



Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental

**Proyecto de graduación para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería en
Seguridad Laboral e Higiene Ambiental**

**Exposición Ocupacional a Radiaciones Ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones
con Radiaciones Ionizantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica**

Realizado por: Erick Alonso Olmos Jiménez

Asesora académica: Ing. Ara Villalobos Rodríguez

Asesor industrial: Ing. Mario Conejo Solís

Junio, 2020



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

El presente Proyecto de Graduación titulado “Exposición Ocupacional a Radiaciones Ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica”, realizado en el “Campus Tecnológico Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica”, ha sido defendido públicamente ante el Tribunal Examinador integrado por las profesoras Ing. Mónica Carpio Chaves e Ing. Gabriela Hernández Gómez; como requisito para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La orientación y supervisión del trabajo desarrollado por el estudiante, estuvo a cargo de la profesora asesora Ing. Ara Villalobos Rodríguez.

Firmado digitalmente
por MONICA MARIA
CARPIO CHAVES
(FIRMA)
Fecha: 2020.07.03
08:57:09 -06'00'

Ing. Mónica Carpio Chaves

Profesora Evaluadora

En Representación de la Dirección

Firmado digitalmente
por ARA LILLIANA
VILLALOBOS
RODRIGUEZ (FIRMA)
Fecha: 2020.07.03
09:06:18 -06'00'

Ing. Ara Villalobos Rodríguez

Profesora Asesora

Firmado digitalmente
por MARIA GABRIELA
HERNANDEZ GOMEZ
(FIRMA)
Fecha: 2020.07.03
09:01:04 -06'00'

Ing. Gabriela Hernández Gómez

Profesora Evaluadora

Cartago, 3 de julio de 2020

AGRADECIMIENTOS

A Jehová que me ha dado la capacidad y fortaleza para afrontar con éxito, los retos que se presentaron y culminar satisfactoriamente esta etapa académica.

A mi familia, en especial a mi Madre, Hermanas, Hermano y Sobrinos por sus consejos y palabras de aliento durante este proceso académico.

A la Ing. Ara Villalobos Rodríguez, por su tiempo y guía durante la realización de este proyecto.

A la Ing. Doménica Díaz García, por sus consejos y la ayuda brindada en el proyecto.

A Charlie, por su amistad y consejos brindados durante la elaboración de esta propuesta.

A los compañeros de la Universidad con los que compartí y formaron parte de mi proceso académico.

Por último, pero no menos importante al Ing. Mario Conejo Solís y a quienes trabajan en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del ITCR por la colaboración y tiempo brindado en cada etapa de este proyecto.

DEDICATORIA

A Jehová, mi familia y todos aquellos
que me apoyaron y creyeron en
mí siempre.
¡Gracias!

RESUMEN

Este proyecto fue realizado en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR); lugar en el que se emplean las técnicas de radiografía industrial e irradiación gamma, como parte de los servicios que ofrecen al sector público o privado.

Como objetivo general del estudio, se planteó la formulación de una propuesta de seguridad radiológica en el LARI del ITCR. Aparte, se tuvieron como objetivos específicos: describir las condiciones de las instalaciones y de organización de trabajo que posee el LARI del ITCR, evaluar la seguridad asociada a los procesos que utilicen radiaciones ionizantes y diseñar una propuesta de programa de seguridad radiológica.

Dentro del proceso metodológico, se aplicaron herramientas como: encuesta higiénica, entrevistas personales, y recopilación de datos con las personas involucradas en radiografiado o irradiación. Entre los resultados obtenidos, se tuvo la falta de una inspección previa de los equipos emisores de radiaciones ionizantes ni actividades de mantenimiento preventivo, los equipos de dosimetría no se calibran y una demarcación que no cubre toda el área de irradiación cuando se trabaja fuera del búnker.

Por lo anterior, se propone un programa de seguridad radiológica que contemple el mantenimiento de equipos emisores de radiaciones ionizantes, procedimientos de trabajo seguro, controles ingenieriles y administrativos.

Palabras claves: exposición ocupacional, rayos gamma, radiografía industrial, seguridad radiológica.

ABSTRACT

This project was carried out at the Ionizing Radiation Applications Laboratory (IRAL) of the Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR); place where industrial radiography and gamma irradiation techniques are used, as part of the services they offer to the public or private sector.

As a general objective of the study, the formulation of a radiological safety proposal in the ITCR IRAL was considered. In addition, the specific objectives were: to describe the conditions of the facilities and work organization that the ITCR IRAL possesses, to evaluate the safety associated with processes that use ionizing radiation and to design a proposal for a radiation safety program.

Within the methodological process, tools such as: hygienic survey, personal interviews, and data collection with the people involved in radiography or irradiation were applied. Among the results obtained, there was a lack of a prior inspection of the ionizing radiation emitting equipment and preventive maintenance activities, the dosimetry equipment is not calibrated and a demarcation that does not cover the entire irradiation area when working outside the bunker.

Therefore, a radiological safety program is proposed that includes the maintenance of ionizing radiation emitting equipment, safe work procedures, engineering, and administrative controls.

Key words: occupational exposure, gamma rays, industrial radiography, radiation safety.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
A. Identificación de la empresa	1
1. Visión y misión	1
2. Antecedentes históricos	1
3. Ubicación geográfica.....	2
4. Organigrama de la organización.....	2
5. Cantidad de empleados.....	3
6. Mercado.....	3
7. Proceso productivo y productos	4
B. Planteamiento del problema	6
C. Justificación del proyecto	6
D. Objetivos	8
1. Objetivo general	8
2. Objetivos específicos	8
E. Alcances y limitaciones	8
1. Alcances.....	8
2. Limitaciones	9
II. MARCO CONCEPTUAL	10
III. METODOLOGÍA	15
A. Tipo de investigación	15
B. Fuentes de información	15
C. Población y muestra	17
D. Operacionalización de variables	18
E. Descripción de herramientas de investigación	21
F. Plan de análisis	27

IV. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	34
A. Condiciones de las instalaciones y organización de trabajo en el LARI	34
B. Seguridad asociada a los equipos y los procesos de trabajo	48
C. Conclusiones.....	59
D. Recomendaciones	61
V. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN.....	63
A. Aspectos generales del programa	64
B. Planificación del programa	67
C. Alternativa de solución	76
1. Controles ingenieriles	76
2. Controles administrativos.....	83
D. Capacitación del programa.....	143
E. Evaluación y seguimiento del programa	148
F. Cronograma del programa	150
G. Presupuesto del Programa	152
H. Aspectos relacionados con los controles contenidos en la alternativa de solución.....	152
I. Conclusiones	153
J. Recomendaciones	154
VI. BIBLIOGRAFÍA	155
VII. APÉNDICES	160
Apéndice 1. Entrevista al encargado de la Clínica de Atención Integral en Salud (CAIS) del ITCR	160
Apéndice 2. Entrevista al funcionario de la Unidad de Seguridad y Vigilancia (USEVI) del ITCR	162
Apéndice 3. Entrevista al funcionario de la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad (GASEL) del ITCR.....	163

Apéndice 4. Matriz de poder – influencia	164
Apéndice 5. Lista de verificación basada en el Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes N° 24037-S.....	165
Apéndice 6. Lista de verificación basada en el Código de Seguridad Humana NFPA 101	168
Apéndice 7. Bitácora de la observación no participativa de las actividades de radiografía industrial e irradiación gamma del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR	171
Apéndice 8. Diagrama de Ishikawa	172
Apéndice 9. Matriz de valoración de riesgos basada en la INTE 31-06-07:2011	173
Apéndice 10. Matriz RACI	173
Apéndice 11. Cuadro de capacitación.....	174
Apéndice 12. Cronograma de actividades del Programa de Seguridad Radiológica (PSR)	174
Apéndice 13. Cálculos de las propuestas de mampara de Plomo y Hierro empleando la ley de atenuación exponencial	175
Apéndice 14. Formulario de asistencia a capacitación.....	182
Apéndice 15. Seguimiento de responsabilidades del PSR.....	183
Apéndice 16. Seguimiento de controles del (PSR).....	184
Apéndice 17. Evaluación de la efectividad y control de la capacitación	185
Apéndice 18. Informe de control y seguimiento del programa	186
VIII. ANEXOS	187
Anexo 1. Encuesta Higiénica	187
Anexo 2. Entrevista semiestructurada al Responsable de Protección Radiológica (RPR) del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR, el coordinador del CIEMTEC (Centro de Investigación y Extensión en Ingeniería de los Materiales) y el director de la ECIM (Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales) del ITCR	193

Anexo 3. Cuestionario aplicado al personal ocupacionalmente expuesto (POE) del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR	197
Anexo 4. Lista de verificación de la Guía de Inspección sobre Condiciones de Salud Ocupacional del Consejo de Salud Ocupacional (CSO).....	202
Anexo 5. Lista de verificación del estándar AS 2243.3:1998.....	206
Anexo 6. Lista de verificación del TECDOC-1526 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para radiografía industrial.....	213
Anexo 7. Lista de verificación del TECDOC-1526 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para el irradiador gamma	218
Anexo 8. Lista de verificación de la OSHA 3132: Gestión de la seguridad en los procesos	223
Anexo 9. Guía para avalar una propuesta de capacitación ITCR.....	226

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro III-1. Operacionalización de las variables de la investigación	18
Cuadro III-2. Nivel de deficiencia.....	29
Cuadro III-3. Nivel de exposición.....	30
Cuadro III-4. Niveles de probabilidad	30
Cuadro III-5. Nivel de consecuencia.....	31
Cuadro III-6. Significado del nivel de riesgo.....	31
Cuadro III-7. Aceptabilidad del riesgo	31
Cuadro IV-1. Información sobre los equipos emisores de Rayos X con que cuenta el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes	34
Cuadro IV-2. Equipos y fuentes radioactivas del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.....	35
Cuadro IV-3. Resumen de las condiciones y actos inseguros encontradas mediante la observación no participativa	53
Cuadro IV-4. Resultado de los riesgos laborales aceptables con controles específicos	58
Cuadro IV-5. Resultado de los riesgos laborales valorados como aceptables	59
Cuadro V-1. Estructura de Desglose del Trabajo del PSR	68
Cuadro V-2. Matriz de involucrados del programa de seguridad radiológica del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR	71
Cuadro V-3. Matriz de asignación de responsabilidades del programa	73
Cuadro V-4. Equipos emisores de rayos X que posee el Laboratorio.....	77
Cuadro V-5. Atenuación teórica de radiación según la ley de atenuación exponencial	77
Cuadro V-6. Información de la mampara propuesta.....	78
Cuadro V-7. Información de los medidores portátiles propuestos.....	79
Cuadro V-8. Especificaciones de la señalización propuesta	81
Cuadro V-9. Características de la señalización de no fumar.....	81
Cuadro V-10. Características de la lámpara de emergencia propuesta.....	82
Cuadro V-11. Contenidos del curso de capacitación impartido por el RPR del LARI.....	144
Cuadro V-12. Temario de capacitación del Programa de Seguridad Radiológica	146
Cuadro V-13. Control y seguimiento del Programa de Seguridad Radiológica	148
Cuadro V-14. Control de cambios para los procedimientos del Programa	150
Cuadro V-15. Cronograma de las actividades a realizar del Programa de Seguridad Radiológica	151

Cuadro V-16. Presupuesto del Programa de Seguridad Radiológica	152
Cuadro V-17. Aspectos relacionados a los controles establecidos en la alternativa de solución propuesta en el proyecto.....	153
Cuadro VII-1. Valores de coeficientes de atenuación másico rayos X para el plomo (Pb)..	176
Cuadro VII-2. Valores de coeficientes de atenuación másico rayos X para el hierro (Fe) ..	177
Cuadro VII-3. Valores de μ para interpolar.....	178
Cuadro VII-4. Valores para interpolar del plomo.....	178
Cuadro VII-5. Valores para interpolar del hierro	179
Cuadro VII-6. Densidades del plomo y hierro	179
Cuadro VII-7. Valores con sus respectivas unidades	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1. Organigrama del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR.....	3
Figura I-2. Diagrama de procesos de radiografiado e irradiación gamma en el Laboratorio...	5
Figura III-1. Plan de análisis gráfico del proyecto	33
Figura IV-1. Operadores de los equipos emisores de radiaciones ionizantes del LARI	34
Figura IV-2. Valores de dosis equivalente anual en mili sievert (mSv) del personal ocupacionalmente expuesto del Laboratorio durante los años 2015 – 2019.....	39
Figura IV-3. Diagrama de fuerzas de la entrevista con el RPR, coordinador CIEMTEC y director de ECIM.....	41
Figura IV-4. Diagrama de fuerzas de la entrevista con personal de GASEL, USEVI y CAIS del ITCR.....	42
Figura IV-5. Matriz de poder – influencia	44
Figura IV-6. Resultados obtenidos de la aplicación de la lista de verificación basada en el reglamento N° 24037-S.....	45
Figura IV-7. Aspectos evaluados según NFPA 101.....	46
Figura IV-8. Aspectos evaluados con la guía del Consejo de Salud Ocupacional	47
Figura IV-9. Condiciones evaluadas usando el estándar AS 2243.3:1998 en el búnker del LARI	48
Figura IV-10. Condiciones evaluadas usando el estándar AS 2243.3:1998 en el irradiador gamma del LARI	49
Figura IV-11. Aspectos evaluados con el TECDOC-1526 del OIEA en el búnker del LARI..	50
Figura IV-12. Aspectos evaluados con el TECDOC-1526 del OIEA en el irradiador gamma del LARI	51
Figura IV-13. Aspectos evaluados con la lista de verificación de la OSHA (3132).....	52
Figura IV-14. Diagrama de Ishikawa sobre las condiciones y actos inseguros observados durante los procedimientos de trabajo	56
Figura V-1. Propuesta gráfica del Programa de Seguridad Radiológica (PSR).....	65
Figura V-2. Representación gráfica de la mampara de plomo propuesta.....	78
Figura V-3. Ubicación de la lámpara de emergencia en el área del búnker	82
Figura V-4. Ubicación de la lámpara de emergencia en el área del irradiador gamma.....	83

I. INTRODUCCIÓN

A. Identificación de la empresa

El lugar donde se realizó el proyecto corresponde a las instalaciones del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).

