

Aplicación de matriz de riesgo con la metodología del IAEA-TECDOC-1685 en sala de tomografía axial computarizada en un centro hospitalario de Managua, Nicaragua durante el año 2022.

Danna Alizon Fuentes Corrales

Docente Horario del Departamento de Física,
Área del conocimiento de Ciencias Básicas y Tecnología de la UNAN-Managua
danna.fuentes@unan.edu.ni
<https://orcid.org/0009-0008-1530-6068>

Jorge Luis Gómez Tórrez

Docente e Investigador del Departamento de Física,
Área del conocimiento de Ciencias Básicas y Tecnología de la UNAN-Managua.
jorge.gomez@unan.edu.ni
<https://orcid.org/0009-0000-9394-8607>

Martin Pomares Calero

Docente e Investigador del Departamento de Física,
Área del conocimiento de Ciencias Básicas y Tecnología de la UNAN-Managua.
mpomares@unan.edu.ni
<http://orud.org/0000-0003-4994-0573>

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo realizar una evaluación de seguridad radiológica en tomografía axial y helicoidal al centro hospitalario X de Managua para identificar sucesos iniciadores aplicando una de matriz de riesgo con la metodología del IAEA-TECDOC-1685 en sala de tomografía axial computarizada en un centro hospitalario de Managua, Nicaragua durante el año 2022. El aumento de la capacidad instalada en radiodiagnóstico en el sector público y privado conlleva a la búsqueda de garantizar la seguridad de las instalaciones, personal ocupacionalmente expuesto (TOE), que incluye médicos de base, médicos residentes que atienden personal, técnicos que operan los equipos generadores de rayos X en particular los que operan el tomógrafo, además de eso se debe garantizar la seguridad del personal que se encuentra en las salas circundantes y los pacientes que son atendidos de forma cotidiana sea por cita o emergencia. El nivel de riesgo resultante (R) se obtiene utilizando la combinación lógica de los diferentes niveles de las variables independientes así definidos, es decir, la frecuencia del suceso iniciador (F), la probabilidad de fallo de las defensas previstas (P) y la severidad de las consecuencias (C) que caracteriza a una determinada secuencia de accidente. La evaluación de seguridad y conocimiento sobre el área de tomografía y los TOEs permitió identificar 16 posibles sucesos iniciadores, los cuales 9 se encuentran dentro de la región aceptable y región ampliamente aceptable siendo esto un riesgo despreciable, en cambio 7 se encuentran en la región inaceptable lo cual se debe de tomar acciones que permitan reducir estos riesgos.

Palabras Clave: Protección radiológica. Seguridad. Tomografía. Matriz de riesgos.

ABSTRACT

This study aims to conduct a radiological safety assessment of axial and helical computed tomography (CT) scans at Hospital X in Managua, Nicaragua, to identify initiating events by applying a risk matrix using the IAEA-TECDOC-1685 methodology in the CT scan room of a hospital in Managua, Nicaragua, during 2022. The increase in installed capacity for radiodiagnostics in the public and private sectors necessitates ensuring the safety of facilities and occupationally exposed personnel (OEP), including attending physicians, resident physicians who treat patients, and technicians who operate X-ray generating equipment, particularly the CT scanner. Furthermore, the safety of personnel in surrounding areas and patients receiving routine care, whether by appointment or emergency, must also be guaranteed. The resulting risk level (R) is obtained using the logical combination of the different levels of the independent variables thus defined, that is, the frequency of the initiating event (F), the probability of failure of the planned defenses (P) and the severity of the consequences (C) that characterizes a given accident sequence. The safety and knowledge assessment of the tomography area and TOEs allowed the identification of 16 possible initiating events, of which 9 are within the acceptable and widely acceptable region, which is a negligible risk, while 7 are in the unacceptable region, which requires taking action to reduce these risks.

Keywords: Radiological protection. Safety. Tomography. Risk matrix.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de seguridad radiológica en tomografía Axial e helicoidal computarizada de centro hospitalario X, es un procedimiento que permite garantizar la operación adecuada del tomógrafo, dicha evaluación tiene como base documentos internacionales y nacionales que a continuación se presentan:

- Normas de seguridad del OIEA para la protección de las personas y el medio ambiente:
 - a) Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades Requisitos de Seguridad Generales N° GSR Part 4 (Rev. 1).
 - b) Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad Requisitos de Seguridad Generales, Parte 3 N° GSR Part 3.
 - c) Principios fundamentales de seguridad Nociones fundamentales de seguridad No. SF-1.
- Comisión Nacional de Energía Atómica (CONEA), Ministerio de Salud (MINSAL).
 - a) Guías para la práctica médica radiológica convencional e intervencionista.
 - b) Reglamento técnico de protección contra la radiación ionizante de la república de Nicaragua.

