

# Evaluación de la Seguridad Radiológica del CICANUM: Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes y Almacén de Residuos Radiactivos

Radiological Safety Assessment of CICANUM: Ionizing Radiation  
Metrology Laboratory and Radioactive Waste Storage

Gerardo Noguera Vega & Patricia Mora Rodríguez

---

**NOGUERA, V. G. & MORA, R. P.** Evaluación de la seguridad radiológica del CICANUM: laboratorio de metrología de radiaciones ionizantes y almacén de residuos radiactivos. *J. health med. sci.*, 4(4):243-251, 2018.

**RESUMEN:** El Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) posee laboratorios que constituyen un riesgo radiológico latente, tales como, el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes (LMRI) en el cual se encuentran fuentes de Cs-137, Am-241 y Sr-90 y, un equipo de rayos X con blancos de tungsteno de 225 kV y molibdeno de 50 kV; otro laboratorio es el Almacén de Residuos Radiactivos que contiene residuos radiactivos de diferentes semiperíodos. Por tal razón, organismos internacionales recomiendan realizar una evaluación integral de los laboratorios en aras de la protección del personal expuesto. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar el CICANUM para evidenciar fortalezas y debilidades de las barreras y mitigadores que se tienen implementados y así reducir el riesgo de una exposición en el personal ocupacionalmente expuesto, a través del análisis de la matriz de riesgo del Sistema de Evaluación de Riesgo en Radioterapia (SEVRRRA). Se realizó un análisis de los laboratorios para establecer las posibilidades asociadas al riesgo (R), frecuencia (f), probabilidad de ocurrencia (P) y consecuencia (C) revisando el histórico de incidentes y resaltando debilidades y fortalezas de seguridad radiológica (SR). Posteriormente, se estableció en SEVRRRA las diferentes etapas, subetapas, sucesos iniciadores, barreras de consecuencia y reductores de frecuencia. El método consistió en subdividir variables independientes de la ecuación de riesgo ( $R = f * P * C$ ) en cuatro niveles cualitativos (Alto, Medio, Bajo, Muy Bajo) y con la tabulación de todas las combinaciones lógicas posibles se obtuvo cuatro niveles de riesgo (Muy Alto, Alto, Medio, Bajo), esto permitió establecer la matriz de riesgo asociada. Se obtuvo una matriz de riesgo en ambos laboratorios con resultado de riesgo bajo, así como evidentes acciones de mejora en protocolos de acceso, permanencia, logística operacional, infraestructura y equipamiento. El uso del código SEVRRRA adaptado permite evaluar efectivamente la seguridad radiológica de los laboratorios y establecer una referencia para futuras evaluaciones entorno al monitoreo, mejora continua y toma de decisiones en la gestión de la protección radiológica.

**PALABRAS CLAVE:** radiaciones ionizantes, residuos radiactivos, matriz de riesgo, código SEVRRRA.

---

## INTRODUCCIÓN

Realizar una evaluación de la seguridad radiológica de una instalación que alberga fuentes radiactivas o generadores de rayos X que pueden generar consecuencias al trabajador, paciente u público es necesaria para garantizar las buenas prácticas y reducir al máximo los posibles riesgos radiológicos asociados por la operación de estos equipos (IAEA, 1996; 2014; ICRP, 2007; EC, 2014). Actualmente existen países donde la autoridad reguladora exige un estudio de evaluación de la seguridad radiológica que

involucre todos los posibles escenarios desde el que presente mayores consecuencias hasta el de menor impacto.

El CICANUM tiene laboratorios que poseen fuentes radiactivas y generadores de rayos x, entre ellos están el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes que posee una fuente de Cs-137, un tubo de rayos X de hasta 225 kV con blanco de tungsteno y

otro tubo con blanco de molibdeno; además, el CICANUM cuenta con un almacén o bodega de residuos radiactivos que albergan varias fuentes en desuso. A pesar de que los laboratorios del CICANUM presentan una robustez demostrada con su experiencia y personal calificado, la posibilidad de fallos de equipo y humanos siempre estarán latentes y podrían implicar la exposición accidental a la radiación ionizante.

La experiencia como resultado de accidentes de radioterapia a nivel global han marcado la pauta para la seguridad de instalaciones y verificación de equipo, sin embargo esta experiencia no asegura al 100 % la no ocurrencia de un accidente u incidente con consecuencias al personal ocupacionalmente expuestos, paciente o público en general que podrían ser deterministas según sea la magnitud de la exposición.