1. Visión y misión

Visión

“El Instituto Tecnológico de Costa Rica seguirá contribuyendo mediante la sólida formación del talento humano, el desarrollo de la investigación, la extensión, la acción social y la innovación científico-tecnológica pertinente, la iniciativa emprendedora y la estrecha vinculación con los diferentes actores sociales a la educación de una sociedad más solidaria e inclusiva; comprometida con la búsqueda de la justicia social, el respeto de los derechos humanos y del ambiente” (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2019).

Misión

“Contribuir al desarrollo integral del país, mediante formación del recurso humano, la investigación y la extensión; manteniendo el liderazgo científico, tecnológico y técnico, la excelencia académica y el estricto apego a las normas éticas humanísticas y ambientales, desde una perspectiva universitaria estatal de calidad y competitividad a nivel nacional e internacional” (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2019).

2. Antecedentes históricos

El uso de radiaciones ionizantes en la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales (ECIM) inició con la puesta en funcionamiento del Laboratorio de Control Radiográfico en el año 1993. Dicho Laboratorio se creó con la colaboración del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), quien dotó a la escuela con un equipo de rayos X con un potencial de 270 KV y una corriente de 5 mA, incluyendo de una fuente de Iridio 192 con una actividad registrada de 94 Ci (curies o curios) en el año 1994.

En la actualidad, el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes se orienta a la prestación de servicios a diversos sectores productivos del país. En el campo de la radiografía

industrial, se han atendido compañías del sector productivo de cemento, procesamiento de caña de azúcar, distribución de hidrocarburos, construcción de represas hidroeléctricas, entre otras. En el área de servicios de irradiación, se han atendido entidades privadas del sector salud, entidades vinculadas a proyectos de investigación en mejoramiento genético de especies vegetales y soporte técnico a estudios de grado y posgrado del ITCR, que involucran la modificación de propiedades físicas de los materiales, producto de la aplicación de radiación gamma.

3. Ubicación geográfica

El Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes se conforma del búnker ubicado en las instalaciones del Centro de Investigación y Extensión en Ingeniería de los Materiales (CIEMTEC) y el Laboratorio de Irradiación Gamma, adscritos a la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales (ECIM), ubicados en el Campus Tecnológico Central Cartago del ITCR. El CIEMTEC, se ubica a 700 m sur de la entrada principal del Campus.

4. Organigrama de la organización

Seguidamente, se muestra el organigrama del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (ver figura I-1).

En el organigrama, se indica la jerarquía que posee el Laboratorio y se incluyen otros entes institucionales (Clínica de Atención Integral en Salud y la Unidad de Seguridad y Vigilancia del ITCR) que la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral (GASEL) ha determinado que se deben involucrar en las actividades que realiza el LARI. La GASEL, a partir del I semestre del año 2019 designó a una ingeniera de la Unidad para analizar el accionar administrativo y funcional del LARI, y generar acciones en materia de seguridad laboral entre ambas áreas Institucionales.

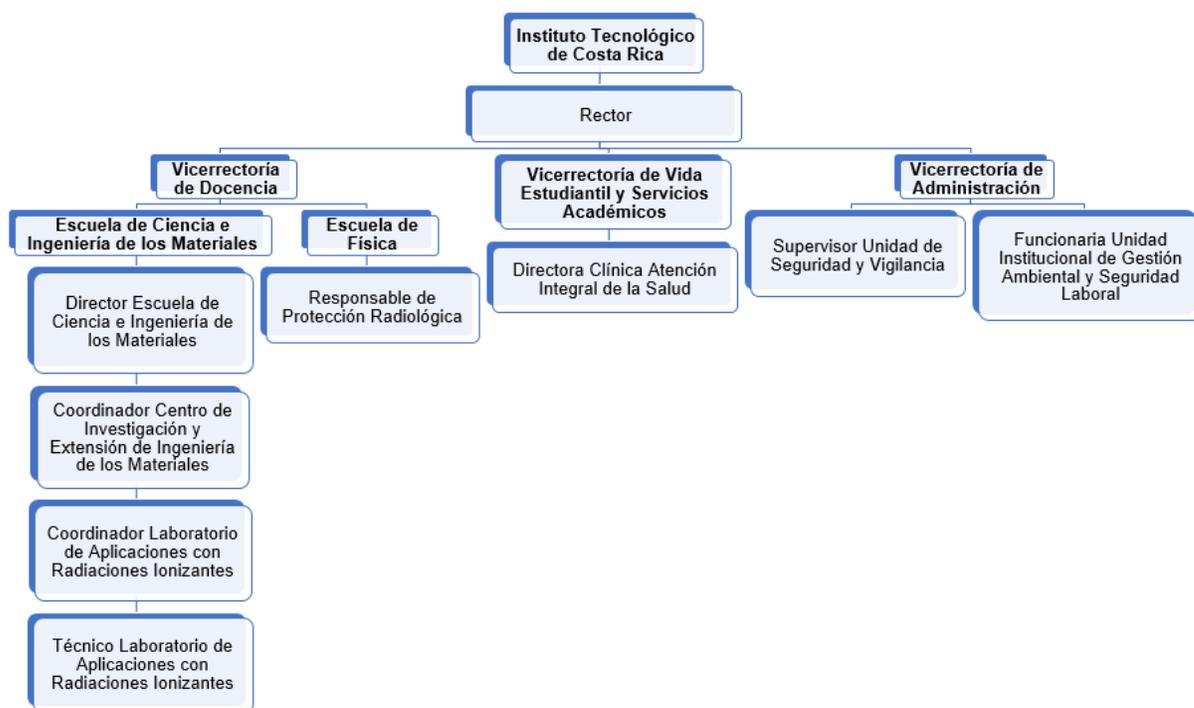


Figura I-1. Organigrama del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR

Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2019.

5. Cantidad de empleados

El Laboratorio cuenta con la participación de un técnico que manipula los equipos emisores de radiaciones ionizantes y es quien ejecuta los procedimientos de trabajo fuera de la Institución. El director de la ECIM y el coordinador del LARI, cuentan con licencia para operar los equipos del Laboratorio y realizar los procedimientos de trabajo también. Los tres, componen el personal ocupacionalmente expuesto (POE) del Laboratorio. Si no hay solicitudes de radiografiado o irradiación, el técnico del LARI trabaja como asistente en el CIEMTEC, mientras que el director de la ECIM, el coordinador del LARI y el coordinador del CIEMTEC continúan realizando actividades de docencia o investigación en la ECIM del ITCR. La jornada laboral corresponde al tiempo comprendido entre las 7:30 a.m. a 4:30 p.m.

6. Mercado

En la actualidad, el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes se orienta a brindar servicios en el área de radiografía industrial e irradiación gamma (no genera

productos). El mercado meta, se orienta en empresas públicas o privadas, que necesiten la toma de radiografías para el control de calidad de sus procesos productivos. Además, de aquellas que requieran los servicios de irradiación gamma para: esterilización de productos, modificación genética de especies vegetales y procesos generales que requieran desarrollar.

7. Proceso productivo y productos

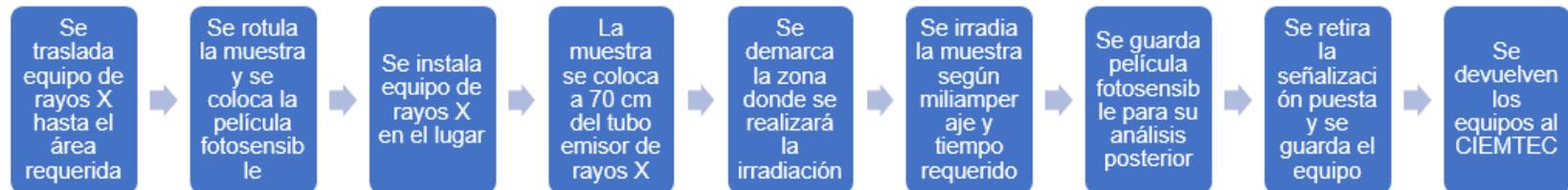
Dentro del LARI, se realizan procesos de trabajo (ver figura I-2) que corresponden a los ensayos no destructivos (END) indicados a continuación:

- **Técnica tradicional de radiografiado:** Mediante esta técnica se obtiene una imagen permanente del objeto de estudio a través de la exposición de una película radiográfica fabricada de un material polimérico (acetato) recubierto por una emulsión fotosensible. Luego de la exposición del material, se procede con el revelado de las imágenes y su posterior evaluación por parte del inspector. Como equipo, se utiliza un tubo de rayos X marca Toshiba modelo EX 250 G2, con potencial máximo de 270 KV y corriente de filamento variable. El peso del tubo es de 50 kg.
- **Técnica digital de radiografiado:** en esta técnica, se reemplaza la película radiográfica por un dispositivo electrónico llamado “caset” cuya función es la de capturar la imagen del objeto, sin la necesidad de pasar por el proceso de revelado con el uso de químicos y presenta una mejora sustancial de la imagen final obtenida. El equipo, consiste en una fuente emisora de pulso de rayos X marca Vidisco, con potencial máximo de 270 KV, corriente ajustable y una pantalla electrónica (detector).
- **Técnica de irradiación gamma multipropósito:** consiste en la irradiación de especímenes mediante la aplicación controlada de radiación gamma. Se cuenta con un irradiador auto blindado tipo gammacell de la marca IZOTOP, que posee una fuente radioactiva de Cobalto 60 y una actividad de doce mil curios (12 000 Ci).

Radiografiado (dentro de las instalaciones del búnker)



Radiografiado (fuera de las instalaciones del búnker)



Irradiación gamma (empleando el gammacell)

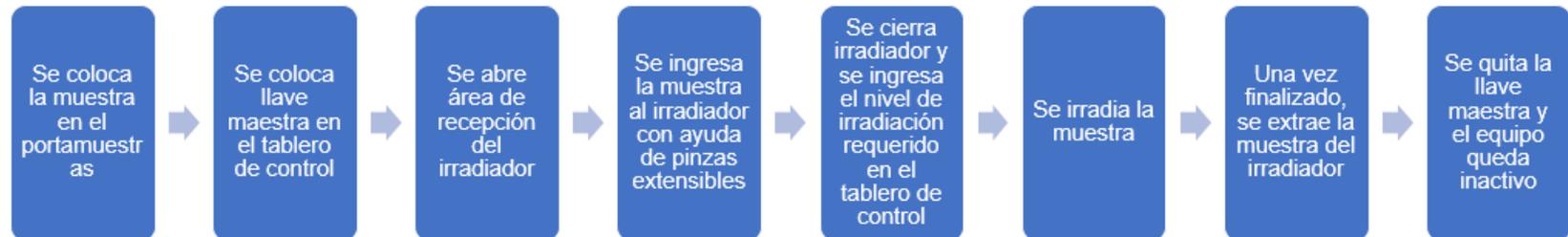


Figura I-2. Diagrama de procesos de radiografiado e irradiación gamma en el Laboratorio

Fuente: Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes, 2019.

B. Planteamiento del problema

Como se indica en el Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes en su artículo 16, es fundamental que en todo centro de trabajo donde se empleen fuentes emisoras de radiaciones ionizantes, se cuente con procedimientos de protección radiológica en las operaciones que se lleven a cabo en el lugar. Además, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) establece en la guía de seguridad específica N° SSG-11 “Seguridad Radiológica en la Radiografía Industrial”, que un programa de seguridad radiológica debe abarcar procedimientos, responsabilidades y ajustarse a las necesidades del centro de trabajo. Por lo que, en el Laboratorio no se evidenciaron procedimientos implementados para la verificación y calibración de los equipos de monitoreo personal, la inspección y mantenimiento de equipos emisores de radiaciones ionizantes y las responsabilidades no están claramente definidas en un Programa de Seguridad Radiológica.

C. Justificación del proyecto

Reportes del Comité Científico de las Naciones Unidas sobre Efectos de las Radiaciones Ionizantes UNSCEAR (2016) indican que, aproximadamente el 40 % de los accidentes nucleares o radiológicos ocurridos a nivel mundial, con consecuencias clínicas, se relacionaron con la radiografía industrial. Aunado a lo anterior, menciona 211 casos reportados entre los años 1951 al 2000, en la industria no nuclear; pero recalca que 149 casos (un 70 %) ocurrieron en el ámbito de la radiografía industrial, los cuales en la actualidad siguen sucediendo.

Aparte, informes del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA (2016), indican que entre los años 1945 y 2007 se han reportado 80 accidentes en instalaciones industriales que utilizaban equipos de rayos X, aceleradores o fuentes radioactivas. Además, se registraron nueve muertes debidas a esos accidentes y unos 120 trabajadores resultaron heridos. Indican que, una parte de los trabajadores presentaron el síndrome de radiación aguda y que las manos fueron la zona corporal más afectada, llegando a ser amputadas en ciertas ocasiones.

Dentro de los efectos que puede sufrir un individuo que se expone ocupacionalmente a radiaciones ionizantes están: los efectos determinísticos, que ocurren cuando la persona recibe altas dosis de radiación que pueden causar un daño permanente o incluso la muerte. Aparte, están los efectos denominados estocásticos, que suceden cuando el ser humano

recibe radiación que no mata las células, pero genera mutaciones en ellas que pueden desembocar en cáncer y/o transferirse a las siguientes generaciones (Reba, 2019). Por tanto, la existencia de actividades que involucran el uso de radiación ionizante en el Laboratorio, en especial el área industrial, provoca que trabajadores se expongan a ese tipo de radiación, asumiendo los riesgos que implica la realización de esas actividades en esos entornos.

