaulas y etc.	
		Barrera 3: Monitoreo y alarmas.	
		Barrera 4: Procedimientos de control de accesos, claves o códigos de acceso.	
4	Robo de fuentes	Barrera 1: Puertas, cercas, paredes, jaulas, etc.	Venderla como chatarra, Contaminación ambiental.
		Barrera 2: Monitoreo y alarmas	
		Barrera 3: Sistema de vigilancia	

9. Análisis de resultados de la aplicación de la matriz de riesgo.

La aplicación de la matriz de riesgo en el laboratorio ha permitido identificar los principales errores humanos, fallos de equipos y eventos externos que pudieran conducir a un accidente. Al mismo tiempo hemos identificado las principales barreras que permitirían reducir el riesgo de potenciales accidentes a niveles aceptables. A continuación, mostramos en la siguiente tabla el alcance del trabajo realizado donde se incluye lo antes mencionado.

En esta tabla de análisis se obtuvieron valores numéricos en donde se realizó un total y promedio de los niveles de riesgos. Para obtener los valores de niveles de riesgos resultantes se realizó por medio de la multiplicación de $R = F \times P \times C$, dando como resultado algunos valores mayores a 5 por ende se tuvo que ponderar estos resultados ya que sobrepasaban los niveles establecidos resultantes que son 4. El ponderado se realizó: Multiplicando cada valor dado de F, C y P con su propio número, luego el total se divide con el resultado de la suma de F, C y P y obteniendo con esto ya el resultado ponderado. Ejemplo del No.3: $R = 2 \times 2 = 4$, $1 \times 1 = 1$, $4 \times 4 = 16$. Total= 21. El total se divide con el resultado de la suma de F, C y P que da= 7. Y la división de 21 entre 7 da igual a= 3. Siendo esto el ponderado.

Tabla # 8, Análisis de resultados

No.	SUCEOS INICIADORES	FUENTE DE RIESGO	CONSECUENCIA DE RIESGO	FRECUENCIA		PROBABILIDAD		CONSECUENCIAS		NIVELES DE RIESGO RESULTANTE	BARRERAS	TIPOS DE BARRERA	CONTROL ADECUADO	RIESGOS ESPECIFICOS
				CLASF	VALOR	CLASF	VALOR	CLASF	VALOR	VALOR				NIVEL DE EXPOSICIÓN
1	Robo de fuentes radiactivas	Externa	Daños en las instalaciones y exposición a las fuentes	Baja	2	Muy robusta	1	Muy alta	4	3	Control de acceso	1 Y 2	SI	1
2	Robo de información	Interna	Pérdida de documentos impresos o digitales para divulgación	Muy baja	1	Robusta	2	Baja	1	2	Control de acceso	3 y 4	NO	2
3	Calibración de equipos	Interna	Error de calibración en la corriente alterna	Muy baja	1	Robusta	2	Muy alta	4	3	Confinamiento	4 y 3	SI	1
4	Mantenimiento de equipos	Interna	Modificaciones del equipo ya sea en ubicación o cambio de alguna pieza sin comunicar.	Muy baja	1	Muy robusta	1	Baja	1	1	Confinamiento	3 y 4	SI	2
5	Falla en el equipo del irradiador 137Cs	Interna	Fuente atascadas, panel de control no responda y que la fuente no regrese a su posición segura	Muy baja	1	Robusta	2	Alta	3	2	Confinamiento	2 Y 3	SI	1
6	Incendios	Interna	Falla en el sistema eléctrico del laboratorio.	Muy baja	1	Muy robusta	1	Muy alta	4	4	Blindaje	1 Y 2	SI	1
7	Inundaciones	Externa	Filtraciones en la infraestructura.	Baja	2	Normal	3	Alta	3	3	Blindaje	1 Y 2	SI	2
8	Sismos	Externa	Infraestructura no posee seguridad antisísmica.	Baja	2	Normal	3	Media	2	2	Blindaje	1 Y 2	SI	3