El código SEVRRRA es una herramienta muy eficaz para evaluar la seguridad radiológica de instalaciones de radioterapia con Cobalto 60, braquiterapia, aceleradores lineales y medicina nuclear con resultados de evaluación muy confiables, sin embargo, esta herramienta no ha sido utilizada para evaluar un centro de investigación que posee varios laboratorios que usan en alguna medida fuentes radiactivas o generadores de rayos X de alta tasa de dosis (Alles *et al.*, 2014; Torres & Montes de Oca, 2015).

Entre los laboratorios del CICANUM se encuentra el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes (LMRI) que posee una fuente de Cs-137 que se utiliza para calibrar monitores de radiación; este laboratorio requiere mayor rigurosidad en su análisis porque la fuente radiactiva a pesar de estar encapsulada requiere de un manejo manual para moverla a su posición de exposición y viceversa; además, realizar los diversos procedimientos de validación y calibración que requieren, de cerrar o abrir la fuente, ingresar a la sala de irradiación, ajustar parámetros dosimétricos, mover el monitor, entre otros, mantienen latente la posibilidad de exposición por error humano. El LMRI también posee dos tubos de rayos x de potencial constante con blanco de molibdeno y tungsteno que implican una tasa de kerma en aire que en caso de accidente radiológico podría implicar dosis al personal ocupacionalmente expuesto (POE) similares a los usados en radioterapia con kV.

De esta manera surge la importancia para realizar la evaluación integral de todo el CICANUM para evidenciar fortalezas y debilidades de las barreras y

mitigadores que se tienen implementados y así reducir el riesgo de una exposición en el POE, a través del análisis de la matriz de riesgo SEVRRRA.

## MATERIAL Y MÉTODO

El análisis por matriz de riesgos es una técnica sistemática muy planificada que obedece a técnicas de análisis probabilístico de seguridad. Es una estrategia de planificación para evidenciar los sucesos iniciadores de un accidente y así la administración pueda priorizar para establecer las barreras y mitigadores que reduzcan el riesgo asociado según este sea clasificado como alto o muy alto (Alles *et al.*).

La estrategia consiste en realizar una evaluación inicial a los diferentes laboratorios donde se pueda determinar el uso de las fuentes radiactivas o generadores de rayos X, así como también, evidenciar su estatus y respaldo metrológico. Para ello, se recurre al uso de plataformas virtuales de encuestas y a la entrevista directa del encargado del laboratorio, recopilada la información y priorizando la posible consecuencia de un accidente radiológico se estructuran las etapas de operación de cada laboratorio para posteriormente establecer las subetapas y posibles sucesos iniciadores.

Establecidos los sucesos iniciadores se consideran las barreras de frecuencia y los mitigadores de consecuencias que existen en cada laboratorio.

Finalmente se determina el riesgo asociado a cada etapa de operación del laboratorio según sea la clasificación muy alto, alto, medio y bajo.

El algoritmo para determinar el riesgo es,  
$$R = f * P * C$$

Donde R es riesgo, f es frecuencia del suceso iniciador (número de veces/año), P es probabilidad de fallas de las barreras y C es la magnitud de las consecuencias, según sus efectos sean estocásticos o deterministas.

El método consiste en subdividir las variables independientes de la ecuación del riesgo en cuatro niveles cualitativos (Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo) y con la tabulación de todas las combinaciones lógicas posibles se obtienen cuatro niveles de riesgo (Muy Alto, Alto, Medio y Bajo).

El riesgo asociado a cualquier operación de los laboratorios se cuantifica en el posible daño y la probabilidad de que se produzca, el valor del riesgo obtenido permite limitarlo y clasificarlo por niveles, esto con el objetivo de establecer criterios aceptables que permitan considerar las operaciones como radiológicamente seguras. En la Tabla I se muestran los criterios de clasificación de nivel de frecuencia establecidos.

Las consecuencias también se clasifican acorde a la efectividad de las barreras, la Tabla II muestra los criterios establecidos.

Para el criterio de definición de las probabilidades se considera la probabilidad de fallo conjunto como el producto de cada una de las probabilidades de fallo

de las barreras individuales, de tal manera, que la probabilidad total es inversamente proporcional a la cantidad de barreras, considerando que la probabilidad de fallo para cada barrera es igual. La Tabla III expone este criterio (FORO, 2010a y b).