Las actividades de radiografiado e irradiación que realiza el personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes, no contemplan la inspección previa de los equipos ni el mantenimiento preventivo o correctivo, tampoco se calibran los equipos de medición personal ni mantienen un registro unificado de las dosimetrías que realizan al personal y se contratan al Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de la Universidad de Costa Rica (UCR). Es por lo anterior, que la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral (GASEL) desde su creación en el año 2016, realiza gestiones para integrarse activamente en las actividades que realiza el LARI y generar un impacto positivo en materia de salud ocupacional en el mismo (GASEL, 2019).

La importancia de contar con una cultura de seguridad radiológica en el LARI radica en el compromiso de los involucrados y su participación en todas las fases que están presentes en un programa que contemple aspectos de trabajo, administrativos y la documentación que garanticen registros confiables de información (Villareal *et al.*, 2008). Por todo lo mencionado anteriormente, un programa de seguridad radiológica ocupacional garantizará un uso aceptable y seguro de las radiaciones ionizantes en las instalaciones del Laboratorio (Hernández & Soler, 2015).

D. Objetivos

1. Objetivo general

- Proponer un Programa de Seguridad Radiológica para Radiaciones Ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

2. Objetivos específicos

- Describir las condiciones de las instalaciones y de organización de trabajo que posee el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.
- Evaluar la seguridad asociada a los procesos que utilicen radiaciones ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.
- Diseñar un programa de seguridad radiológica para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

E. Alcances y limitaciones

1. Alcances

El alcance de este proyecto consideró la identificación de las condiciones de instalaciones, equipos y riesgo de exposición ocupacional a radiaciones ionizantes (RI) del personal ocupacionalmente expuesto (POE) del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

Se propone el diseño de un Programa de Seguridad Radiológica que permita al Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes una gestión integrada y segura de los procesos que involucren el uso de radiación ionizante (RI) por parte de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (POE) y se ajuste a las actividades que estos realizan.

El Programa de Protección Radiológica planteado, se diseñó para cumplir con requerimientos técnicos que estipulan entes internacionales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) y entes nacionales como la Comisión de Energía Atómica (CEA) de Costa Rica y el Ministerio de Salud (MINSAL) en el tema de radiaciones ionizantes.

2. Limitaciones

En el Laboratorio se realizan actividades donde se emplean trazadores radioactivos. Estas no fueron evaluadas, porque no se tenía previsto realizar algún procedimiento de este tipo durante la fase de estudio del proyecto.

El ingreso al área de irradiación (irradiador gamma) y el búnker del Laboratorio es restringido, por lo que se debieron concretar las visitas según la disponibilidad del coordinador del lugar, que provocaron atrasos para la recolección de información mediante la observación no participativa.

Se carecen de registros sobre accidentes/incidentes laborales en el LARI, que impiden determinar la ocurrencia de eventos no deseados a los trabajadores del área de irradiación gamma o el búnker.

Se brindaron informes de dosimetría por parte del responsable de protección radiológica (RPR) sin características de género, edad ni identificación del personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes. Por lo que se analizaron los datos brindados con la información que contenían las dosimetrías facilitadas.

En la alternativa de solución se brinda un procedimiento sobre manejo de desechos radiactivos del LARI en el cual se brindan pautas generales sobre el manejo de las sustancias radiactivas consideradas de desecho, pero no se contemplaron ejemplos de diseño del etiquetado que deben llevar estos residuos.

II. MARCO CONCEPTUAL

Las radiaciones son formas de energía que se emiten de manera particulada o corpuscular y electromagnética. Éstas se clasifican en dos grupos: ionizantes o no ionizantes (CISTEMA - SURATEP, 2004). Se destaca que, las radiaciones y las sustancias radiactivas se utilizan en diversas aplicaciones beneficiosas para el ser humano, que van desde los usos en medicina, la agricultura y la industria, hasta la generación de electricidad. Por eso, deben tomarse en cuenta los riesgos asociados a las radiaciones y sus consecuencias sobre los trabajadores, la población y el ambiente (IAEA, 2018).

Cabe destacar que, el ser humano se encuentra expuesto a dos fuentes de radiación, una natural proveniente de las fuentes naturales en el planeta y el espacio, y otra artificial, generada a partir del uso de fuentes de energía ionizante en procedimientos radiológicos, actividades bélicas, accidentes en el manejo de dichas sustancias y su aplicación en la industria (Saravia, 2013). Es así, que su uso en diversas áreas es inminente y se debe comprender que no es una energía libre de riesgos, pero tampoco es incontrolable (Daza Hernández, 2008).

Debe señalarse, que la radiación ionizante se comprende como un efecto en el que partículas provocan la separación de los electrones en átomos y moléculas. Siendo que, la radiación ionizante directa consta de partículas cargadas, que son los electrones energéticos, positrones, protones, partículas alfa, mesones cargados, muones y los iones pesados (átomos ionizados). Cabe destacar, que este tipo de radiación interactúa con la materia mediante la fuerza de Coulomb, haciendo que los electrones de átomos o moléculas sean atraídos o repelidos según su carga (Cherry Jr., Upton & Porter, 2012).

Por consiguiente, se deben considerar los efectos biológicos que genera la transferencia de energía cuando entra en contacto con la materia viva y los mecanismos que adopta el organismo con el fin de conservar esa energía que le fue transferida (Foradori, 2017). Los efectos adversos a la salud producidos por la exposición a la radiación ionizantes se agrupan en dos categorías: efectos deterministas y efectos estocásticos. Aquellos efectos deterministas (reacciones tisulares nocivas) se deben a defectos o muerte en las células tras dosis elevadas y los estocásticos, son producto de la exposición de los individuos y la consecuente mutación de las células somáticas, desencadenando la aparición de cáncer o se deben a una

enfermedad heredable debido a la mutación de las células reproductoras germinales (ICPR, 2007).

Según Munar & Ríos (2009), los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes serían aquellos que por su ocupación tienen el riesgo de exponerse a dosis límites anuales mayores que el público general. Siendo de importancia tomar en cuenta los siguientes criterios: trabajar próximos a fuentes de radiaciones ionizantes en actividad, en la ejecución de sus labores de manera habitual y estando asignados a tareas que implican su permanencia en zonas controladas o supervisadas.

Por su parte, Marín *et al.* (2017) explican el riesgo como la ocurrencia de un evento iniciador que se deriva de errores humanos o debido al mal funcionamiento de los sistemas tecnológicos de la instalación, las barreras y la defensa en profundidad para evitar o mitigar los efectos de los accidentes. Además, menciona que para situaciones cuyas consecuencias sean muy graves, se deben establecer estrategias para tener una probabilidad muy baja y hacer el riesgo aceptable. La *International Atomic Energy Agency* IAEA (2014) menciona que la exposición es el contacto directo o indirecto a la radiación que emita una fuente de energía ionizante. Además, indica que exponer tejidos u órganos a la radiación provoca alteraciones en las células del tejido u órgano expuesto. Por lo que la dosis y el tiempo de exposición son fundamentales para determinar los efectos agudos o de largo plazo que pueden presentarse en el ser humano. La dosis de radiación que puede recibir un individuo se relaciona con aquella que recibe de la fuente emisora de energía ionizante y es absorbida por uno o varios órganos (Nejaim *et al.*, 2015). Es así como, los efectos que puede presentar una persona que se expone a radiaciones ionizantes van a depender de la dosis que reciba y del tiempo de exposición a las mismas.

En todo caso, la protección al trabajador radica en cumplir con normativas y requerimientos tanto nacionales como internacionales (Forteza *et al.*, 2004). Según Cárdenas *et al.* (2019), se deben generar espacios o áreas que reúnan condiciones que permitan utilizar las fuentes de radiación ionizante, de manera que ésta no se propague a espacios contiguos y se mantenga su energía ionizante contenida en esa área, bajo ambientes controlados. Cabe resaltar que, las fuentes de emisoras de energía ionizante se utilizan en aplicaciones educativas, de agricultura, investigativas, médicas y en la industria, siendo esta última, un área que presenta una alta demanda en el sector comercial y, por ende, la aplicación de las técnicas de trabajo

que requieran ser ejecutadas por un operario, implicarán una serie de riesgos derivados de la exposición a radiación en las áreas de trabajo (Niu, 2011).

Dentro de los ambientes controlados donde se emplean radiaciones ionizantes, están los destinados a la ejecución de ensayos no destructivos (END) donde, se hacen pruebas para encontrar fallos en diversas piezas sin alterar sus propiedades. Dentro de esta categoría, se tienen las conocidas como radiografías industriales, que se basan en obtener una imagen visual del interior de un material, mediante el uso de equipos generadores de Rayos X, para luego ser analizada por un inspector y establecer acciones a los defectos encontrados. En efecto, el radiografiado se debe realizar en áreas de exposición controladas con equipo de seguridad y con un cuarto oscuro para el revelado de la imagen (Calderón Cáceres & Scarpati Gálvez, 2018).

En otras palabras, no sólo se requieren lugares que cumplan con características que los hagan seguros frente a las radiaciones; se hace necesario contemplar el componente humano que interviene en el proceso y los riesgos a los que se ve expuesto. Es por ello, que surge la necesidad de aplicar técnicas de análisis de riesgos en las actividades que involucren radiaciones ionizantes que se en caminen a buscar oportunidades de mejora, con el fin de resguardar la salud y seguridad de los trabajadores (Alles Leal, Pérez Reyes & Duménigo González, 2014).

Dentro de las alternativas que se deben tomar en cuenta para un uso seguro de fuentes de radiación, está la implementación de sistemas de seguridad radiológica. Dichos sistemas contemplan una serie de información necesaria para generar entornos donde el uso de radiación sea controlado y acorde a la actividad realizada. Dentro de los componentes que lo integran están: el registro de la empresa ante la autoridad competente, la clasificación de las instalaciones, obligaciones y responsabilidades de las partes interesadas, justificación y requerimientos de las actividades que se realizan, registro de accidentes y dosimetrías, restricciones de exposición, planes de atención de emergencia, entre otros (Nuclear, 2001).

Cabe mencionar que, en el sistema de seguridad radiológica, los valores del riesgo de cáncer corresponden a valores obtenidos del estudio de supervivientes de Hiroshima y Nagasaki, quienes sufrieron una exposición variada y de manera uniforme en el cuerpo expuesto. Como consecuencia, las altas tasas de dosis recibidas por las personas expuestas obligan a extrapolar los valores de riesgo con el uso de modelos empíricos y con ello,

adecuarlos a tasas de dosis bajas, ya que estos últimos son de mayor relevancia para la seguridad radiológica humana (Real Gallego, 2010).

Consecuentemente, las dosis de radiación que tienen mayor relevancia en la actualidad y en el campo de la seguridad radiológica, son aquellas denominadas dosis bajas y las tasas de dosis bajas (Rühm *et al.*, 2015). Lo anterior, debido a que las dosis de radiación a las que se ven expuestos los trabajadores en sus áreas de trabajo son bajas en comparación a eventos bélicos donde se use la radiación ionizante de manera bélica.

Por consiguiente, organismos internacionales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) y la Agencia para la Energía Nuclear que forma parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (AEN/OCDE) se han dedicado a generar normativa, reglamentos, recomendaciones, entre otros; con el fin de regular el uso de fuentes de radiación ionizante, promover el uso de la radiación en ambientes controlados, disminuir los riesgos a los cuales se exponen los trabajadores, ofrecer pautas en la atención de emergencias y en la disposición de las fuentes que ya no serán utilizadas en los ambientes de trabajo, así como sentar responsabilidades en el ámbito organizacional en el uso de radiaciones (IAEA, 2009).

Con relación a la idea anterior, Costa Rica posee dependencias como la Comisión de Energía Atómica (CEA) y el Ministerio de Salud (MINSAL), las cuales establecen los requisitos de operación que deben tener los lugares antes, durante y después de usar fuentes emisoras de energía ionizante. Como parte del personal capacitado que debe participar activamente en las áreas que emplean radiaciones ionizantes, se debe contar con un responsable de protección radiológica (RPR) que se encarga de dirigir lo relacionado a las dosimetrías, diseño de técnicas de uso seguro de los equipos, cumplir con lo solicitado con la legislación relacionada a radiaciones ionizantes en el país y promover cuestiones relacionadas a la seguridad radiológica en donde se empleen radiaciones ionizantes (Leyton, Galaz, Oyarzún & Inzulza, 2007). Sin dejar de lado que, un responsable de protección radiológica (RPR), debe garantizar un entorno de trabajo seguro para aquellos trabajadores que empleen radiaciones ionizantes en las instalaciones, fuera de estas y contemplar la seguridad radiológica que debe brindarse a quienes sean externos a las actividades que se realizan en el local o área de irradiación (Arias *et al.*, 2015).

Aparte, las Notas Técnicas de Prevención NTP 614 (2003) menciona medidas de protección contra las radiaciones ionizantes, entre las cuales están:

- Evaluación previa de las condiciones laborales para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización. Incluyendo, la clasificación de los lugares de trabajo en zonas, considerando la evaluación de las dosis anuales provistas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales.
- Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías, según sus condiciones de trabajo. Aplicando normas y medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas y las distintas categorías de trabajadores expuestos, incluida, si es necesaria, la vigilancia individual.
- Vigilancia sanitaria y protocolos de atención de situaciones de emergencia.

En conclusión, las empresas deben adoptar controles que garanticen un ambiente laboral seguro al ser humano, porque cuidar la salud y ofrecer protección a los trabajadores disminuye la aparición de enfermedades profesionales (Meza, 2010).