Cabe destacar que la seguridad radiológica es esencial durante las aplicaciones clínicas de las radiaciones ionizantes, la tomografía computarizada (TC), que es un procedimiento con imágenes que usa equipo especial de rayos X para crear imágenes detalladas, o exploraciones de regiones internas del cuerpo.

En la presente investigación se utilizó una matriz de riesgo, la cual se define como:

“...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.” (Rodríguez y otros, 2019).

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 (justificación, optimización, justificación) pero en nuestro son niveles orientativos en todas las instalaciones y actividades y con el fin de determinar las medidas que será necesario adoptar para fortalecer la seguridad.

Por otra parte, en el reglamento técnico de protección contra las radiaciones ionizantes de la república de Nicaragua sección III optimización de la protección y seguridad, Art.28 establece que, “El proceso de optimización de las medidas de protección y seguridad puede abarcar desde análisis cualitativos de naturaleza intuitiva hasta análisis cuantitativos apoyados en técnicas de ayuda para la toma de decisiones, pero deberá permitir tener en cuenta de manera coherente todos los factores de interés a fin de contribuir al logro de los objetivos siguientes.....”.

Por otro lado, la ley N° 156 “ley sobre radiaciones ionizantes” en el Art. #1 establece que, "La 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." (Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, 1993) además en 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. (Asamblea Nacional de la República de Nicaragua, 1993)

El aumento de la capacidad instalada en radiodiagnóstico en el sector público y privado conlleva a la búsqueda de garantizar la seguridad de las instalaciones, personal ocupacionalmente expuesto (TOE), que incluye médicos de base, médicos residentes que atienden personal, técnicos que operan los equipos generadores de rayos X en particular los que operan el tomógrafo, además de eso se debe garantizar la seguridad del personal que se encuentra en las salas circundantes y los pacientes que son atendidos de forma cotidiana sea por cita o emergencia. En este caso en particular el centro hospitalario X de Managua no cuenta con una matriz de riesgo que permita identificar y mitigar los posibles riesgos, esto indica que no se han analizado los posibles sucesos iniciadores que causen eventos que pongan en riesgo a TOE y pacientes que visitan el área de tomografía para realizarse diferentes tipos de estudios.

No se tiene conocimiento de aplicación de normativas nacionales e internacionales en materia de protección e implicaciones de costo beneficio del uso de las radiaciones ionizantes en el

radio diagnóstico, es necesario contar con planes que permitan atender emergencias de carácter radiológico causadas por diferentes escenarios como desperfectos en equipos, error humano, huracanes, terremotos, recordando que Nicaragua es un país altamente sísmico, Managua por fallamiento local, además de sismos provocados por movimientos de placas tectónicas cocos y caribe, sumado a eso la actividad volcánica del pacífico.

El no contar con una la evaluación de los riesgos no permite a los TOE tener conocimientos para actuar ante cualquier tipo de evento, lo que impide una respuesta eficaz, sumado a esto la identificación de los riesgos permite realizar acciones de mitigación y si no se realiza la evaluación del peso de cada uno, no se puede conocer el posible impacto que puede tener hacia la seguridad de la infraestructura, TOE y pacientes.

Las políticas públicas del Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN), han tenido un enfoque centrado en la salud, la inversión en salud ha logrado aumentar la cantidad de hospitales en Nicaragua, y continuara aumentando según informo la ministra de la salud Dra. Ofelia Villalobos “Actualmente, tenemos 73 hospitales y seguimos creciendo; más los planificados para este año, serán 76” (TN8, 2025), estos hospitales cuentan con áreas de imagenología diagnóstica, en la que se encuentran los equipos generadores de rayos X, la realización de matrices de riesgo es vital para analizar los riesgos asociados a la manipulación de estos equipos.

MÉTODOLOGIA

Matriz de Riesgo

El estudio se realizó en el área de física médica, Protección Radiológica, el tipo de estudio es descriptivo, debido a que se ajusta a lo indicado por Sampieri “Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas de manera.” (Sampieri y otros, 2014).