9	Filtraciones de agua	Interna	Fugas en drenajes o falta de mantenimiento en servicios higiénicos.	Baja	2	Robusta	2	Media	2	2	Blindaje	1 Y 2	SI	2
10	Fuente del irradiador	Interna	Falla del mecanismo de retorno.	Muy baja	1	Muy robusta	1	Alta	3	3	Tiempo de exposición Y Blindaje	2 Y 3	SI	1
11	Intromisión en el bunker	Interna	Tocar y descontrolar el panel de control	Muy baja	1	Muy robusta	1	Media	2	2	Control de acceso	1 Y 2	SI	1
12	Errores humanos	Externa	No hacer reportes en bitácora sobre el uso de algunas fuentes y equipos.	Alta	4	Muy robusta	1	Alta	4	4	Confinamiento	3 y 4	SI	2
13	Filtración al sistema de seguridad Electrónico	Externa	Hackeo de redes, cámaras y enclavamiento.	Muy baja	1	Robusta	2	Media	2	2	Control de acceso	2	NO	2
14	Falla en el sistema de seguridad de ingreso	Interna	Fallas en claves y códigos de acceso y permita la entrada a personas ajenas al laboratorio.	Muy baja	1	Muy robusta	1	Alta	3	3	Control de acceso	1 Y 2	SI	1
15	Robo de irradiador	Externa	Muertes, exposiciones y contaminación ambiental.	Baja	2	Muy robusta	1	Muy alta	4	3	Control de acceso	1 Y 2	SI	1
16	Personal no capacitado	Interna	Falta de conocimiento en el uso de equipos	Muy baja	1	Muy robusta	1	Alta	3	3	Confinamiento	3 y 4	SI	2
17	Acciones terroristas	Externa	Robo de fuente para provocar pánico en población	Baja	2	Muy robusta	1	Muy alta	4	3	Control de acceso	1 Y 2	SI	1
18	Acciones terroristas	Externa	Creación de bomba sucia	Muy baja	1	Muy robusta	1	Muy alta	4	4	Control de acceso	1 Y 2	SI	1
19	Acciones terroristas	Externa	Comercio ilegal a grupos armados	Baja	2	Muy robusta	1	Muy alta	4	3	Control de acceso	1 Y 2	SI	1
20	Conflicto armado en el país	Externa	Saqueos de instalaciones, robo, quema de instalaciones.	Baja	2	Robusta	2	Muy alta	4	3	Control de acceso	1 Y 2	SI	3
21	Modificación de instalaciones	Interna	Cambio de estructura.	Muy baja	1	Muy robusta	1	Baja	1	1	Confinamiento	3 y 4	SI	1
TOTAL / PROMEDIO				Muy baja	1	Muy Robusta	1	Muy alta	3	3	Control de acceso	1 y 2	SI	1

10. Conclusión

El empleo del enfoque de una matriz de riesgo nos ha permitido realizar una evaluación directa del cumplimiento de las normativas por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y sobre todo la valoración de la seguridad de las instalaciones del laboratorio prestador de servicios, donde se debe garantizar un elevado nivel de seguridad para el personal ocupacionalmente expuesto y público, también como el resguardo de las fuentes de radiaciones ionizantes, teniendo una cantidad de 28 fuentes en la cual solo dos tomamos en consideración.

Por medio de esta matriz de riesgo se logró realizar una clasificación de supuestos sucesos iniciadores, comprobando las barreras de seguridad y consecuencias indeseadas, basándonos en las guías de la OIEA, CNSN y MINSA-NIC. Donde posteriormente pudimos detallar la evaluación de seguridad con un criterio cualitativo y cuantitativo que mostramos en la tabla #8 (Análisis de resultados de la matriz de riesgo) dando como resultado de que la frecuencia de que ocurra sucesos accidentales es muy baja, la probabilidad es muy robusta que quiere decir que los enclavamientos funcionan correctamente y las consecuencias de que ocurran estos sucesos iniciadores son muy altas debido al tipo de fuentes que dispone el laboratorio y como resultado de tipos de barreras más utilizada según los sucesos iniciadores fueron enclavamientos y alarmas.

Desde el año 2013 que fue inaugurada las instalaciones nunca ha sucedido ningún accidente y las dosis recibidas al personal ocupacionalmente expuesto ha sido por debajo de los límites establecidos. Concluyendo que las medidas de seguridad de las instalaciones del Laboratorio cumplen con un alto estándar de seguridad y con nuestro análisis de recomendaciones planteadas a continuación se reforzará la protección radiológica para el personal expuesto y la seguridad que disponen a los accesos de zonas controladas y zona supervisada.

Y de acuerdo a nuestro análisis consideramos que el laboratorio debería de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones brindadas por nosotros.

1. Circuito cerrado de cámara, para mejor control de vigilancia en los límites de las instalaciones y controlar el acceso de las personas.
2. Enclavamiento en la puerta principal que da acceso a los laboratorios de radiación.
3. Mejora en la infraestructura para evitar filtraciones de agua en el techo o paredes.
4. Clausura de puerta corrediza ubicada en el pasillo que colinda con el área verde y da a las zonas controladas del laboratorio.
5. Enclavamiento en puerta del área controlada de fuentes, ubicada en laboratorio de Rayos X y dosimetría por incorporación.
6. Colocar vidrio o visor plomado para mitigar las dosis absorbidas por el personal ocupacionalmente expuesto en el área de Rayos X.

11. Anexos



Por este medio solicitamos al encargado de protección radiológica del laboratorio la contestación de estas preguntas para poder realizar la valoración y obtener un resultado de análisis para nuestra matriz de riesgo.