III. METODOLOGÍA

A. Tipo de investigación

Esta investigación tiene un aporte descriptivo ya que describe características relacionadas a las radiaciones ionizantes y también una orientación aplicada, porque se desea usar el conocimiento adquirido con el fin de ofrecer una alternativa de solución al problema planteado (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2010) en este documento, por medio de un Programa de Seguridad Radiológica para las actividades que se realicen en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR.

B. Fuentes de información

Seguidamente, se muestran las fuentes de información que se utilizaron para la investigación y su clasificación.

1. Fuentes primarias

1.1. Documentos de entes internacionales

- Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad de OIEA. (2016).
- Publicación 103 ICRP. Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica de ICRP. (2008).
- Seguridad radiológica en la radiografía industrial. Guía de seguridad específica N° SSG-11 de OIEA. (2013).
- Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x. Guía de Seguridad Específica N° SSG-8 de OIEA. (2015).

1.2. Normativa internacional

- Estándar Australiano AS 2243.3:1998. Seguridad en laboratorios, Parte 4: Radiaciones Ionizantes.
- OSHA (3132). Gestión de la seguridad en los procesos.
- NTP 614. Radiaciones ionizantes: normas de protección.

1.3. Normativa nacional

- INTE 31-09-09:2016 Requisitos para la elaboración de programas de Salud y Seguridad en el trabajo.
- INTE 31-06-07:2011. Guía para la identificación de peligros y la evaluación de los riesgos en Salud y Seguridad Ocupacional.
- Ley N° 4383. Ley Básica de Energía Atómica para usos Pacíficos.
- Ley N° 7600. Ley de Igualdad de Oportunidades para las Personas con Discapacidad.
- Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Costa Rica.
- Reglamento Sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes N°24037-S

1.4. Proyectos de graduación de egresados de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental

- Propuesta de Programa de Protección Radiológica para equipos generadores de radiaciones ultravioleta, láser y rayos x, en Trimpot Electrónicas LTDA de Bonilla, D. (2015).
- Programa de Seguridad Laboral para el Laboratorio de Plasmas para Energía de Fusión y Aplicaciones en el Tecnológico de Costa Rica de Gómez, M. (2014).
- Programa de Gestión de los Desechos Radiactivos en los Hospitales de la Caja Costarricense del Seguro Social en los Servicios de Medicina Nuclear de Carpio, M. & Chavarría, K. (2007).

1.5. Artículos científicos

- Protección radiológica a trabajadores y público en instalaciones que operan radioisótopos industriales de González, L., Martínez, S. & Reyes, F. (2013).
- Protección y seguridad radiológicas de Saravia, G. (2013).
- Riesgos derivados de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante de Real, A. (2010).

2. Fuentes terciarias

2.1. Base de datos suscritas al sistema de bibliotecas del Instituto Tecnológico de Costa Rica

- EBSCO host.

2.2. Páginas web

- *Centers for Disease Control and Prevention (CDC).*
- Consejo de Salud Ocupacional (CSO) de Costa Rica.
- *United States Environmental Protection Agency (EPA).*
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).
- *International Commission on Radiological Protection (ICRP).*
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Organización Internacional del Trabajo (OIT).
- *Occupational Safety and Health Administration (OSHA).*

C. Población y muestra

Para la recolección de datos y análisis del LARI se aplicó un cuestionario (ver anexo 3) al técnico del Laboratorio, al director de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales (ECIM), y al Coordinador del LARI. Lo anterior, porque son quienes poseen licencia de operación para los equipos emisores de radiaciones ionizantes y componen la población ocupacionalmente expuesta (POE) del Laboratorio.

Aparte, se realizaron entrevistas semiestructuradas a cinco personas, correspondientes a al responsable de protección radiológica (RPR), al coordinador del Centro de Investigación y Extensión en Ingeniería de los Materiales (CIEMTEC), a la coordinadora del Centro de Atención Institucional en Salud del ITCR (CAIS), al funcionario de la Unidad de Seguridad y Vigilancia del ITCR (USEVI) y al funcionario de la Unidad Institucional de Gestión Ambiental del ITCR (GASEL). Estas entrevistas, se realizaron a los miembros de las unidades mencionadas antes, porque GASEL identificó que éstos deben participar según su área de trabajo, en las actividades y procesos que se llevan a cabo en el LARI de manera conjunta.

D. Operacionalización de variables

A continuación, se muestra la operacionalización de variables de los objetivos planteados en el proyecto; definiendo variable, conceptualización, indicadores y las herramientas que se utilizaron.

Cuadro III-1. Operacionalización de las variables de la investigación

Objetivo específico	Variable	Conceptualización	Indicadores	Herramientas
Describir las condiciones de las instalaciones y de organización de trabajo que posee el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes	Condiciones de las instalaciones y de organización de trabajo.	Se refiere a la identificación de aspectos constructivos y el funcionamiento administrativo de un recinto en particular; incluyendo las cualidades físicas de los equipos que se utilicen para radiografiado industrial e irradiación gamma.	<ul style="list-style-type: none"> Jornada de trabajo Cantidad de fuentes emisoras de radiaciones ionizantes (RI). 	Encuesta higiénica.
			<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de personal administrativo involucrado. 	Entrevista semiestructurada.
			<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de personas ocupacionalmente expuestas. Tiempo de ejecución de los procedimientos. 	Cuestionario al personal ocupacionalmente expuesto (POE).
			<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de involucrados en el LARI. 	Matriz de poder - influencia.
			<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de cumplimiento de condiciones de seguridad e higiene en las instalaciones del LARI. 	Lista de verificación basada en el Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes N° 24037-S. Lista de verificación basada en el Código de Seguridad Humana NFPA 101.

					Lista de verificación de la Guía de Inspección sobre Condiciones de Salud Ocupacional del Consejo de Salud Ocupacional (CSO).
Evaluar la seguridad asociada a los procesos que utilicen radiaciones ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones de Radiaciones Ionizantes.	Seguridad asociada al proceso.	al	Se refiere a la identificación y probabilidad de que un operador de fuentes emisoras de radiación ionizante esté sometido a condiciones inseguras en su lugar de trabajo.		Lista de verificación del estándar AS 2243.3:1998.
				<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de cumplimiento de condiciones de seguridad radiológica en el LARI. 	Lista de verificación del TECDOC-1526 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA): Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva.
				<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de condiciones y actos inseguros, que se relacionen con las fuentes, ambiente de trabajo y factores individuales de los operarios. 	Lista de verificación de la OSHA 3132: Gestión de la seguridad en los procesos.
				<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de causas y efectos. 	Bitácora de la observación no participativa.
				<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de priorización de las condiciones y actos inseguros encontrados en radiografía industrial e irradiación gamma. 	Diagrama de Ishikawa.
				<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de apartados que contiene el programa de seguridad radiológica (PSR). 	Matriz de valoración del riesgo de la INTE 31-06-07:2011.
Diseñar un programa de seguridad radiológica para el Laboratorio de	Propuesta de programa de seguridad radiológica.	de	Es una estructura organizacional que favorece la gestión de las responsabilidades, procedimientos de trabajo, y disposiciones que		INTE 31-09-09:2016 Salud y seguridad en el trabajo. Requisitos para la elaboración de programas

Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.	procuran un uso justificado de las radiaciones ionizantes en un recinto donde se empleen equipos que generen rayos X o gamma.		de salud y seguridad en el trabajo.
		• Cantidad de responsables del (PSR).	Matriz RACI.
		• Cantidad de tareas que se deben considerar en el (PSR).	Estructura de desglose del trabajo (EDT).
		• Cantidad de capacitaciones a realizar en el (PSR).	Cuadro de capacitación.
		• Cantidad de actividades del (PSR).	Cronograma de actividades del Programa de Seguridad Radiológica (PSR).

E. Descripción de herramientas de investigación

1. Objetivo específico 1: Describir las condiciones de las instalaciones y de organización de trabajo que posee el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

1.1 Encuesta higiénica

Es una herramienta que se utilizó para recolectar la siguiente información: jornada de trabajo, equipos emisores de rayos X e irradiación gamma, información relacionada a las actividades de radiografiado e irradiación gamma, la presencia de dispositivos de seguridad radiológica, realización de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo la presencia de fuentes radiactivas y la generación de desechos radiactivos; además de información relacionada al personal ocupacionalmente expuesto (POE) del LARI (ver Anexo 1).

1.2 Entrevista semiestructurada

La entrevista semiestructurada, es un proceso en donde normalmente intervienen dos personas, el entrevistador obtiene la información de manera directa del entrevistado mediante una serie de preguntas sobre un tema específico que han sido elaboradas previo al encuentro entre los involucrados (Peláez *et al.*, 2013).

Esta herramienta, se compone de apartados como: información general, documentación, procedimientos, atención de emergencias y un apartado de preguntas específicas para el RPR del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

Durante la investigación, se coordinó la realización de una entrevista a: un funcionario de la Clínica de Atención en Salud CAIS (ver Apéndice 1) del ITCR, a un funcionario de la Unidad de Seguridad de Vigilancia USEVI (ver Apéndice 2) del ITCR, a un funcionario de la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral GASEL (ver Apéndice 3) del ITCR. Posteriormente al responsable de protección radiológica (RPR), luego al director de la Escuela de Materiales y luego al coordinador del CIEMTEC (ver Anexo 2). Lo anterior, para obtener información sobre la participación de otras dependencias del ITCR en el funcionamiento y actividades que se llevan a cabo en el LARI.

1.3 Cuestionario al personal ocupacionalmente expuesto (POE)

Los cuestionarios, se componen de una cantidad dada de preguntas que se aplican a un sujeto sobre un tema en específico; el cual, responde de acuerdo con su conocimiento sobre un tema en particular (Cerón & Cerâon, 2006).

Se utilizó un cuestionario (ver Anexo 3), el cual se aplicó al personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes en el LARI. El mismo, se compone de preguntas de selección única y respuesta corta; de las cuales se extrajo información sobre los tiempos de ejecución de las actividades de radiografiado e irradiación gamma, las prácticas de trabajo seguro, medidas de seguridad radiológica, capacitación sobre seguridad radiológica. Los cuestionarios, fueron aplicados una vez a cada persona que posee la licencia de operación de los equipos emisores de radiación ionizante.

1.4 Matriz de poder – influencia

Una matriz, es una representación gráfica que permite observar a los interesados de un proyecto (Guerrero, 2018).

La matriz de poder – influencia, se empleó para identificar a los involucrados en las actividades del LARI según su poder en la toma de decisiones y su participación en las actividades administrativas del LARI. Lo anterior, se hizo con ayuda de las entrevistas semiestructuradas realizadas y con información obtenida del Coordinador del LARI (ver Apéndice 4).

1.5 Listas de verificación

Son documentos que contienen un listado de ítems que serán verificados durante una o varias visitas a los lugares donde se realizan actividades de interés (Manterola & Astudillo, 2013).

Las lista de verificación que se utilizaron, se componen de una serie de ítems a los que deben asignarse un valor de “S”, “No” y “NA” (No Aplica), para indicar si lo mencionado en el enunciado se presenta, no se presenta o no aplica en al momento de utilizar la herramienta. También, cuentan con una columna de “Observaciones” para indicar algún comentario relevante relacionado al ítem que se esté evaluando.

Todas las listas, a excepción de la basada en el código de seguridad humana NFPA 101, fueron validadas en el área de radiología de un hospital privado ubicado en San José con ayuda de la responsable de protección radiológica (RPR) del lugar.

De cada documento aplicado al LARI, se obtuvo un porcentaje de cumplimiento de los apartados que las componen, que luego fueron analizados en el proyecto. Seguidamente, se indican las listas de verificación que se emplearon.

1.5.1 Lista de verificación basada en el Reglamento sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes N° 24037-S

Se diseñó una lista de verificación basada en el Reglamento sobre protección contra las radiaciones ionizantes N° 24037-S (ver Apéndice 5). Los apartados que la componen son los siguientes: instalaciones, equipos emisores de radiación ionizante, obligaciones del titular de la licencia de operación y el responsable de protección radiológica (RPR), requisitos de los operadores, dosimetría y manejo de desechos radiactivos. El documento, se aplicó a las instalaciones del búnker ubicado en el CIEMTEC y el Laboratorio de Irradiación Gamma que componen las instalaciones del LARI.

1.5.2 Lista de verificación basada en el Código de Seguridad Humana NFPA 101

Se elaboró una lista de verificación basada en el capítulo 40 (Ocupaciones Industriales) del código de seguridad humana NFPA 101 versión 2018 en español (ver Apéndice 6). La cual, evalúa condiciones de seguridad que se deben cumplir en instalaciones para propósitos especiales, que incluye los siguientes apartados: medios de egreso, componentes de los medios de egreso, cantidad de medios de egreso, señalización e iluminación de medios de egreso y sistemas de detección de incendio. Se aplicó a las dos instalaciones que componen el LARI, para determinar el cumplimiento de condiciones de seguridad humana en el recinto.

1.5.3 Lista de verificación de la Guía de Inspección sobre Condiciones de Salud Ocupacional del Consejo de Salud Ocupacional (CSO)

También, se utilizó la Guía de Inspección Sobre Condiciones de Salud Ocupacional del CSO de Costa Rica (ver Anexo 4). La lista, se compone de los siguientes apartados: área y volumen, señalización, pasillos, puertas, salidas al exterior, iluminación, electricidad, extinción de incendios, protección para los trabajadores, servicios sanitarios, vestidores,

atención médica y fumado en el área de trabajo. La guía, se utiliza para valorar condiciones de salud ocupacional presente en las 2 instalaciones del LARI y se debe marcar las casilla Sí, No, NA (No Aplica) según lo encontrado en el recinto evaluado.