Por su temporalidad es transversal, porque se aplicó en un tiempo de 6 meses acorde con la teoría que expresa: “Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único (Liu, 2008 y Tucker, 2004). Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento” (Sampieri y otros, 2014).

La matriz de riesgo es un método sistemático, estructurado, simplificado y conservador que se basa en la aplicación de la ecuación del riesgo que consiste en evaluar la secuencia lógica en la cual ocurren los accidentes, considerando que un determinado error humano o fallo de equipo (suceso iniciador) ocurre con una frecuencia determinada (f).

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 (P) de que estas barreras puedan fallar, y en tal caso ocurrirá el

accidente, y este se manifiesta con unas consecuencias determinadas (C) (Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares, 2016).

Ecuación de riesgo:

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

(1)

Para evaluar el riesgo, este método prevé subdividir cada una de las variables independientes de la ecuación de riesgo en varios niveles (Ejemplo: Muy alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo). En este sentido, la matriz de riesgo es una representación de todas las combinaciones de los niveles de F, P, C de la metodología del IAEA-TECDOC-1685.

El nivel de riesgo resultante (R) se obtiene utilizando la combinación lógica de los diferentes niveles de las variables independientes así definidos, es decir, la frecuencia del suceso iniciador (F), la probabilidad de fallo de las defensas previstas (P) y la severidad de las consecuencias (C) que caracteriza a una determinada secuencia de accidente.

“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” (Rodríguez y otros, 2019), 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.

Clasificación según el tipo de medidas de seguridad:

- *Enclavamiento:* 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.
- *Alarmas:* Son señales sonoras, visuales 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.
- *Procedimientos:* Son instrucciones escritas, que describen cómo realizar las tareas de cada área y sus equipos con el fin de evitar errores o desviaciones en las diferentes etapas de dicho proceso (FORO, 2016).

En cuanto a las medidas de seguridad el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares junto con sus miembros del FORO (consejo de seguridad nuclear (CSN), Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), y entre otros miembros) las clasifica en barreras y según el momento de actuación en la secuencia accidental detalla a continuación:

- *Barreras tipo 1:* Enclavamiento
- *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

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 (FORO, 2016).
- *Barreras*: Son aquellas medidas de protección previstas para evitar o reducir las consecuencias de un accidente a partir del suceso iniciador (Centro Nacional de Seguridad Nuclear, 2012).
- *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 (FORO, 2016).

Para la realización de la matriz se realizó una guía de observación para determinar los riesgos presentes en el área de tomografía del hospital.

El desarrollo de la matriz conlleva una serie de análisis sistematizados como está indicado, "... el primer paso del análisis es el de reconsiderar el nivel de riesgo a la luz de la calidad y robustez de las barreras y de los reductores de frecuencia y de consecuencias. La finalidad sería lograr que todas las secuencias cumplan el criterio de aceptabilidad. Dando respuesta a dichas preguntas se debe poder reclasificar el riesgo de un nivel inaceptable a uno aceptable." (Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), 2012). A continuación, se muestran los criterios establecidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Los sucesos iniciadores que pueden ocurrir en la sala de tomografía computarizada del centro hospitalario X de Managua- Nicaragua los cuales se detallan en la tabla 2, con sus respectivas variables las cuales son: variables de frecuencia (f) y probabilidad de fallo de las barreras (p) y variable de consecuencias (C), incluyendo de forma detallada sus consecuencias, cada variable tiene su respectivo nivel los cuales son: Muy alto (MA), alto (A), medio (M) y muy bajo (MB).

Tabla 2
Sucesos Iniciadores con sus respectivas variables y su posible consecuencia

Suceso (escenario)	Iniciador	F	P	C	Consecuencia de Riesgo
Mala Praxis		Media	Media	Muy Alta	Consecuencias Fatales para el paciente y/o TOEs
Robo de Equipo de PR		Muy baja	Muy baja	Alta	Irradiación innecesaria para acompañantes de pacientes críticos