Preguntas para la elaboración del proceso de análisis de la matriz de riesgo.

1. ¿Cuenta con un sistema de dosimetría?
2. ¿Hay un en cargado en protección radiológica?
3. ¿Poseen un programa de Protección Radiológica?
4. ¿Poseen procedimientos de emergencia (simulacro)?
5. ¿En qué frecuencia de inspección regulares se encuentra los laboratorios:
Categoría A 1-3 años
Categoría B 3-5 años
Categoría C 5-10 años
6. ¿El personal cuenta con capacitación en dosimetría personal?
7. ¿Disponen de una verificación para protección al público?
8. ¿Poseen licencia de construcción?
9. ¿El diseño de instalación fue aprobado por el ente regulador?
10. ¿Qué medidas se utilizan para la descontaminación radiactiva por un accidente en las instalaciones?
11. ¿Cada cuánto es el periodo que se revisan los equipos para la seguridad del personal?
12. ¿Qué sucesos accidentales podrían presentarse y cómo?

13. ¿Cuáles sería las consecuencias de que haya un accidente radiactivo?
14. ¿Cómo pueden identificar los accidentes naturales o de errores humanos presente en las diferentes áreas?
15. ¿Cuenta el edificio con la debida infraestructura para desastre naturales?
16. ¿Qué falla ha tenido o tiene la estructura del laboratorio?
17. ¿Qué tipo de seguridad contra robos dispone el centro?
18. ¿Tienen algún plan de evacuación de emergencia?
19. ¿Dispone el centro de una zona de seguridad para evacuaciones?
20. ¿Cuenta con un número suficiente de personas capacitado en cada área?
21. ¿Dispone el centro de financiamiento para mantenimientos de local y equipos?
22. ¿Cuenta el centro con señalización de advertencias?
23. ¿El lugar donde está ubicado el centro es seguro para las personas aledañas?
24. ¿Posee el centro buen diseño de infraestructura de acuerdo a equipos, oficinas y baños?
25. ¿Poseen entrada para minusválido?
26. ¿Disponen de diferentes tipos de seguridad cada área del trabajo?
27. ¿Qué tan frecuente el centro realiza capacitaciones al personal que labora ahí?
28. ¿Qué normas utilizaron o se basaron para la apertura del centro?
29. ¿Cuentan con los permisos legales para ofrecer los servicios de dosimetría, laboratorio de control de calidad y monitoreo y laboratorio de dosimetría interna?
30. ¿Cuentan con un plan al momento de una clausura del centro?
31. ¿Cuentan con un plan para el desmantelamiento de los equipos?
32. ¿El área al redor del centro se puede utilizar?

33. ¿Cuentan con la debida instrumentación de protección radiológica para el manejo de los equipos?
34. ¿Tienen una sala de espera para visitantes segura?
35. ¿Disponen de medidas para robo de fuentes radioactivas?
36. ¿Disponen de medidas para robo de equipos tecnológicos y equipos radiológicos?
37. ¿Qué evaluaciones de seguridad deben actualizarse?
38. ¿Qué tipos de fuentes radioactivas tienen?
39. ¿Cuáles han sido los riesgos radiológicos que han tenido hasta la fecha?
40. ¿Existen medidas para controlar la exposición radiológica de los trabajadores y miembros de la población aledaña?
41. ¿Cuentan con sistema contra incendios?
42. ¿Qué medidas de seguridad tienen al momento de haber un conflicto armado en el país?
43. ¿Están preparados para un sabotaje de seguridad en las instalaciones del local en las áreas de radioactividad?
44. ¿Disponen de seguridad tecnológica para robo de información?
45. ¿Tienen algún respaldo del estado para cualquier situación de emergencia?
46. ¿Cuentan con personal comprometido a sus labores?
47. ¿Tienen algún plan de seguridad al momento de hacer reposiciones de fuentes radioactivas?
48. ¿Han aplicado medidas de pruebas para garantizar la fiabilidad y eficacia los planes de seguridad que disponen?
49. ¿Cuáles son los parámetros para la contratación de personal?
50. ¿El personal es óptimo y calificado para desempeñar en las diferentes áreas?
51. ¿Gestionan realizaciones de simulacros con intervención de ayudas externas?

52. ¿Detectan necesidades de modificación de los procesos, instalaciones o sistemas de trabajo?
53. ¿Tienen divididas por categoría sus fuentes radiactivas?
54. ¿Tienen una bitácora de acceso y frecuencia de uso de las fuentes radiactivas?
55. ¿Para fuente sellada tienen registros que determinan las dosis esperadas por exposición externa?
56. ¿Evalúan las dosis individuales y colectivas y comparan con los criterios de seguridad establecido?
57. ¿Poseen registros de incidentes o accidentes que hayan tenido en las instalaciones?