Con el uso de la matriz de riesgo y los parámetros independientes definidos con sus respectivos niveles de clasificación se determina el riesgo asociado a una actividad radiológica. Para definir los riesgos asociados se realiza una evaluación inicial en la que se preste atención a aquellos resultados donde el riesgo sea alto y muy alto. Luego se realiza una segunda evaluación de las secuencias de riesgo considerando los nuevos reductores de frecuencia y los nuevos mitigadores de consecuencias.

Tabla I. Criterios para la Asignación de Niveles de Frecuencia.

Nivel de Frecuencia	Acrónimo	Valor de Frecuencia (500 operaciones anuales)
Alta	$f_A$	$f > 5$
Media	$f_M$	$1 < f < 5$
Baja	$f_B$	$0,01 < f < 1$
Muy Baja	$f_{MB}$	$0,01 < f < 0,1$

Tabla II. Criterios para Clasificación de Consecuencias.

Nivel de la Consecuencia	Acrónimo	Criterio
Muy Alto	$C_{MA}$	Provocan efectos deterministas que causan detrimento permanente de la calidad de vida.
Alto	$C_A$	Causan efectos deterministas pero no producen daño permanente en calidad de vida de la persona.
Bajo	$C_M$	Aumentan la probabilidad de efecto estocástico, son causadas por irradiaciones no consideradas normales, pueden superar las restricciones de dosis.
Muy Bajo	$C_B$	No tienen consecuencias sobre los trabajadores pero son resultado de un fallo de una barrera en detrimento de la seguridad.

Tabla III. Criterios para Clasificación de Probabilidad.

Nivel de Probabilidad	Acrónimo	Criterio
Muy Alto	$P_{MA}$	No existen barreras
Alto	$P_M$	Máximo dos barreras
Bajo	$P_B$	Existen tres barreras
Muy Bajo	$P_{MB}$	Existen cuatro o más barreras

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla IV muestra las etapas, subetapas y posibles sucesos iniciadores para la bodega de desechos radiactivos. Las etapas analizadas fueron la apertura, la operación y el desmantelamiento.

En la Tabla V se observa parte de los 26 posibles sucesos iniciadores asociados al riesgo radiológico de la bodega de residuos radiactivos. El análisis mostró que en ningún caso se obtuvo un riesgo muy alto, sin embargo, hay cuatro sucesos iniciadores que poseen la clasificación de riesgo alto y a los cuales se les deben hacer las correcciones para reducir el riesgo a clasificación de riesgo medio o a riesgo bajo.

La Figura 1 muestra el estado de riesgo actual (derecha) y el estado de riesgo ideal (izquierda) según SEVRRRA para la bodega de residuos radiactivos. Los resultados obtenidos en relación al estado de riesgo actual, podrían deberse a que fueron considerados los desastres y siniestros naturales como un suceso iniciador con riesgo alto, a pesar de que posee baja frecuencia.

Respecto al LMRI, fue dividido en dos partes. La primera contempla la fuente Cs-137 (LMRI-Cs-137) y la segunda el equipo de rayos X (LMRI-RX). La Tabla VI muestra las etapas, subetapas y posibles sucesos iniciadores para el LMRI-Cs-137. Los resultados evidenciaron que el LMRI-Cs137 constaba de dos etapas, la primera es la apertura, en la cual se observaron 13 posibles sucesos iniciadores y la segunda etapa es la operación, con 7 posibles sucesos iniciadores.

La Tabla VII muestra parte de los 21 posibles sucesos iniciadores asociados al riesgo radiológico en el LMRI-Cs137. En este caso, no se obtuvo clasificaciones de riesgo muy alto. Sin embargo, se obtuvieron varias clasificaciones como riesgo alto, que obedecen a faltas de alarmas visuales y sonoras en caso que la fuente quede expuesta, ingreso del POE a la sala con la fuente expuesta, uso erróneo del irradiador y por considerar desastres naturales y siniestros. Las cinco clasificaciones de riesgo medio se debieron a que la sala de radiación no cuenta con los enclavamientos necesarios, no existe un sistema de cámaras de vigilancia en la sala de irradiación, insuficiente inspección de equipos monitores, incremento de la carga de trabajo, eventual traslado a la bodega de residuos reactivos de fuentes en desuso.

La Figura 2 muestra gráficamente el estado de riesgo actual (derecha) y el estado de riesgo ideal (izquierda) según SEVRRRA para el LMRI-Cs-137. Se observa que para cambiar el escenario actual de un estado ideal para el LMRI-Cs137, se deben realizar cambios que vayan orientados a mejorar los enclavamientos, instalar alarmas y cámaras de video en tiempo real mientras se irradia en la sala.