Fallo de Equipo de TC	Media	Media	Muy alta	Reprogramación de los estudios y la no realización de estudios en casos de emergencia
Acciones Terroristas	Muy baja	Media	Muy alta	Daño a los equipos, robos y lesiones a TOEs y pacientes
Desastre Natural	Media	Media	Muy Alta	Daños en la Infraestructura
No realizar un mantenimiento adecuado	Muy baja	Media	Muy Alta	Irradiación de efecto determinístico o fallos durante estudio
Perdida de Información del Paciente	Media	Media	Alta	Realizar nuevamente estudio de radiodiagnóstico
Personal no capacitado	Muy baja	Muy Baja	Alta	Mala Manipulación del equipo
Fallo del Inyector del Contraste	Media	Media	Muy alta	Estudio incompleto e irradiación innecesaria
No cooperación del paciente durante la realización del estudio	Alta	Baja	Muy alta	Realización de estudio desde cero
Ingreso de personas ajenas	Media	Media	Media	Perdida de equipo e irradiación al publico
Destrucción del Blindaje de la sala de control	Muy baja	Media	Muy alta	Irradiación para TOEs a niveles estocásticos
Irradiación de paciente equivocado	Media	Baja	Media	Irradiación a niveles estocásticos
Irradiación del público por no poseer un correcto blindaje en la puerta principal de la sala	Muy baja	Baja	Media	Irradiación del público que se encuentran cerca de la entrada
Al paciente se le han realizado más de 3 tomografías en un lapso muy corto de tiempo	Media	Media	Alta	Irradiación de efecto determinístico o estocásticos
Explosión del tubo de rayos X por recalentamiento	Media	Baja	Alta	Daños físicos graves al paciente y/o TOEs que estén dentro de la sala de Tomografía

Nota: Tomado de (Fuentes, 2022)

Después de haber analizado la matriz de los sucesos iniciadores con sus respectivas variables y sus posibles consecuencias se procedió a realizar la matriz donde se involucran las barreras y/o medidas de seguridad en función del momento en que se produce la actuación respecto al suceso iniciador por el cual dichas barreras y/o medidas de seguridad son las que contiene

la sala de tomografía y el área de radiología. Por lo tanto, si estas barreras y/o medidas de seguridad fallan tendrán dichas consecuencias como se observa en la tabla 3.

- **Secuencias accidentales**

Tabla 3

Sucesos Iniciadores con sus respectivas variables, barreras y/o medidas de seguridad y/o consecuencias

Suceso Iniciador	Barreras y/o Medidas de seguridad	Consecuencias
Mala praxis	Barrera tipo 1: Enclavamientos del equipo de TC	Consecuencias potencialmente Fatales para el paciente y/o TOEs
	Barrera tipo 2: Alarmas externas a la sala	
	Reductores de Frecuencia: Capacitación de los TOEs	
	Reductores de Consecuencia: Acción inmediata del encargado de la sala de TC	
Robo de Equipo de PR	Barrera tipo 2: Alarmas Externa a la sala de TC	Irradiación innecesaria para acompañantes de pacientes críticos
	Barrera tipo 3: Miembros de seguridad del Centro Hospitalario X	
	Reductores de Consecuencia: Acción inmediata del encargado de la sala de TC	
Fallo de Equipo de TC	Barrera tipo 1: Enclavamiento de las barreras de seguridad del equipo y sala de control.	Reprogramación de los estudios y la no realización de estudios en casos de emergencia
	Reductores de Frecuencia: programa de mantenimiento programado	
	Reductores de Consecuencia: Notificación inmediata al encargado de EPR y/o Físico Médico del centro hospitalario	
Acciones Terroristas	Barrera tipo 1: Enclavamiento del equipo de TC	Daño a los equipos, robos y lesiones a TOEs y pacientes
	Barrera tipo 2: Alarmas externas a la sala	
	Barrera tipo 3: Miembros de seguridad externos a la sala	
	Barrera tipo 4: Plan de emergencia	
	Reductores de Consecuencia: Notificación inmediata al encargado de EPR y/o Físico Médico del centro hospitalario	

Suceso Iniciador	Barreras y/o Medidas de seguridad	Consecuencias
------------------	-----------------------------------	---------------