Plano de infraestructura del laboratorio con sus barreras de seguridad.



Fuente propia



Fuente propia

12. Glosario

12.1 Definiciones

- **Barreras de seguridad.**

Las defensas son aquellas medidas previstas para evitar, prevenir, detectar, controlar y mitigar las consecuencias de un accidente una vez ocurrido el suceso iniciador.

FORO. (2016). Barreras de seguridad o defensas. *Aplicación del método de la matriz de riesgo en radiografía industrial*. (Pag # 13). Paraguay: FORO.

- **Consecuencias.**

Son los posibles daños que se derivan como resultado del fallo de todas las defensas de seguridad, frente a la ocurrencia de un suceso iniciador. En la clasificación de las consecuencias se tomaron en cuenta la severidad de los efectos y el número de personas afectadas.

FORO. (2016). Consecuencias. *Aplicación del método de la matriz de riesgo en radiografía industrial*. (Pag # 13). Paraguay: FORO.

- **Matriz de riesgo.**

La matriz de riesgo es un método estructurado que consiste en evaluar la secuencia en la cual ocurren los accidentes.

- **Riesgo.**

En el lenguaje común, riesgo es la posibilidad de un daño. De manera más cuantitativa y precisa, se define el riesgo mediante una expresión matemática que relaciona la frecuencia de un suceso, con la probabilidad de fallo de las defensas y con las consecuencias (el daño) que pueden producirse.

FORO. (2016). Riesgo. *Aplicación del método de la matriz de riesgo en radiografía industrial*. (Pag # 12). Paraguay: FORO.

- **Secuencia accidental.**

Es una cadena de acontecimientos que empieza con el suceso iniciador y puede culminar en un accidente. La secuencia accidental incluye el suceso iniciador, la actuación o fallo de las medidas de seguridad, la exposición accidental y la manifestación de posibles consecuencias.

FORO. (2016). Secuencia accidental. *Aplicación del método de la matriz de riesgo en radiografía industrial*. (Pag # 13). Paraguay: FORO.

- **Suceso iniciador de accidente.**

Es cualquier fallo de equipo, error humano o suceso externo que puede conducir a consecuencias indeseadas.

CSN. (2017). Suceso iniciador. *Guía para la aplicación de la metodología de matrices de riesgo en radioterapia externa*. (Pag # 14). Madrid España.

13. Bibliografía

CNSN - Centro Nacional de Seguridad Nuclear, (2012) *Guía de Evaluación de seguridad de prácticas y actividades asociadas al empleo de fuentes de radiaciones ionizantes*. (Habana, CNSN)

CSN - Consejo de seguridad nuclear, (2017) *Guía para la aplicación de la metodología de matrices de riesgo en radioterapia externa* (Madrid, España. CSN)

CSN - Consejo de seguridad nuclear (2013) *Matrices de riesgo en radioterapia* (Madrid, España. CSN)

FORO - Foro Iberoamericano de Organismos reguladores radiológicos y nucleares (2016) *Aplicación del método de la matriz de riesgo en radiografía industrial* (Paraguay, FORO)

ICRP – Comisión internacional de protección radiológica. (2007) *Recomendaciones* (Madrid).

MINSAL - CONESA (2016) *Reglamento sobre protección física de las fuentes radiactivas* (Managua, MINSAL)

OIEA - Organismo internacional de energía atómica (2017) *Cultura de la seguridad física nuclear* (Viena, OIEA)

OIEA- Organismo internacional de energía atómica (2009) *Clasificación de las fuentes radiactivas, guía de seguridad No. RS-G-1.9* (Viena, OIEA)

OIEA - Organismo internacional de energía atómica (2004) *Protección radiológica ocupacional, guía de seguridad No. RS-G-1.1* (Viena, OIEA)

OIEA – Organismo internacional de energía atómica (2016) Normas de seguridad del OIEA, para la protección de las personas y del medio ambiente. *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad No. GSR parte 3* (Viena OIEA)

Miñana Aznar, A. (2004) *Análisis de riesgo en los establecimientos afectados de nivel inferior*.

Recuperado de: https://books.google.com.ni/books?id=h04thr-KnZ4C&pg=PA11&lpg=PA11&dq=preguntas+de+apertura+de+instalaciones+industriales&source=bl&ots=Pw9QVPmoO-&sig=ACfU3U1wA-EXTG-pZbKhekXc5VJ-NWaN9w&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj29vvR35_gAhXxzVkKHWJLDkMQ6AEwD3oECAoQAQ#v=onepage&q&f=false

Nucleus, (2016) *Monitoreo dinámico de riesgo empleando matriz de riesgo en prácticas médicas con radiaciones ionizantes*. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2016000100007