La Tabla VIII muestra las etapas, subetapas y posibles sucesos iniciadores del LMRI-RX. Este laboratorio, al igual que el LMRI-Cs137, consta de dos etapas, la primera es la apertura, en la cual se observaron 13 posibles sucesos iniciadores y la segunda etapa es la operación, con 7 posibles sucesos iniciadores. Por su parte, la Tabla IX muestra parte de los 20 posibles sucesos iniciadores asociados al riesgo radiológico. No se obtuvieron clasificaciones de riesgo muy alto. Sin embargo, si existieron clasificaciones

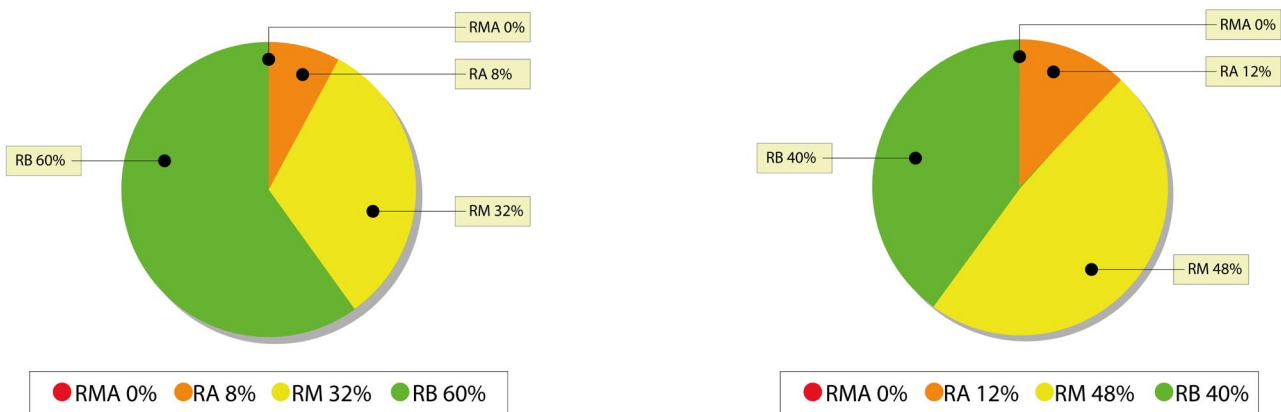


Fig. 1. Perfil de Riesgo Actual (derecha) y Perfil de Riesgo Ideal (izquierda) de la bodega de desechos radiactivos.

Tabla IV. Esquema Resumen del Análisis de la bodega de residuos reactivos: etapas, subetapas y posibles sucesos iniciadores.

Bodega de Desechos Radioactivos		Operación		Desmantelamiento			
Apertura		Operación		Desmantelamiento			
Instalación Física	Puesta en Marcha	Referente al personal	Autorizaciones	Referente al almacenamiento	Errores de procedimiento	Clausura	Traslado
Deficiencias en el blindaje de la bodega de almacenamientos.	Deficiencia en rotulación de las instalaciones.	Falta de curso de protección radiológica.	Carencia de los permisos de operación de las autoridades reguladoras.	Desaparición de una fuente.	Descarga de desechos radiológicos que aún tiene límites superiores al de descarga.	Carencia de un plan para el desmantelamiento de la bodega.	Perdida u olvido de alguna fuente líquida.
Carencia de un sistema de almacenamiento para fuentes de alta energía.	Personal no autorizado o visitante ingresa a la bodega.			Derrame de alguna fuente radioactiva líquida.	Errores de manipulación de las fuentes.		Derrame de alguna fuente líquida.
Piso con superficie absorbente.	Desastre Natural o Siniestro.			Las fuentes no permanentes no están acondicionadas.	Errores de manipulación de las fuentes.		Errores de manipulación de traslado.
Ausencia de un sistema de comunicación.	Clasificación errónea de la fuente al ingresar al sistema de la bodega.			Alto nivel de contaminación superficial de las áreas de trabajo.	Ingreso injustificado y prolongado de la bodega.		
				Falta de encapsulamiento de las fuentes.	Omitir la medición de dosis al ingresar a la bodega o sujetar una fuente.		
				Deficiencia o pérdida de las etiquetas de las fuentes.	Sabotaje del personal.		

de riesgo alto, considerándose la carga de trabajo y posibles fallos de los enclavamientos. Finalmente para el mismo laboratorio, la figura 3 muestra que para mejorar el perfil de riesgo actual (derecha) hacia un estado como el ideal (izquierda) el LMRI debe realizar cambios que vayan orientados a mantenimiento preventivo de los enclavamientos y demás dispositivos de seguridad así como monitorear las cargas de trabajo.