Desastre Natural	Barrera tipo 2: Alarmas externas a la sala	Daños a la Infraestructura en términos generales
	Reductores de Frecuencia: Capacitación de los TOEs sobre este tipo de situaciones	
	Reductores de Consecuencia: Ejecución de plan de emergencia ante desastre naturales.	
No realizar un mantenimiento adecuado	Barrera tipo 1: Enclavamientos	Irradiación de efecto determinístico o fallos durante estudio
	Reductores de Frecuencia: Realizar pruebas antes de ingresar a pacientes	
	Reductores de Consecuencias: Notificación al jefe del área de radiología para realizar acción inmediata de suspensión de labores	
Pérdida de Información del Paciente	Reductores de Frecuencia: Verificar siempre el envío correcto del estudio del paciente al PACS	Realizar nuevamente estudio de radiodiagnóstico
	Reductores de Consecuencia: Notificación inmediata al jefe del área de radiología	
Personal no capacitado	Barrera tipo 1: Enclavamiento del equipo de TC	Mala manipulación del equipo de TC y/o Medidas de seguridad de protección radiológica
	Reductores de Frecuencia: Capacitación con anterioridad del personal	
	Reductores de Consecuencia: Notificar al encargado de la Sala de TC	
Fallo del Inyector del Contraste	Barrera tipo 1: Enclavamiento del equipo de TC	Estudio incompleto e irradiación innecesaria
	Reductores de Frecuencia: Programa de mantenimiento programado	
	Reductores de Consecuencia: Notificar al jefe del área de radiología y suspensión de estudio	
No cooperación del paciente durante la realización del estudio	Barrera tipo 1: Enclavamiento del equipo de TC.	Realización de estudio desde cero
	Reductores de Frecuencia: Informar con anterioridad al paciente que debe de estar inmóvil durante el estudio, si el paciente es discapacitado informar al médico tratante	
	Reductores de Consecuencia: Notificar al jefe del área de radiología y suspensión de estudio	

Suceso Iniciador	Barreras y/o Medidas de seguridad	Consecuencias
Ingreso de personas ajenas	Barrera tipo 1: Cierre total de la entrada principal de la sala de tomografía	Pérdida de equipo e irradiación al público
	Reductores de Frecuencia: verificación de que, en la sala, se encuentre solamente el paciente que se realizara el estudio	

Destrucción del Blindaje de la sala de control	Barrera tipo 1: Enclavamiento de la sala de control del equipo de TC	Irradiación para TOEs a probables niveles estocásticos
	Barrera tipo 4: Suspensión inmediata de labores y notificación al jefe de radiología	
	Reductores de Frecuencia: verificación visual de que la sala de TC este en óptimas condiciones	
	Reductores de Consecuencias: Proceder al plan de emergencia ante ese tipo de situaciones	
Irradiación de paciente equivocado	Reductores de Frecuencia: Carga de trabajo moderada	Irradiación a niveles probablemente estocásticos
	Reductores de Consecuencia: Notificar al jefe de radiología y médico tratante	
Irradiación del público por no poseer un correcto blindaje en la puerta principal de la sala	Reductores de Frecuencia: Programa de mantenimiento programado	Irradiación del público que se encuentran cerca de la entrada de la sala de tomografía
	Reductores de Consecuencia: Suspender labores para prevenir irradiación innecesaria al publico	
Al paciente se le han realizado más de 3 tomografías en un lapso muy corto de tiempo	Reductores de Frecuencia: Notificar al jefe del área de radiología y Médico tratante y analizar sobre los principios de protección Radiológica	Irradiación de efecto determinístico o estocásticos
	Reductores de Consecuencia: Adecuar un protocolo de estudio que baje la dosis al paciente	
Explosión del tubo de rayos X por recalentamiento	Barrera tipo 1: Cierre total de la entrada	Daños Físico graves o fatales del paciente y/o TOEs de la sala de Tomografía
	Reductores de Frecuencia: Programa de mantenimiento programado	
	Reductores de Consecuencia: Notificar al jefe de radiología y Físico Medico	

Fuente: Tomado de (Fuentes, 2022)

- Aplicación de la ecuación de riesgo

Una vez obtenido estos resultados, se procedió a aplicar la ecuación de riesgo este es igual a la frecuencia del fallo (F) por la probabilidad de fallo de las barreras (P) por la magnitud de las consecuencias (C), el riesgo de igual manera que las variables (F, P Y C) tiene sus 4 niveles de riesgo (riesgo muy alto (R_{MA}), riesgo alto (R_A), riesgo medio (R_M) y riesgo bajo (R_B)).

Tabla 4
Resultado de la aplicación de la ecuación de riesgo a las variables resultantes de la matriz de riesgo.