2. Objetivo específico 2: Evaluar la seguridad asociada a los procesos que utilicen radiaciones ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

2.1 Lista de verificación del estándar AS 2243.3:1998

Aparte, se usó la lista del estándar australiano AS 2243.3:1998 (ver Anexo 5). Que consta de los apartados: aspectos generales para la protección de radiaciones ionizantes, procedimientos, monitoreo personal, monitores de radiación, almacenamiento de sustancias radiactivas y unidades de radiografía industrial. La cual, contempla aspectos como: protección contra radiaciones ionizantes, seguridad en procedimientos, formación, monitoreo personal, almacenamiento de sustancias radiactivas y uso seguro de fuentes selladas.

2.2 Lista de verificación del TECDOC-1526 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA): Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva

Otra lista de verificación empleada corresponde a la que incluye el TECDOC-1526 del OIEA (ver Anexos 6 y 7). Esta, incluye los apartados: formación e instrucción de los trabajadores, auditorías y exámenes internos, instalaciones y equipos, fuentes de radiación, estudios radiológicos de una zona, monitorización radiológica del personal, notificaciones e informes y señales de advertencia y etiquetado. Este documento, ofrece disposiciones de seguridad radiológica que deben cumplirse en procesos de radiografiado e irradiación gamma según el OIEA. La lista, se aplicó a los dos recintos que componen el LARI.

2.3 Lista de verificación de la OSHA 3132: Gestión de la seguridad en los procesos

También, se usó la lista de verificación de la OSHA 3132 Gestión de la seguridad en los procesos (ver Anexo 8). La cual se compone de los apartados: información de seguridad del proceso, procedimientos de operación, participación y entrenamiento de los empleados, contratistas, integridad mecánica, administración de cambios, investigación de incidentes, planificación y respuesta de emergencias. La lista, brinda pautas sobre

seguridad y gestión que deben estar presente en los procesos que se lleven a cabo en un recinto. Se aplicó a los procesos de radiografiado e irradiación gamma que se llevan a cabo en las dos instalaciones que componen el LARI.

2.4 Bitácora de la observación no participativa

La observación no participativa, se refiere al estudio de alguna condición en particular, sin participar del proceso o situación analizada; con el fin de obtener información objetiva de éste (Universidad Internacional de Valencia, 2018).

Se diseñó una bitácora (ver apéndice 7), que permitiera registrar condiciones y actos inseguros encontrados durante la ejecución de los procesos de radiografiado (dentro de las instalaciones del búnker y fuera de este recinto) e irradiación gamma. Las condiciones y actos inseguros fueron anotados en la bitácora, según las observaciones realizadas durante la ejecución de los procesos antes mencionados.

2.5 Diagrama de Ishikawa

Esta herramienta, conocida también como diagrama de espina de pescado permite organizar de manera gráfica y ordenada las causas que producen un problema u efecto (Valenzuela, 2000). El diagrama elaborado (ver Apéndice 8), presenta una línea horizontal que representa el problema; el cual corresponde, a los actos y condiciones inseguras durante los procesos de radiografiado e irradiación gamma en el LARI. Una vez definidos los efectos, se pudo visualizar las causas de las condiciones y actos inseguros relacionados a los procesos antes mencionados.

2.6 Matriz de valoración del riesgo de la INTE 31-06-07:2011

Es una herramienta que permite determinar de manera objetiva los riesgos asociados a los procesos de radiografiado industrial e irradiación gamma que se llevan a cabo en el LARI (ver Apéndice 9). Además, permitió realizar una priorización de los riesgos de seguridad identificados en los procesos antes mencionados, asignando un nivel de probabilidad y un nivel de priorización.

3. Diseñar un programa de seguridad radiológica para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

3.1 INTE 31-09-09:2016 Salud y seguridad en el trabajo. Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad en el trabajo

Esta norma, ofrece una guía sobre los requisitos mínimos que se deben considerar para la elaboración de programas de salud y seguridad. Los apartados que contempla la norma están: diagnóstico, definición de objetivos y metas, asignación de recursos, asignación de responsabilidades, la organización, procedimientos de seguridad, registros, capacitación, seguimiento del programa, control de resultados, inspecciones y evaluaciones. Aunado a lo anterior, se emplea el apartado de programa de seguridad radiológica de la Guía de seguridad específica N° SSG-11 del OIEA para comparar los apartados que contempla la INTE 31-09-09:2016 y la Guía antes mencionada, con el fin de incluir los apartados requeridos para la elaboración del programa de seguridad radiológica (PSR) para el LARI.

3.2 Matriz RACI

Una matriz de asignación de responsabilidades permite determinar los roles que tienen las personas que participan en un proyecto, así como las responsabilidades que le son conferidas (Figuerola, 2012).

La matriz RACI (ver apéndice 10), se usó para asignar roles a quienes ejecutan los diferentes apartados del programa de seguridad radiológica (PSR) propuesto. De esta manera, se logra que las actividades planteadas sean desarrolladas por los involucrados.

3.3 Estructura de desglose del trabajo (EDT)

Una EDT, se comprende como una estructura jerárquica que organiza una serie de tareas de un proyecto en capítulos y subcapítulos (RIBSpain, 2020).

Esta herramienta, se utilizó para identificar en capítulos y subcapítulos las actividades a realizar del programa de seguridad radiológica (PSR) propuesto.

3.4 Cuadro de capacitación

El cuadro de capacitación (ver Apéndice 11), se utilizó para organizar las actividades y temas de capacitación del programa de seguridad radiológica (PSR) planteado.

3.5 Cronograma de actividades

Permitió establecer de manera gráfica (ver Apéndice 12), una estimación del tiempo requerido para la ejecución de las actividades de implementación del programa de seguridad radiológica (PSR) propuesto.

F. Plan de análisis

En este apartado, se detalla la forma de obtención y tratamiento de la información recopilada; mediante las herramientas mencionadas en la operacionalización de variables.

1. Fase de Diagnóstico

1.1 Objetivo específico 1: Describir las condiciones de las instalaciones y de organización de trabajo que posee el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

Como punto de inicio, se recolectó información sobre los procedimientos (de radiografiado e irradiación gamma), de equipos de rayos X y gamma, de los trabajadores, de las fuentes radiactivas, señalización de las áreas de trabajo y controles de seguridad radiológica del LARI con ayuda de la encuesta higiénica (ver Anexo 1). Posteriormente, se obtuvo información sobre procedimientos y responsabilidades de entes institucionales que tienen relación con el Laboratorio, con ayuda de entrevistas semiestructuradas aplicadas a funcionarios de la CAIS (ver Apéndice 1), USEVI (ver Apéndice 2), y GASEL (ver Apéndice 3) del ITCR; con el fin de generar un diagrama de fuerzas a partir del análisis de éstas. Asimismo, con ayuda de la información obtenida de las entrevistas y de consultas al coordinador del LARI sobre la toma de decisiones y nivel de autoridad de los involucrados, se realiza una matriz de poder – influencia (ver Apéndice 4) que permitió identificar gráficamente a éstos y su participación en la toma de decisiones en las actividades del Laboratorio.

Una vez realizado lo anterior, se aplicó al personal ocupacionalmente expuesto (POE) un cuestionario (ver Anexo 3) con el fin de recopilar información sobre: tiempo de laborar en el LARI, actividades de trabajo realizadas, riesgos de exposición, conocimiento sobre medidas de protección radiológica; con el fin de generar gráficos con su respectivo análisis. Aparte, se aplicaron las listas de verificación del Reglamento N° 24037-S (ver Apéndice 5), la NFPA 101 Código de Seguridad Humana (ver Apéndice 6) y la Guía de Inspección sobre Condiciones de Salud Ocupacional del CSO (ver Anexo 4). Lo anterior, con el fin de obtener información sobre

seguridad de las instalaciones, existencia de procedimientos de trabajo, protección contra incendios y atención de emergencias en las edificaciones que componen el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR y determinar el cumplimiento de normativa vigente en el país.

Para la obtención de los porcentajes de cumplimiento de las listas de verificación, se empleó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de cumplimiento} = [(PC) / (PT - NA)] \times 100$$

Dónde:

PC = Cantidad de puntos que cumplen.

PT = Cantidad de puntos de cumplimiento que contiene la lista de verificación.

NA = Cantidad de puntos que no aplican.

1.2 Objetivo específico 2: Evaluar la seguridad asociada a los procesos que utilicen radiaciones ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

Para este objetivo, se aplicaron las listas de verificación del Estándar Australiano AS 2243.3:1998 (ver Anexo 5), la Guía sobre Inspección de las Fuentes de Radiación y Aplicación Coercitiva TECDOC-1526 del IAEA (ver Anexos 6 y 7), Gestión de la Seguridad en los Procesos OSHA (3132) (ver Anexo 8). Se obtuvo un porcentaje de cumplimiento de los apartados de las listas de verificación según lo indicado en el objetivo 1 y posteriormente, se realizó un análisis de la información obtenida.

Al utilizar la lista de verificación del Estándar Australiano AS 2243.3:1998 no se presenta el resultado de la evaluación de ambas instalaciones (búnker e irradiador gamma), porque en el área donde se ubica el irradiador gamma no están presentes equipos emisores de Rayos X, por lo que se aplica los apartados correspondientes al uso seguro de sustancias radiactivas selladas, no se evalúan los apartados destinados a la radiografía industrial y se generan gráficos aparte.

Después, se empleó una bitácora donde se registraron las condiciones y actos inseguros realizando una observación no participativa durante el desarrollo de los procesos de

radiografiado e irradiación gamma. Una vez anotadas las condiciones y actos inseguros, se colocaron en un cuadro resumen y fueron analizados. Con ayuda de la información obtenida en la observación no participativa, se diseñó un diagrama de Ishikawa (ver Apéndice 8) donde el problema son las condiciones y actos inseguros encontrados a partir de la observación no participativa y se analizaron las causas-efectos de los riesgos laborales identificados.

Aparte, se realizó una reunión con el Coordinador del LARI y el Técnico Marvin Rodríguez, con el fin de que ayudaran a la valoración de las condiciones y actos inseguros que serían incluidos en la matriz de valoración del riesgo laboral según la norma INTE 31-06-07:2011 (ver Apéndice 9). Luego de la reunión, se analizaron las condiciones y actos inseguros incluidos en la matriz antes mencionada. Seguidamente, se indica la manera de obtener el nivel de priorización de los riesgos laborales:

- **Nivel de deficiencia (D):** Es una magnitud que se relaciona con los peligros detectados, la posibilidad de ocasionar un accidente y la eficacia de las medidas preventivas existentes en un área de trabajo. La asignación del nivel de deficiencia se hizo según lo indicado en el cuadro III-2.

Cuadro III-2. Nivel de deficiencia

Nivel de deficiencia	Valor de D	Significado
Muy Alto (MA)	10	Se ha(n) detectado peligro(s) que determinan como muy posible la generación de incidentes o consecuencias muy significativas, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo es nula o no existe, o ambos.
Alto (A)	6	Se ha(n) detectado algún(os) peligro(s) que pueden dar lugar a consecuencias significativa(s), o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es baja o ambos.
Medio (M)	2	Se han detectado peligros que pueden dar lugar a consecuencias poco significativas o de menor importancia, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada, o ambos.
Bajo (B)	cero	No se ha detectado consecuencia alguna, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es alta o ambos. El riesgo está controlado. Estos peligros se clasifican directamente en el nivel de riesgo y de intervención cuatro (IV).

Fuente: INTE 31-06-07:2011

- **Nivel de exposición (E):** Se refiere a la exposición a un riesgo que se presenta en un tiempo determinado durante la jornada de trabajo. El nivel de exposición (E), fue determinado mediante los valores indicados el cuadro III-3.

Cuadro III-3. Nivel de exposición

Nivel de exposición	Valor de E	Significado
Continua (EC)	4	La situación de exposición se presenta sin interrupción o varias veces con tiempo prolongado durante la jornada laboral.
Frecuente (EF)	3	La situación de exposición se presenta varias veces durante la jornada laboral por tiempos cortos.
Ocasional (EO)	2	La situación de exposición se presenta alguna vez durante la jornada laboral y por un periodo de tiempo corto.
Esporádica (EE)	1	La situación de exposición se presenta de manera eventual.

Fuente: INTE 31-06-07:2011

- **Nivel de probabilidad (P):** Es el producto del nivel de deficiencia (D) por el nivel de exposición (E). El nivel de probabilidad (P) se interpretó según lo indicado en el cuadro III-4.

Cuadro III-4. Niveles de probabilidad

Nivel de probabilidad	Valor de P	Significado
Muy Alto (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continua, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
Alto (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en la vida laboral.
Medio (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
Bajo (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocupacional esporádica, o situación sin anomalía destacable con cualquier nivel de exposición. No es esperable que se materialice el riesgo.

Fuente: INTE 31-06-07:2011

- **Nivel de consecuencia (C):** Es la medida de la severidad de los riesgos detectados. Este valor, se interpretó según lo mostrado en el cuadro III-5.

Cuadro III-5. Nivel de consecuencia

Nivel de consecuencia	C	Significado
		Daños personales
Mortal o Catastrófico (M)	100	Muerte.
Muy grave (MG)	60	Lesiones o enfermedades graves irreparables (incapacidad menor permanente, incapacidad parcial permanente, incapacidad total permanente o gran invalidez).
Grave (G)	25	Lesiones o enfermedades con incapacidad laboral temporal (ILT).
Leve (L)	10	Lesiones o enfermedades que no requieren incapacidad.

Fuente: INTE 31-06-07:2011

- **Nivel de riesgo:** Es la magnitud del riesgo, obtenido del producto del nivel de probabilidad (P) por el nivel de consecuencia (C). Lo obtenido, se interpretó con la ayuda del cuadro III-6.

Cuadro III-6. Significado del nivel de riesgo

Nivel de riesgo	Valor de R	Significado
I	4000-6000	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
II	500-150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
III	120-40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aún es aceptable.