La Figura 3 muestra gráficamente el estado de riesgo actual (derecha) y el estado de riesgo ideal (izquierda) según el código SEVRRRA para el LMRI-RX. Para mejorar el perfil de riesgo actual (derecha) hacia un estado como el ideal (izquierda) el LMRI debe realizar cambios que van orientados a mantenimiento preventivo de los enclavamientos y demás dispositivos de seguridad así como monitorear las cargas de trabajo.

## CONCLUSIONES

El uso del código SEVRRRA es una eficiente herramienta de evaluación de la seguridad radiológica de estos laboratorios y permite establecer un punto de partida para evaluaciones futuras, además permite una evaluación de forma sistemática, exhaustiva y estructurada.

Esta evaluación permitió evidenciar los aspectos a mejorar para la seguridad radiológica, entre ellos insta-

Tabla V. Matriz de Riesgo de la bodega de residuos reactivos: posibles sucesos iniciadores asociados al riesgo radiológico de la bodega de residuos radiactivos.

Sucesor Iniciador (SI)	Barreras o Reductores	F <sub>D</sub>	P <sub>D</sub>	C <sub>D</sub>	R <sub>D</sub>	F <sub>R</sub>	P <sub>R</sub>	C <sub>R</sub>	R <sub>R</sub>
Deficiencia en el blindaje de la bodega de almacenamiento	(B) Construcción de la bodega (MR) (R <sub>c</sub> ) Laberinto de acceso (R) (R <sub>i</sub> ) Monitoreo de niveles de dosis (N)	F <sub>MB</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>MB</sub>	P <sub>B</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>B</sub>
Carencia de un sistema de almacenamiento para fuentes de altas energías	(B) Almacenamiento de fuentes con blindaje (R) (B) Mantener las fuentes en un lugar con acceso descontrolado (MR)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>MB</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>
Piso con superficie absorbente	(B) Colocación de pisos clínicos (MR) (R <sub>c</sub> ) Uso de líquidos de descontaminación (R)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>B</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>B</sub>
Ausencia de un sistema de comunicación	(B) Instalación de una línea telefónica (BLANDA) (B) Uso de un sistema de comunicación independiente (BLANDA)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>M</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>B</sub>
Deficiencia en la rotulación de la instalaciones	(B) Rotulación de las áreas de trabajo (BLANDA) (R <sub>i</sub> ) Verificación del estado de la rotulación (BLANDA)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>M</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>B</sub>
Personal no autorizado o visitante ingresa a la bodega	(B) Instalación de un sistema de cámaras de vigilancia (BLANDA) (B) Sistema de alarma de acceso al edificio (N) (R <sub>i</sub> ) Rotulación externa (BLANDA) (R <sub>i</sub> ) Acceso controlado al laboratorio (N)	F <sub>M</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>A</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>B</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>B</sub>
Desastre natural o Siniestro	(R <sub>c</sub> ) Plan de emergencia (N) (R <sub>c</sub> ) Personal capacitado en desastres naturales y siniestros (R) (R <sub>c</sub> ) Extintores y alarmas contra incendios (N) (R <sub>c</sub> ) Inspección y mantenimiento del equipo de emergencia (R)	F <sub>MB</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	F <sub>MB</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>
Clasificación errónea de la fuente al ingresar al sistema de la bodega	(B) Supervisión y revisión de los procesos (R)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>M</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>M</sub>

Tabla VI. Esquema Resumen del Análisis del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes con fuente de cesio (LMRI-Cs137): etapas, subetapas y posibles sucesos iniciadores.

Laboratorio de Metrología de Radiaciones de Ionizantes Cesio						
Apertura			Operación			
Instalación Física	Puesta en Marcha	Referente al personal	Referente a equipos	Autorizaciones	Fallas en el equipo	Errores de procedimiento
Deficiencias en el blindaje de la sala Cs-137.	Deficiencia en rotulación de las instalaciones.	Deficiencia o falta de capacitación en el uso del equipo.	Los equipos no cuentan con un mantenimiento periódico.	No contar con los permisos de la autoridad reguladora.	Fuente de radiación queda expuesta.	POE entra en la sala, con la fuente expuesta.
Deficiencia en el encapsulamiento de la fuente de Cs-137.	Personal no autorizado o visitante ingresa al laboratorio o a la sala de radiación.	Falta de curso de protección radiológica.	Uso erróneo del irradiador.		El sistema de enclavamiento falla.	POE se queda dentro de la sala de irradiación inadvertidamente.
Deficiencias en almacenamiento de las fuentes de radiación planares.	Desastre Natural o Siniestro.				Fallo de monitor de dosis ambiental fijo.	Fuentes radiactivas en desuso o que ya no son útiles para procedimientos del laboratorio.
La sala de irradiación no cuenta con enclavamientos necesarios.						Carga de Trabajo.
Ausencia de un sistema de comunicación.						

lar enclavamientos, cámaras de vigilancia, instaurar planes de emergencia en caso de desastre natural o siniestro, mantenimiento de equipo y capacitación de personal.