Suceso Iniciador (SI)	F	Descripción de consecuencia	C	Barreras de seguridad	P	Riesgo	Reductores de frecuencia	Reductores de consecuencia
Mala Praxis	Media	Consecuencias Fatales para el paciente y/o TOEs	Muy Alta	-Enclavamientos del equipo de TC -Alarmas externas a la sala	Media	R_A	Capacitación de los TOEs	Acción inmediata del encargado de la sala de TC
Robo de Equipo de PR	Muy baja	Irradiación innecesaria para acompañantes de pacientes críticos	Alta	-Alarmas Externa a la sala de TC -Miembros de seguridad del Centro Hospitalario X	Muy baja	R_B	-	Acción inmediata del encargado de la sala de TC
Fallo de Equipo de TC	Media	Reprogramación de los estudios y la no realización de estudios en	Muy alta	-Enclavamiento de las barreras de seguridad del equipo y sala de control.	Media	R_A	programa de mantenimiento programado	Notificación inmediata al encargado de EPR y/o Físico Médico del centro hospitalario

Suceso Iniciador (SI)	F	Descripción de consecuencia	C	Barreras de seguridad	P	Riesgo	Reductores de frecuencia	Reductores de consecuencia
		casos de emergencia						
Acciones Terroristas	Muy baja	Daño a los equipos, robos y lesiones a TOEs y pacientes	Muy alta	-Enclavamiento del equipo de TC - Alarmas externas a la sala - Plan de emergencia	Media	R_A	-	Notificación inmediata al encargado de EPR y/o Físico Médico del centro hospitalario
Desastre Natural	Media	Daños en la Infraestructura	Muy Alta	- Alarmas externas a la sala	Media	R_A	Capacitación de los TOEs sobre este tipo de situaciones	Ejecución de plan de emergencia ante desastre naturales
No realizar un mantenimiento adecuado	Muy baja	Irradiación de efecto determinístico o fallos durante estudio	Muy Alta	- Enclavamiento del equipo	Media	R_A	Realizar pruebas antes de ingresar a pacientes	Notificación al jefe del área de radiología para realizar acción inmediata de suspensión de labores
Perdida de Información del Paciente	Media	Realizar nuevamente estudio de radiodiagnóstico	Alta	-No existen barreras directas	Muy baja	R_B	Verificar siempre el envío correcto del estudio del paciente al PACS	Notificación inmediata al jefe del área de radiología
Personal no capacitado	Muy baja	Mala Manipulación del equipo	Alta	-Enclavamiento del equipo de TC	Alta	R_B	Capacitación con anterioridad del personal	Notificar al encargado de la Sala de TC
Fallo del Inyector del Contraste	Media	Estudio incompleto e irradiación innecesaria	Muy alta	-Enclavamiento del equipo de TC	Media	R_A	Programa de mantenimiento programado	Notificar al jefe del área de radiología y suspensión de estudio

SI	F	Descripción de consecuencia	C	Barreras de seguridad	P	Riesgos	Reductores de Frecuencia	Reductores de Consecuencia
No cooperación del paciente durante la realización del estudio	Alta	Realización de estudio desde cero	Muy alta	-Enclavamiento del equipo de TC.	Baja	R_A	Informar con anterioridad al paciente que debe de estar inmóvil durante el estudio, si el paciente es discapacitado informar al médico tratante	Notificar al jefe del área de radiología y suspensión de estudio
Ingreso de personas ajenas	Media	Perdida de equipo e irradiación al público	Media	-Cierre total de la entrada principal de la sala de tomografía	Media	R_M	Verificación de que, en la sala, se encuentre solamente el paciente que se realizara el estudio	-
Destrucción del Blindaje de la sala de control	Muy baja	Irradiación para TOEs a niveles estocásticos	Muy alta	- Enclavamiento de la sala de control del equipo de TC - Suspensión inmediata de labores y	Media	R_A	Verificación visual de que la sala de TC este en óptimas condiciones	Proceder al plan de emergencia ante ese tipo de situaciones

				notificación al jefe de radiología				
Irradiación de paciente equivocado	Media	Irradiación a niveles estocásticos	Media	- No existen barreras directas	Baja	R_M	Carga de trabajo moderada	Notificar al jefe de radiología y médico tratante
Irradiación del público por no poseer un correcto blindaje en la puerta principal de la sala	Muy baja	Irradiación del público que se encuentran cerca de la entrada	Media	- No existen barreras directas	Baja	R_B	Programa de mantenimiento programado	Suspender labores para prevenir irradiación innecesaria al público
Al paciente se le han realizado más de 3 tomografías en un lapso muy corto de tiempo	Media	Irradiación de efecto determinístico o estocásticos	Alta	-No existen barreras directas	Media	R_A	Notificar al jefe del área de radiología y Médico tratante y analizar sobre los principios de protección Radiológica	Adecuar un protocolo de estudio que baje la dosis al paciente
Explosión del tubo de rayos X por recalentamiento	Media	Daños físicos graves al paciente y/o TOEs que estén dentro de la sala de Tomografía	Alta	-Cierre total de la entrada de la sala de Tomografía	Baja	R_A	Programa de mantenimiento programado	Notificar al jefe de radiología y Físico Medico