Fuente: INTE 31-06-07:2011

Una vez realizado lo anterior, se procedió a determinar la aceptabilidad del riesgo con los valores indicados en el cuadro III-7.

Cuadro III-7. Aceptabilidad del riesgo

Nivel de riesgo	Significado
I	No Aceptable
II	No Aceptable o Aceptable con control específico
III	Aceptable
IV	Aceptable

Fuente: INTE 31-06-07:2011

Como una manera de visualizar la información contenida en la matriz realizada, se codifican los riesgos de la siguiente manera:

- Con un valor de I (No Aceptable): Color rojo, para los riesgos que requieren intervención urgente con una suspensión de actividades.
- Con un valor de II (No Aceptable o Aceptable con control específico): Color amarillo, para los riesgos que deben corregirse y adoptarse medidas de control.
- Con un valor de III y IV (aceptable): Color verde, para aquellos riesgos que poseen medidas de control establecidas o son riesgos con consecuencias algo leves.

Lo anterior, permite obtener una priorización del riesgo de acuerdo con la codificación de colores mencionada antes y determinar aquellos riesgos que puedan ocasionar consecuencias negativas al personal ocupacionalmente expuesto del Laboratorio y deban atenderse con prontitud.

2. Fase de Diseño

2.1 Objetivo específico 3: Diseñar un programa de seguridad radiológica para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

Con ayuda de la información obtenida de los dos objetivos específicos anteriores y de normativa relacionada al tema de estudio. Se procedió a realizar, una matriz de asignación de responsabilidades RACI (ver Apéndice 10) para determinar las responsabilidades e involucrados, en cada una de las etapas del programa de seguridad radiológica (PSR).

Como paso final, se procedió a la elaboración del programa de seguridad radiológica (PSR) mediante el uso de la INTE 31-09-09: 2016 Requisitos para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo. Aunado a lo anterior, se incorporaron aspectos del apartado de programa de seguridad radiológica de la Guía de Seguridad Específica N° SSG-11 del OIEA, para establecer controles ingenieriles y administrativos para el PSR propuesto.

En la figura III-1 se muestra el plan de análisis de manera gráfica.

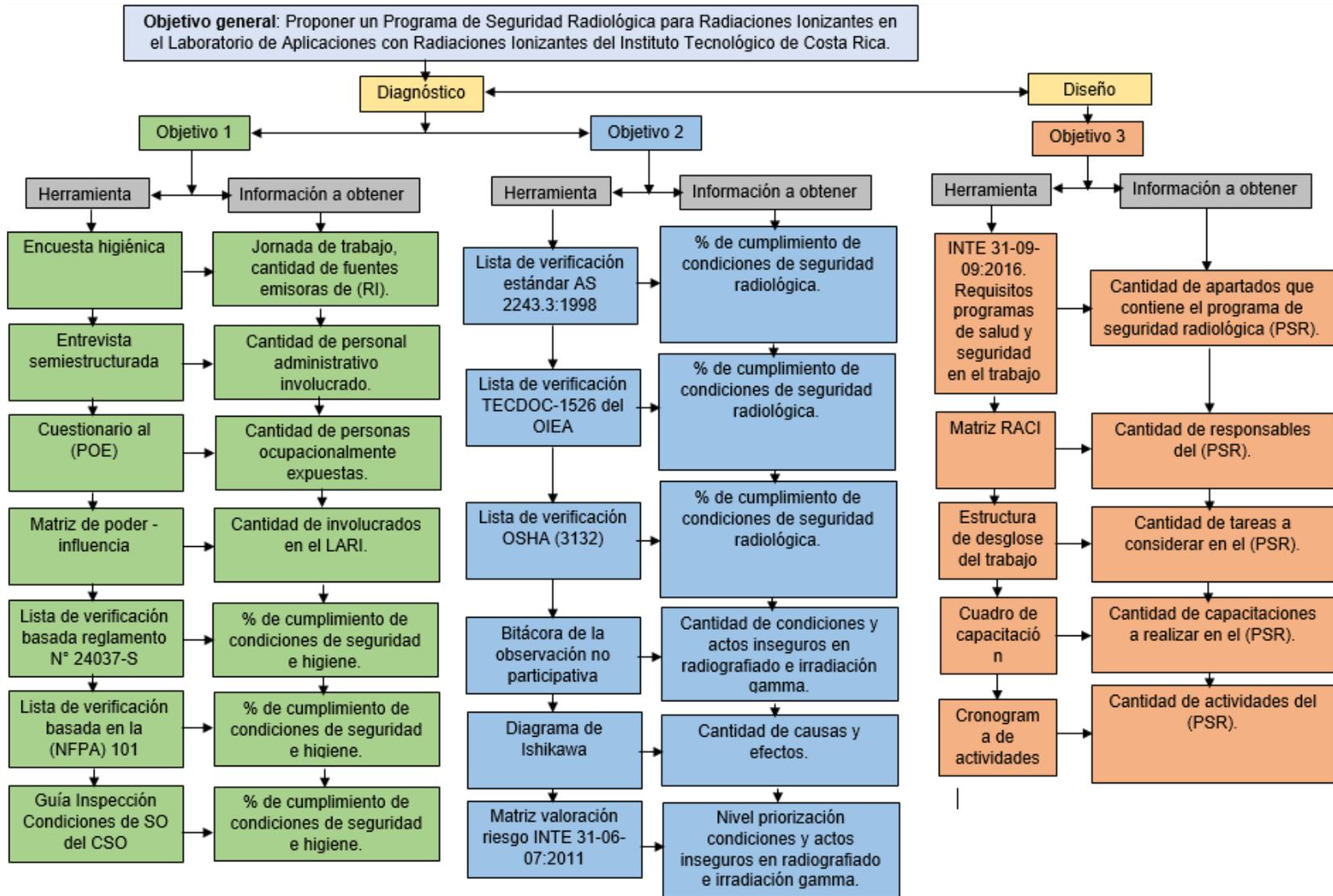


Figura III-1. Plan de análisis gráfico del proyecto

IV. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A. Condiciones de las instalaciones y organización de trabajo en el LARI

1. Encuesta higiénica

Como parte de la información obtenida en la encuesta higiénica (ver Anexo 1), se tuvo que en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) la jornada laboral es variable, esto se debe a que la atención se hace según las solicitudes de quienes requieren los servicios. En la figura IV-1, se indica el personal que opera los equipos emisores de radiaciones ionizantes.

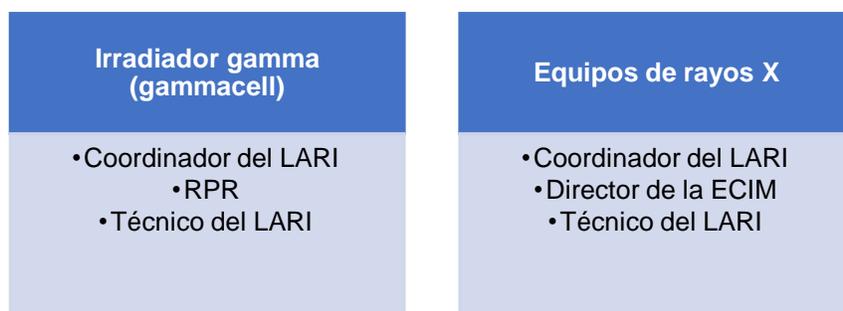


Figura IV-1. Operadores de los equipos emisores de radiaciones ionizantes del LARI

El LARI, posee un irradiador gamma que es estacionario, auto blindado y emplea 24 barras de Cobalto 60 colocadas en su interior. En el caso de las actividades de radiografía industrial, se cuenta con equipos emisores de rayos X portátiles que se utilizan dentro de las instalaciones del búnker ubicado en el CIEMTEC o se trasladan para realizar el proceso de radiografiado en las instalaciones de la empresa que contrate el servicio. La información sobre los equipos de rayos X que se utilizan para los servicios de radiografía se muestra en el cuadro IV-1:

Cuadro IV-1. Información sobre los equipos emisores de Rayos X con que cuenta el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes

Marca, modelo y serie del emisor	Marca, modelo y serie del colimador	Kilo voltaje del emisor	Mili amperaje máximo del emisor
Toshiba, EX 250 G2	No tiene colimador	270 KV	5 mA
Yxlon, Y.XPO 225	No tiene colimador	220 KV	10 mA
Raysor, XPRO	No tiene colimador	270 KV	5 mA

Fuente: Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR, 2019.

También, se obtuvo que no se realiza mantenimiento periódico a los dispositivos mencionados antes. Únicamente se les realiza un mantenimiento correctivo en caso de que alguna parte o cable se dañe, servicio que se contrata con una empresa externa a la Institución. Hasta el momento, se cuenta con la participación de tres colaboradores masculinos que componen el personal ocupacionalmente expuesto (POE), quienes cuentan con edades desde los 45 hasta los 57 años y su nivel académico va desde técnico en electrotecnia, licenciatura y especialidad profesional en Ciencia de los Materiales hasta maestría y especialidad profesional en Ingeniería en Dispositivos Médicos.

Como parte de los procesos de limpieza de las áreas del búnker y el irradiador, se permite el ingreso de personal de limpieza de la Institución a éstas cuando no se está realizando algún tipo de actividad en ellas. Aparte y siguiendo el protocolo de ingreso a las instalaciones, se permite ingresar a estudiantes que efectúan prácticas relacionadas al curso de Ensayos No Destructivos (END) que imparte la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales; acompañado siempre de un miembro del LARI en las instalaciones del búnker. Se hace mención, que sólo el personal del LARI que posea la licencia de operador de equipos emisores de rayos X vigente son quienes los manipulan.

De acuerdo con la información obtenida, se encuentra la tenencia de fuentes radiactivas en el LARI que se describen en el cuadro IV-2.

Cuadro IV-2. Equipos y fuentes radioactivas del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes

Equipo (marca y modelo)	Serie	Actividad	Isótopo	Fecha de fabricación	Vida media isótopo
Gammamat: Equipo para gammagrafía industrial utilizado para fines demostrativos		94 Ci el 04/1994	Iridio 192	Abril de 1992	73.827 días
Fuente de medición Model 5200	B2733	20 mCi en agosto de 1994	Cesio 137	Agosto de 1994	30.17 años
Tres fuentes gamma para procesos de perfilaje		50, 30 y 15 mCi respectivamente en febrero de 2001	Cobalto 60	Febrero de 2001	5.27 años
Irradiador Gamma, modelo Observo Ignis		11992 Ci el 02/2015	Cobalto 60	Febrero del 2015	5.27 años

Fuente: Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes, 2019.

Como se muestra en el cuadro IV-2, el LARI cuenta con una fuente de Iridio 192 que presenta una baja actividad radioactiva, la cual se utiliza para fines demostrativos en el curso de Ensayos No Destructivos (END) de la carrera de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y en procesos de capacitación del personal del Laboratorio. Además, cabe mencionar que el irradiador gamma, es el equipo que presenta mayor actividad radioactiva, debido a que se utiliza para irradiar diferentes muestras de frutas, tejidos orgánicos y materiales que recibe el Laboratorio provenientes de otras escuelas de la Institución y entes externos. No obstante, este último equipo es de tipo auto blindado, permitiendo un control sobre las posibilidades de irradiación respecto a la radiografía industrial.

En la columna de vida media de los isótopos del cuadro IV-2, se señala el tiempo en que se espera que se haya desintegrado la mitad de los átomos de la sustancia radiactiva. Es así, que el Iridio 192 ya sobrepasó su vida media; el Cesio 137 y el Cobalto 60 están cerca ese periodo, por tanto, la actividad radiactiva de los isótopos ha disminuido respecto a la que tenían inicialmente. Como consecuencia, se debe emplear más tiempo para irradiar aquellos productos o materiales que deban someterse a ese proceso.

En cuanto a los equipos de seguridad radiológica con que cuenta el Laboratorio están:

- **Medidor Geiger-Müller:** es un equipo que porta el trabajador y mide la intensidad de radiación en el sitio de trabajo del operario.
- **Monitor de área:** es un equipo estacionario para medir la intensidad de radiación en el sitio donde esté colocado y actualmente se ubica uno en la entrada al búnker y otro en la entrada al irradiador gamma.
- **Dosímetros personales:** Son dispositivos que porta cada colaborador en el momento de operar los equipos que emitan radiaciones ionizantes. Cada colaborador cuenta con un dosímetro personal propiedad del Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

El búnker para radiografía industrial está catalogado por el responsable de protección radiológica (RPR), como área supervisada ante Ministerio de Salud de Costa Rica y el área que contiene el irradiador gamma como área controlada ante el mismo ente. Es así, que cada una posee un rótulo que las identifica como se mencionó anteriormente.

Actualmente, no se cuentan con registros sobre las pruebas y controles que se realizan a los equipos. Aunado a lo anterior, el responsable de protección radiológica (RPR), no lleva registros sobre el mantenimiento correctivo que se les realiza a los equipos, evidenciando una falta de documentación de los controles y mantenimientos que se realizan.

Cabe mencionar que, en los procedimientos de radiografiado o irradiación que realiza el Laboratorio no se generan desechos radioactivos. Lo anterior, se debe a que los equipos emisores de rayos X funcionan con electricidad y no emplean ninguna sustancia radiactiva; en el caso del irradiador gamma se emplea barras de Cobalto 60 como fuente de radiación, pero las muestras que se irradian nunca entran en contacto físico con ellas, por lo que no se consideran como desechos radioactivos. Sin embargo, cuando las fuentes de Cobalto 60 del irradiador gamma cumplan 3 vidas medias se considerarán fuentes con baja actividad radioactiva y junto a las fuentes de Cesio 137 e Iridio 192 en desuso; deberán contar con procedimientos para disponer de ellas según lo estipula el Decreto 24037-S Reglamento Sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes y el Decreto 24715-MOPT-MEIC-S Reglamento para el Transporte Terrestre de Productos Peligrosos.