Tabla VII. Matriz de Riesgo del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes con fuente de cesio (LMRI-Cs137): posibles sucesos iniciadores asociados al riesgo radiológico en el laboratorio.

Suceso Iniciador (SI)	Barrera o reductor	F <sub>D</sub>	P <sub>D</sub>	C <sub>D</sub>	R <sub>D</sub>	F <sub>R</sub>	P <sub>R</sub>	C <sub>R</sub>	R <sub>R</sub>
Deficiencias en el blindaje de la sala de Cs-137	(B) Construcción del laboratorio de Cs-137. (MR) (B) Laberinto de acceso de Cs-137 (MR)	F <sub>MB</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>MB</sub>	P <sub>MB</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>B</sub>
Deficiencias en el encapsulamiento de la fuente de Cs-137	(B) Adquisición mediante fabricantes autorizados. (MR) (R <sub>c</sub> ) Monitoreo de niveles de dosis (R) (R <sub>c</sub> ) Prueba Frotis (R)	F <sub>MB</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>MB</sub>	P <sub>B</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>B</sub>
Deficiencias en el almacenamiento de las fuentes de radiación planares	(B) Almacenar las fuentes planares en un único lugar (R) (B) Mantener las fuentes planares en un lugar con acceso controlado (MR)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>MB</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>B</sub>
La sala de radiación no cuenta con los enclavamientos necesarios	(B) Instalación de un sistema de enclavamientos en el laboratorio (MR)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>B</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>B</sub>
Ausencia de un sistema de comunicación	(B) Instalación de una línea telefónica (BLANDA)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>M</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>B</sub>
Deficiencia en la rotulación de las instalaciones	(B) Rotulación de las áreas de trabajo (BLANDA) (R <sub>f</sub> ) Verificación del estado de la rotulación (BLANDA)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>M</sub>	C <sub>B</sub>	R <sub>B</sub>
Personal no autorizado o visitante ingresa al laboratorio o a la sala de radiación	(B) Sistema de alarma de acceso al edificio (N) (B) Instalación de un sistema de cámaras de vigilancia (BLANDA) (R <sub>f</sub> ) Acceso controlado al laboratorio (N) (R <sub>f</sub> ) Rotulación externa del laboratorio (BLANDA)	F <sub>M</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>A</sub>	F <sub>MB</sub>	P <sub>MB</sub>	C <sub>M</sub>	R <sub>B</sub>
Desastre Natural o Siniestro	(R <sub>c</sub> ) Plan de emergencia (N) (R <sub>c</sub> ) Personal capacitado en desastres naturales y siniestros (R)	F <sub>MB</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	F <sub>MB</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>

Tabla VIII. Esquema Resumen del Análisis del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes con equipo de rayos X (LMRI-RX): etapas, subetapas y posibles sucesos iniciadores del laboratorio.

Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes – Rayos X						
Apertura			Operación			
Instalación física.	Puesta en marcha	Referente al personal	Referente al equipo	Autorizaciones	Asociado a fallas en el equipo	Asociado a errores de procedimiento
Deficiencias en el blindaje de la sala.	Deficiencia en rotulación de las instalaciones.	Falta de curso de protección radiológica.	Los equipos no cuentan con un mantenimiento periódico.	Carencia de los permisos de la autoridad reguladora.	Fallo de mecanismo de enclavamiento.	POE se queda dentro del recinto de irradiación inadvertidamente.
Deficiencias en el blindaje del tubo de rayos X.	Personal no autorizado o visitante ingresa al laboratorio o a la sala de irradiación.	Deficiencia o falta de capacitación en el uso del irradiador.	El tubo de rayos X no cuenta con sistema de activación externo.		Fallo en el mecanismo del shooter y blindaje de tubo de rayos X.	POE intenta ingresar en la sala con el tubo de rayos X irradiando.
La sala de irradiación no cuenta con los enclavamientos necesarios.			Peligro de descarga eléctrica.		Fallo de monitor de tasa de dosis ambiental fijo.	Carga de trabajo. Sabotaje del personal.
Ausencia de un sistema de comunicación.	Desastre natural o siniestro.					