Fuente: Tomado de (Fuentes, 2022)

Teniendo los resultados de la tabla 5 se debe considerar la robustez de cada barrera existente como nos detalla el Organismo Internacional de Energía Atómica, lo cual esto va a brindar a reducir el nivel de la probabilidad de fallo de la barrera y acercarnos a un dato más realista

cabe mencionar que no todos los resultados de riesgo que estén en parámetros altos se pueden disminuir y que no todos los sucesos iniciadores cuentan con barreras directas.

Tabla 5
Resultado de la aplicación de los criterios y robustez de cada barrera

Suceso Iniciador	Tipo de barrera	Probabilidad de fallo de barrera sin corregir	Tipo de robustez	Total de Robustez expresada puntos	Probabilidad de fallo de barrera corregida	Riesgo sin corregir	Riesgo corregido
Mala praxis	1 y 2	Media	Robusta	512	Baja	R_A	La matriz de riesgo no permite bajar el riesgo se mantiene riesgo alto
Fallo de Equipo de TC	1	Media	Robusta	32	Baja	R_A	R_M
Acciones Terroristas	1,2,3,4	Media	Muy robusta	16,384	Muy baja	R_A	R_M
Desastre Natural	2	Media	Esta barrera no se considera lo bastante robusta para bajar la estimación de probabilidad de fallo y, por tanto, NO PERMITE reducir el riesgo resultante	16	Se mantiene igual a lo anterior	R_A	R_A
No realizar un mantenimiento adecuado	1	Media	Robusta	32	Baja	R_A	R_M

Suceso Iniciador	Tipo de barrera	Probabilidad de fallo de barrera sin corregir	Tipo de robustez	Total de Robustez expresada puntos	Probabilidad de fallo de barrera corregida	Riesgo sin corregir	Riesgo corregido
Perdida de Información del Paciente	No existen	Media	No existe	-	Se mantiene igual	R_A	R_A
Fallo del Inyector del Contraste	1	Media	Robusta	32	Baja	R_A	La matriz de riesgo no permite bajar el riesgo se mantiene riesgo alto
No cooperación del paciente durante la realización del estudio	1	Baja	Robusta	32	Se mantiene igual	R_A	Se mantiene igual dado que no entra dentro de los criterios según figura 4 del anexo
Ingreso de personas ajenas	1	Media	Robusta	32	Baja	R_M	La matriz de riesgo no permite bajar el riesgo se mantiene riesgo medio
Destrucción del Blindaje de la sala de control	1 y 4	Media	Muy robusta	128	Muy baja	R_A	R_M
Irradiación de paciente equivocado	No existen barreras directas	Baja	No existen	-	Se mantiene igual	R_M	Se mantiene igual dado que no entra dentro de los criterios según figura 4 del anexo
Al paciente se le han realizado más de 3	No existen barreras directas	Media	No existen	-	Se mantiene igual	R_A	Se mantiene igual dado que no entra dentro de los criterios

Suceso Iniciador	Tipo de barrera	Probabilidad de fallo de barrera sin corregir	Tipo de robustez	Total de Robustez expresada puntos	Probabilidad de fallo de barrera corregida	Riesgo sin corregir	Riesgo corregido
tomografías en un lapso muy corto de tiempo							según figura 4 del anexo
Explosión del tubo de rayos X por recalentamiento	1	Baja	Robusta	32	Se mantiene igual	R_A	Se mantiene igual dado que no entra dentro de los criterios según figura 4 del anexo

Finalmente como se detalla en la tabla 5, se observa que algunas probabilidad de fallo de las barreras no cumplen con los criterios de metodología del IAEA-TECDOC-1685, por lo que algunas no tienen barreras directas, o no llegan al puntaje requerido o la combinación de la matriz de riesgo no permite disminuir el riesgo, para la gestión del riesgo basándonos en los resultados se mantienen en un riesgo alto lo cual es considerado inaceptable a largo plazo, por lo tanto deben tomarse medidas para reducir el riesgo en un tiempo que se considere apropiado, seguidamente en la región aceptable se encuentran 6 resultados de riesgo medio y 3 de riesgo bajo que es en la región ampliamente aceptable lo cual el riesgo es despreciable.