El personal ocupacionalmente expuesto en el LARI está capacitado en el manejo de los equipos, cuentan dominio en la técnica (en el caso de la radiografía industrial e irradiación gamma) y en seguridad radiológica. Dentro del proceso de capacitación, los colaboradores han sido capacitados en los niveles I, II y III en el área de radiografía industrial por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que se complementa con el curso de actualización en protección radiológica que brinda el RPR de la Institución cada dos años, como lo estipula el Decreto 24037-S Reglamento Sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes.

Para a la obtención o renovación de la licencia de operador de equipos emisores de radiación ionizantes, el personal ocupacionalmente expuesto se realiza exámenes médicos, cada 2 años. Sin embargo, dichos exámenes son pagados por cada colaborador y realizados en consultorios privados, por lo que no se cuentan con registros de dichos exámenes por parte del LARI ni la CAIS del ITCR. Como consecuencia, la CAIS no cuenta con un historial médico diferenciado del POE del Laboratorio, provocando que esta entidad no cuente con información actualizada de las pruebas médicas que se realizan los colaboradores.

En cuanto al equipo de protección personal, se destaca que el personal ocupacionalmente expuesto no emplea alguna vestimenta protectora u otros dispositivos de protección personal. En el caso del irradiador gamma, responde al hecho de que el mismo es auto blindado y cuenta con una cubierta de plomo de alta densidad de 30 cm de espesor, aparte se cuenta con un monitor de área (que no está calibrado) y se hace uso de dosímetros termoluminiscentes de cuerpo entero que se utilizan en el desarrollo de las actividades realizadas. Para el radiografiado en el búnker, se emplea un monitor de área en la entrada (no calibrado), los colaboradores deben usar su dosímetro personal siempre y las instalaciones cuentan con la memoria de cálculo elaborada por un experto que indica las características de seguridad físicas y de blindaje con que cuenta este; garantizando el uso seguro del equipo si este se ubica dentro del búnker y se cierra la puerta. Para el caso del radiografiado fuera de las instalaciones del ITRC, el equipo de rayos X cuenta con un conector de 10 m de longitud entre el tubo emisor y el operario, éste debe portar el dosímetro personal junto al contador Geiger-Müller en todo momento.

Aunado a lo anterior, en el Laboratorio se cuenta con el servicio de dosimetría termoluminiscente (TLD) que se contrata al Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de la Universidad de Costa Rica (UCR). Como parte del servicio el CICANUM brinda los dosímetros al Responsable de Protección Radiológica (RPR), quien debe entregarlos al personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes y luego, estos deben ser devueltos por el trabajador al Responsable de Protección Radiológica (RPR) el último día hábil del mes, siendo este último quien coordina la entrega de los dosímetros usados y recibe nuevos dosímetros por parte del CICANUM. El mismo RPR indicó que existe problemas con en el envío de los dosímetros usados, ya que en ocasiones los trabajadores no hacen entrega de estos en el periodo estipulado.

Como parte del servicio de dosimetría brindado por el CICANUM, se entrega un informe físico y digital al Responsable de Protección Radiológica (RPR) y este contiene información sobre la dosis de radiación ionizante mensual y anual que recibe el personal ocupacionalmente expuesto del LARI. Los informes, son guardados y custodiados por el Responsable de Protección Radiológica (RPR), quién también se encarga de informar los resultados obtenidos a cada miembro del personal ocupacionalmente expuesto (POE) del LARI.

Los resultados de las dosimetrías anuales realizadas al personal ocupacionalmente expuesto (POE) en el periodo comprendido entre el año 2015 hasta el año 2019 se muestra en la figura IV-2, que se muestra a continuación.

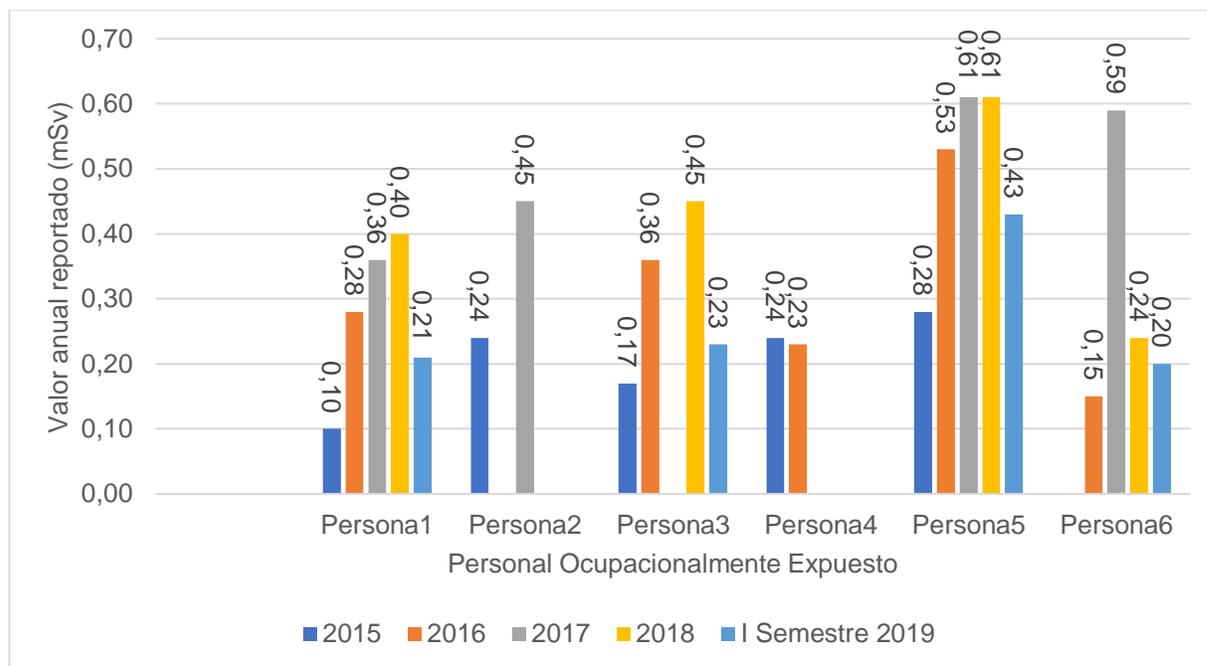


Figura IV-2. Valores de dosis equivalente anual en mili sievert (mSv) del personal ocupacionalmente expuesto del Laboratorio durante los años 2015 – 2019

Como se aprecia en la figura IV-2, hubo 6 trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes durante los 5 años analizados. Es importante aclarar que, el RPR brindó los informes de dosimetría sin incluir los nombres de quienes recibieron el servicio de dosimetría, debido a eso se asignó la denominación “persona y número” para identificar al personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes. En los registros dosimétricos que brinda el CICANUM al RPR, cada colaborador cuenta con un identificador único asociado a las dosis que este recibe y de manera mensual cada colaborador es informado sobre los resultados de las dosimetrías.

Cabe mencionar que, antes del año 2015 la dosimetría se realizaba a las actividades de radiografía industrial exclusivamente. En el año 2016, con la entrada en funcionamiento del irradiador gamma en las instalaciones del Laboratorio de Irradiación Gamma que pertenece al LARI, el servicio de dosimetría se amplió para cubrir a los colaboradores que trabajan hasta la

fecha en el lugar; en consecuencia, los valores de las dosimetrías que se presentan abarcan las actividades de irradiación y radiografiado en los que participaron los trabajadores.

Otro punto importante, es que el Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes N° 24037-S, establece el límite anual en 20 mSv y como se muestra en la figura IV-2, ningún colaborador sobrepasó o mantuvo un valor máximo cercano al límite. Durante los años 2017 y 2018, la Persona5 es la que presentó los valores máximos 0,61 mSv en comparación a los demás trabajadores durante ese mismo periodo. Lo anterior, se debió a una mayor participación del trabajador en procesos de radiografiado industrial y a un aumento en la demanda de procesos de trabajo. Por ende, la Persona5 tuvo mayor participación en las actividades de irradiación de muestras y como lo indicó el RPR; el aumento de la dosis recibida pudo deberse al no seguirse las pautas de trabajo seguro o el exceso de confianza del operador; quien al igual que los otros operadores, tienen varios años de realizar procedimientos de radiografiado en el Laboratorio.

2. Entrevista semiestructurada

En la figura IV-3 se presenta un diagrama de fuerzas con los resultados obtenidos tras la aplicación de la entrevista (ver Anexo 2) al RPR, el coordinador del CIEMTEC y el director de la ECIM; con el fin de identificar aquellas situaciones que favorecen la ejecución de las tareas (como la formación técnica del personal, dosimetrías actualizadas y permiso de funcionamiento) o por el contrario, no conformidades (tales como, la falta de responsabilidades claramente establecidas, el involucrar poco al RPR en la toma de decisiones del LARI, equipo de monitoreo personal y ambiental sin calibración vigente) que pueden generar dificultades en la administración y organización de las actividades que se llevan a cabo en el Laboratorio. Las fuerzas positivas obtuvieron 6 puntos frente a 8 que corresponden a fuerzas negativas. Esto, se debe a que el personal ocupacionalmente expuesto (POE) se capacita obligatoriamente cada dos años, se cuenta con un RPR que tiene formación técnica en el tema de radiaciones ionizantes y lo referente al tema de la licencia de funcionamiento se mantiene vigente hasta el momento. Lo anterior, se hace para cumplir lo solicitado por la normativa costarricense vigente en el tema de radiaciones ionizantes.

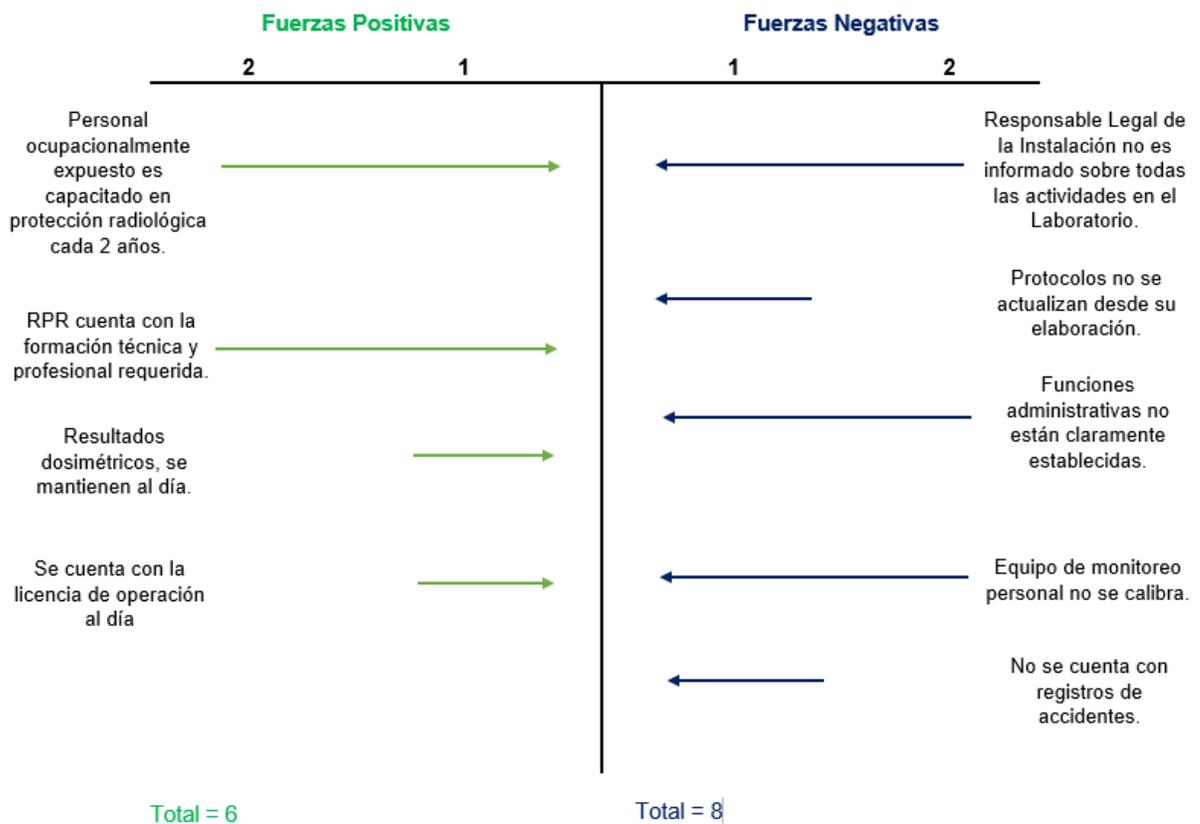


Figura IV-3. Diagrama de fuerzas de la entrevista con el RPR, coordinador CIEMTEC y director de ECIM

En lo referente a las fuerzas negativas, los entrevistados brindaron respuestas sobre las condiciones que se están presentando a nivel administrativo y operativo. Mencionaron que, el responsable legal de la Institución, el actual Rector del ITCR, no está informado sobre las actividades que se llevan a cabo en el LARI, también se hizo mención sobre la nula participación del responsable de protección radiológica (RPR), en la estructura administrativa del Centro de Investigación y Extensión de Ingeniería de los Materiales (CIEMTEC). Otro de los puntos que mencionaron, es que los equipos de medición personal (contadores Geiger-Müller) y monitores de área no se han calibrado desde que fueron adquiridos o instalados en el sitio, lo que implica que no existe certeza sobre la veracidad de los valores que muestren en pantalla. Esos dispositivos, deben ser calibrados de manera anual por un ente autorizado, que otorgue el respectivo certificado de calibración, para así garantizar los valores que brindan los contadores portátiles Geiger-Müller y monitores de área. Por el momento, el CICANUM se encarga de analizar y brindar los dosímetros termoluminiscentes (TLD) únicamente.