La utilización de la herramienta SEVRA permitió obtener una evaluación organizada por prioridades, con la ventaja de ser versátil ante modificaciones que a medida que el proceso de

mejora continua evoluciona va a simplificar la interacción con autoridades y profesionales intervinientes para la implementación y la adquisición de recursos.

Tabla IX. Matriz de Riesgo del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes con equipo de rayos X (LMRI-RX): posibles sucesos iniciadores asociados al riesgo radiológico del laboratorio.

Suceso Iniciador	Barrera o reductor	F <sub>D</sub>	P <sub>D</sub>	C <sub>D</sub>	R <sub>D</sub>	F <sub>R</sub>	P <sub>R</sub>	C <sub>R</sub>	R <sub>R</sub>
Deficiencias en el blindaje de la sala	(B) Construcción del laboratorio de Rayos X (MR) (B) Localización subterránea del laboratorio (MR) (RC) Monitoreo de niveles de dosis (MR)	F <sub>MB</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	F <sub>MB</sub>	P <sub>MB</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>
Deficiencia en el blindaje del tubo de rayos X	(B) Adquisición mediante fabricantes autorizados (R) (R <sub>d</sub> ) Monitoreo de niveles de dosis en sala de control (N) (R <sub>i</sub> ) Instalación de un monitor de tasa dosis ambiental (N)	F <sub>MB</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	F <sub>MB</sub>	P <sub>M</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>M</sub>
La sala de irradiación no cuenta con los enclavamientos necesarios	(B) Instalación de un sistema de enclavamiento óptico (MR) (B) Instalación de un sistema de enclavamiento de contacto mecánico (MR)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>MB</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>
Ausencia de un sistema de comunicación	(B) Instalación de una línea telefónica (BLANDA) (B) Uso de un sistema de comunicación independiente (BLANDA)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>M</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>
Deficiencia en rotulación de las instalaciones	(B) Rotulación de las áreas de trabajo (BLANDA) (B) Verificación del estado de la rotulación (BLANDA)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>M</sub>	F <sub>B</sub>	P <sub>M</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>
Personal no autorizada o visitante ingresa a la sala de radiación	(B) Sistema de alarma de acceso al edificio (N) (B) Instalación de un sistema de cámaras de vigilancia (BLANDA) (B) Instalación de un sistema de enclavamiento de contacto mecánico (MR) (B) Instalación de un sistema de enclavamiento óptico (MR)	F <sub>B</sub>	P <sub>A</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>A</sub>	F <sub>MB</sub>	P <sub>MB</sub>	C <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>



Fig. 2. Perfil de Riesgo Actual (derecha) y Perfil de Riesgo Ideal (izquierda) del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes con fuente de cesio (LMRI-Cs137).

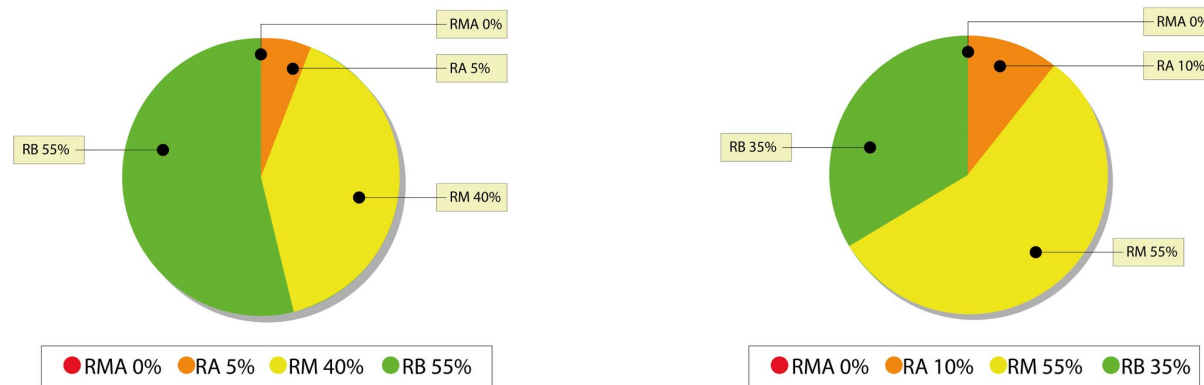


Fig. 3. Perfil de Riesgo Actual (derecha) y Perfil de Riesgo Ideal (izquierda) del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes con equipo de rayos X (LMRI-RX).