CONCLUSIONES

La matriz de riesgo permito identificar cada una de las variables involucradas de la ecuación de riesgo, las variables de frecuencia (f) y probabilidad de fallo de las barreras (p) se subdividieron en los niveles alto, medio, bajo y muy bajo, mientras que para la variable de consecuencias (C) se seleccionaron los niveles muy alto, alto, medio y bajo con el objetivo de que la matriz fuera intrínsecamente conservadora.

Desde el punto de vista de las consecuencias, las cuales se detallaron las diferentes barreras para cada suceso iniciador, dando como resultado que existen barreras entre muy robustas (enclavamientos) y robustas (alarmas), en cambio algunos de los sucesos iniciadores no contienen estas barreras ya que no existen barreras directas para esos escenarios se describieron de igual manera medidas de seguridad entre ellas reductores de frecuencia y consecuencia.

La evaluación de seguridad y conocimiento sobre el área de tomografía y los TOEs permitió identificar 16 posibles sucesos iniciadores, los cuales 9 se encuentran dentro de la región aceptable y región ampliamente aceptable siendo esto un riesgo despreciable, en cambio 7 se encuentran en la región inaceptable lo cual se debe de tomar acciones que permitan reducir estos riesgos.

En términos generales es excelente el desempeño de los TOEs en el sentido de protección y seguridad radiológica, es importante mencionar el aporte de esta tesis monográfica a los procesos de gestión de la calidad en protección radiológica, proporcionando evidencias sobre el estado actual de los riesgos evaluados en el área de tomografía del centro hospitalario en estudio.

Referencias Bibliográficas

- Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. (21 de abril de 1993). Ley sobre radiaciones ionizantes. Managua, Managua, Nicaragua.
- Centro Nacional de Seguridad Nuclear. (Noviembre de 2012). *Guía de evaluación de seguridad de prácticas y actividades asociadas al empleo de fuentes de radiaciones ionizantes*. Cuba: CNSN. CNSN.
- FORO. (Junio de 2016). *Aplicacion de la Matriz de Riesgo en Radiologia Industrial*. FORO sitio web: [https://www.foroiberam.org/documents/193375/84925c64-e67e-42e3-b650-d46a19e77c9f#:~:text=La%20matriz%20de%20riesgo%20es,fallo%20de%20equipo%20\(suc%20eso%20iniciador\)](https://www.foroiberam.org/documents/193375/84925c64-e67e-42e3-b650-d46a19e77c9f#:~:text=La%20matriz%20de%20riesgo%20es,fallo%20de%20equipo%20(suc%20eso%20iniciador))
- Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares. (06 de 2016). *FORO*. FORO: <https://www.foroiberam.org/documents/193375/84925c64-e67e-42e3-b650-d46a19e77c9f#:~:text=La%20matriz%20de%20riesgo%20es,del%20nivel%20resultante%20de%20riesgo>.
- Fuentes, D. A. (2022). *aluación de seguridad radiológica en tomografía axial y helicoidal computarizada de centro hospitalario X en Managua durante el periodo de junio 2021 a febrero 2022*. Managua, Managua, Nicaragua.
- Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2012). *Aplicación del método de la matriz de riesgo a la radioterapia*. Viena: Austria. chrome-

- extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/te_1685_s_cd/PDF/IAEA-TECDOC-1685.pdf
- Rodríguez, K. X., Silva, J. J., & Orozco., L. F. (12 de abril de 2019). Protección Radiológica. *Evaluación de seguridad radiológica por medio de una matriz de riesgo en un laboratorio prestador de servicios de en el período del 10 de enero*. Managua, Nicaragua.
- Rodríguez, X. K., Silva, J. J., & Orozco, L. F. (2019). Evaluación de seguridad radiológica por medio de una matriz de riesgo en un laboratorio prestador de servicios de en el período del 10 de enero al 21 de marzo de 2019. Managua, Niicaragua.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* . Mexico : McGRAW-HILL /INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- TN8. (20 de Mayo de 2025). Ministra Villalobos: Sistema de salud de Nicaragua sumará tres nuevos hospitales en 2025. Managua, Managua, Managua. Retrieved 28 de Agosto de 2025, from <https://www.tn8.tv/nacionales/ministra-villalobos-sistema-de-salud-de-nicaragua-sumara-tres-nuevos-hospitales-en-2025/>