**NOGUERA, V. G. & MORA, R. P.** Radiological safety assessment of CICANUM: ionizing radiation metrology laboratory and radioactive waste storage. *J. health med. sci.*, 4(4):243-251, 2018.

**ABSTRACT:** The Research Centre on Atomic, Nuclear and Molecular Sciences (CICANUM) owns laboratories that represent a latent radiological risk, such as, The Metrology Laboratory of Ionising Radiation (LMRI) in which there are sources of Cs137, Am241, Sr90, and an X-ray equipment with 225kV tungsten targets and 50kV molybdenum. Another laboratory is the Radiation Waste Store that contains radioactive waste from different semiperiods. For that reason, international organisms recommend performing an integral evaluation for the sake of protecting the exposed staff. Thus, the aim of this study was to evaluate CICANUM to highlight strengths and weaknesses of the implemented barriers and mitigators so the occupational risk of the occupationally exposed workers could be reduced, using an analysis of the risk matrix of the System of Evaluation of Risk in Radiotherapy (SEVRRRA). An analysis of the laboratories was conducted to establish the possibilities associated with risk (R), frequency (F), probability of occurrence (P) and consequence (C), by reviewing the history of accidents and highlighting weaknesses and strengths of radiological safety (RS). Subsequently, SEVRRRA establishes different stages, substages, initiating events, consequences barriers, and frequency reducers. The method consists in subdividing independent variables of the risk equation ( $R = f * P * C$ ) into four qualitative levels (High, Medium, Low, Very Low) and with the tabulation of all possible logical combinations, four levels of risk were obtained (Very High, High, Medium, Low), this allowed establishing the associated risk matrix. A risk matrix was obtained from both laboratories with low-risk results, so as evident improving actions in access protocols, permanence, operational logistic, infrastructure, and equipment. The use of the adapted SEVRRRA code allows to effectively evaluate the radiological safety from the laboratories and establish a reference for future evaluations regarding monitoring, continuous improvement and decision taking in the management of radiological protection.

**KEY WORDS:** ionizing radiation, radioactive waste, risk matrix, SEVRRRA code.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alles, A.; Pérez, Y. & Duménigo, C. Evaluación de la seguridad radiológica en la práctica de perfilaje de pozos utilizando matrices de riesgo. *Nucleus*, 55:24-88, 2014.
- European Commission (EC). Council Directive 2013/59 Euratom laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation. *Off. J. Eur. Commun.*, 13-72, 2014.
- Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO). Aplicación del método de la matriz de riesgo a la radioterapia. Volumen 1: texto principal, 2010a. Disponible en: [http://www.foroiberam.org/web/UserFiles/File/MMaster\\_Matriz\\_de\\_riesgo\\_radioterapia\\_Volumen%201\\_version%2005%20con%20riesgo%20medio%20\(3\).pdf](http://www.foroiberam.org/web/UserFiles/File/MMaster_Matriz_de_riesgo_radioterapia_Volumen%201_version%2005%20con%20riesgo%20medio%20(3).pdf).
- Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO). Aplicación del método de la matriz de riesgo a la radioterapia. Volumen 2: Apéndices, 2010b. Disponible en: [http://www.foroiberam.org/web/UserFiles/File/MMaster\\_Matriz\\_de\\_riesgo\\_radioterapia\\_VOLUMEN\\_2\\_final\\_2\\_\(2\).pdf](http://www.foroiberam.org/web/UserFiles/File/MMaster_Matriz_de_riesgo_radioterapia_VOLUMEN_2_final_2_(2).pdf).
- International Atomic Energy Agency (IAEA). International Basic Safety Standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. *Safety Series No. 115*. IAEA, Vienna, Austria, 1996.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). IAEA safety standards: radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. ISSN 1020-525X, no. GSR Part 3. IAEA, Vienna, 2014.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP 103. Ann. ICRP.*, 37:2-4, 2007.
- Torres, A. & Montes de Oca, J. Nuevo algoritmo para análisis de riesgo en radioterapia. *Nucleus*, 58:39-46, 2015.

Dirección para correspondencia:

Gerardo Noguera Vega  
Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares  
Universidad de Costa Rica  
San José  
COSTA RICA

Email: [gerardo.nogueravega@ucr.ac.cr](mailto:gerardo.nogueravega@ucr.ac.cr)

Recibido : 27-07-2018

Aceptado: 17-10-2018