En la figura IV-4 se presenta un diagrama de fuerzas con los resultados obtenidos tras la aplicación de una entrevista a personal del CAIS (ver Apéndice 1), la USEVI (ver Apéndice 2) y la GASEL (ver Apéndice 3). Como se puede observar, el apartado de fuerzas positivas tiene un valor igual a dos, mientras que las fuerzas negativas un valor igual a nueve. Lo anterior, se debe a que los entrevistados indicaron que no son informados sobre las actividades que se llevan a cabo en LARI; por lo tanto, no cuentan con mecanismos administrativos ni operativos que les permitan colaborar con los protocolos ni actividades que se realizan en el Laboratorio. Lo que sí mencionaron los entrevistados como punto positivo, es su interés de participar en las actividades que lleva a cabo el LARI desde su unidad de trabajo en la Institución.



Figura IV-4. Diagrama de fuerzas de la entrevista con personal de GASEL, USEVI y CAIS del ITCR

3. Cuestionario al personal ocupacionalmente expuesto (POE) del LARI

De acuerdo con los resultados del cuestionario al personal ocupacionalmente expuesto (ver Anexo 3) del LARI, todos los colaboradores que realizan actividades de radiografiado industrial o irradiación son hombres y pertenecen a la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales (ECIM) del ITCR. Además, dos de los colaboradores han laborado 16 años para la ECIM y uno de ellos lo ha hecho durante 32 años en el tema de radiaciones ionizantes. Con relación a la ejecución de trabajos que involucran materiales radiactivos o radiaciones ionizantes, dos de los colaboradores indicaron que realizaron actividades previo a su ingreso a trabajar en el LARI (66.7 %).

Actualmente, las actividades que realizan los trabajadores del Laboratorio son las siguientes:

- Colocación de muestras para ser irradiadas en el irradiador gamma (gammacell).
- Prácticas de ensayos no destructivos (END).
- Venta de servicios empleando radiografía con rayos X.

Las actividades mencionadas, se realizan de 1 a 2 veces por semana según la demanda de solicitudes de trabajo que se realicen al Laboratorio. La actividad de radiografiado industrial empleando rayos X requiere de 1 a 4 horas por semana para ejecutarse, mientras que la colocación de muestras en el irradiador gamma necesita de 5 a 10 minutos para realizarse. Además, el personal ocupacionalmente expuesto conoce los resultados de los reportes dosimétricos personales, así como lineamientos de seguridad radiológica para las actividades que realizan.

4. Matriz de poder – influencia

Con la información obtenida de las entrevistas a los interesados, se realizó una matriz de poder influencia (ver figura IV-5), con el fin de clasificarlos según el nivel de autoridad e influencia que tienen sobre las actividades que se realizan en el Laboratorio. Como se muestra en la figura IV-5, actualmente se cuentan con interesados internos como el Rector del ITCR; quien se encarga de designar la figura de responsable de protección radiológica (RPR), que, aunque cuenta con un nivel de poder alto, no posee influencia sobre las actividades que realiza el Laboratorio.

También, se muestran los puestos que asumen las funciones administrativas y de operación de las instalaciones, que corresponden al coordinador del CIEMTEC, el director de la ECIM y el coordinador del LARI, quienes sí tienen un nivel de autoridad e involucramiento alto; que les permite realizar la toma de decisiones y acciones sobre las actividades y funcionamiento del Laboratorio.

		Influencia (Involucramiento activo)	
		Bajo	Alto
Poder (Nivel de autoridad)	Alto	Rector ITCR RPR GASEL	Director ECIM Coordinador CIEMTEC Coordinador LARI
	Bajo	CAIS USEVI	Técnicos

Figura IV-5. Matriz de poder – influencia

Aquellos que corresponden a GASEL, CAIS, USEVI no participan por el momento de ninguna manera en la toma de decisiones, elaboración o actualización de protocolos de Laboratorio; por lo tanto, no existe un trabajo en conjunto con estos entes y el LARI. Por último, los técnicos son los que tienen mayor participación en las actividades operativas que realiza el Laboratorio, pero su nivel de poder no les permite participar de la toma de decisiones que los afecte directa o indirectamente.

5. Lista de verificación basada en el Reglamento sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes N° 24037-S

En la figura IV-6, se muestran los resultados obtenidos de aplicar la lista de verificación basada en el reglamento N° 24037-S.

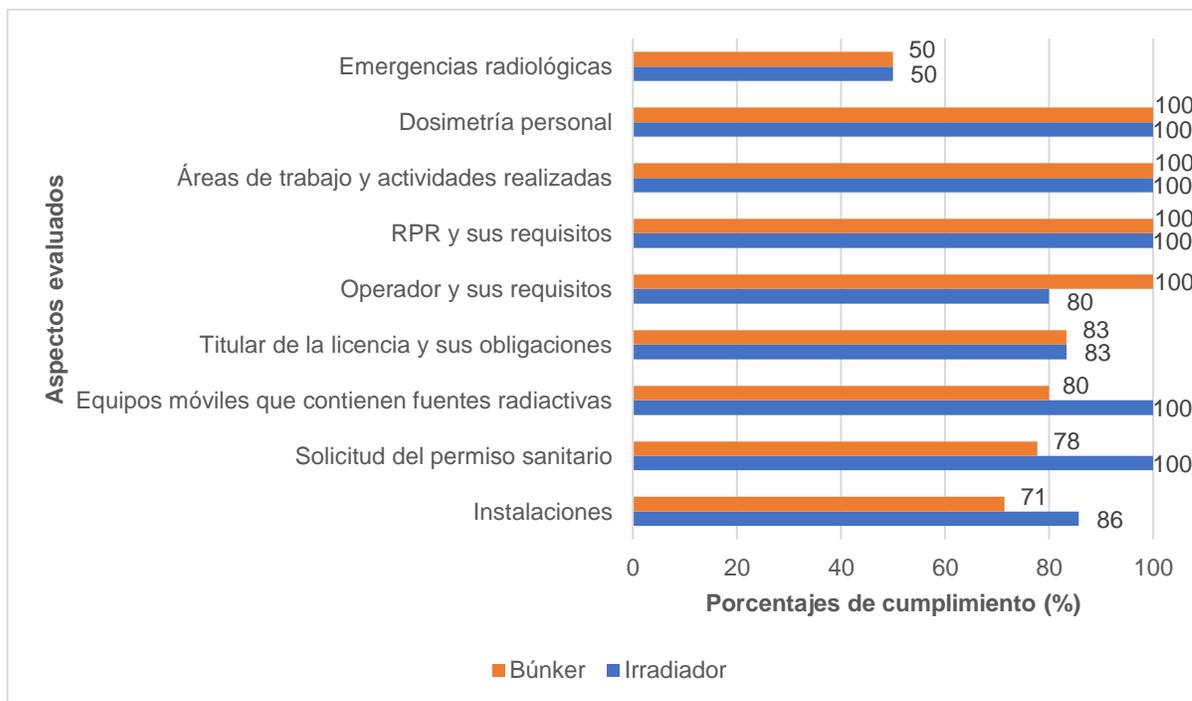


Figura IV-6. Resultados obtenidos de la aplicación de la lista de verificación basada en el reglamento N° 24037-S

Como se observa en la figura IV-6, el área que corresponde al búnker y el irradiador ubicado en el laboratorio de irradiación gamma, cumplen en un 100 % en aspectos como dosimetría personal, seguridad en áreas de trabajo, requisitos del RPR y los operadores. Lo anterior, evidencia el compromiso del Laboratorio, de cumplir con lo estipulado en la normativa de radiaciones ionizantes vigente en el país.

En los aspectos de instalaciones se obtuvo un 71 % debido a que el búnker no cuenta con un plano de la instalación, tampoco se cuenta con un plan de utilización de fuentes o equipos generadores de radiaciones ionizantes en ambas instalaciones. También se presentan fracturas en partes de las paredes y pisos, existen desniveles en el piso y filtraciones en el techo, mientras que en el apartado de solicitud de permiso sanitario con un valor de 78 % se incumple por carecer de procedimientos de mantenimiento de las fuentes emisoras de radiaciones ionizantes y el certificado de actividad de las fuentes. En el aspecto del titular de licencia y sus obligaciones se tiene un 83 % debido a que su función se limita a ser el representante legal de la instalación y no es informado de las actividades que se realizan en el Laboratorio.

6. Lista de verificación basada en la NFPA 101

En la figura IV-7 se muestran los resultados de la evaluación de las instalaciones a partir de la lista de verificación basada en el Código de Seguridad Humana NFPA 101.

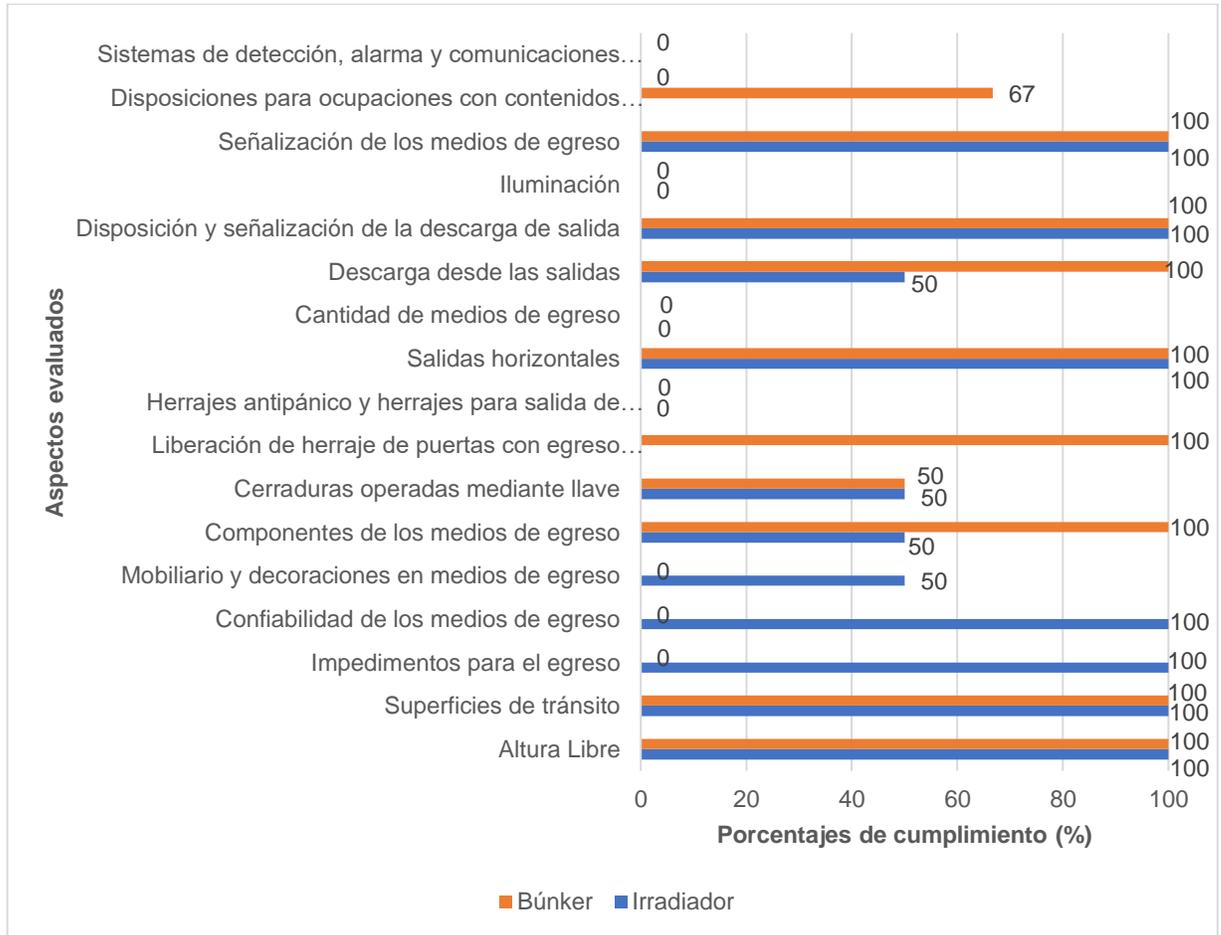


Figura IV-7. Aspectos evaluados según NFPA 101

De la figura IV-7, se tiene que ambas instalaciones incumplen completamente en apartados como: iluminación de medios de egreso, herrajes antipánico y sistemas de detección, alarma y comunicaciones, porque actualmente carecen de tales sistemas. Se cuenta con un medio de egreso identificado como tal en las instalaciones del CIEMTEC y la medida del ancho libre de la misma es superior a los 0.90 m indicados en la Ley 7600 y abre hacia el recorrido de evacuación. En el laboratorio de irradiación gamma se cumplen las dimensiones de ancho de 0.90 m, pero la puerta abre en sentido opuesto al de evacuación lo

que supone un incumplimiento que no permite alcanzar el 100 % en el apartado componentes de los medios de egreso del Código de Seguridad Humana NFPA 101.

Por el contrario, ambas instalaciones cumplen en un 100 % en los apartados de salidas horizontales, disposición y señalización de la descarga de salida y señalización de los medios de egreso. Lo anterior, se debe a la presencia de rotulación física y en buen estado con que cuentan ambas instalaciones. En el apartado de iluminación se incumple, porque se carece de un sistema de iluminación de emergencia en el búnker y el irradiador gamma, aparte no hay instalado un sistema de alarma contra incendio aprobado en ninguna de las instalaciones.

7. Guía de Inspección sobre Condiciones de Salud Ocupacional del CSO

En la figura IV-8 se presentan los resultados obtenidos de la Guía de Inspección sobre Condiciones de Salud Ocupacional del Consejo de Salud Ocupacional (CSO), que contempla aspectos de seguridad y salud dentro de las instalaciones.

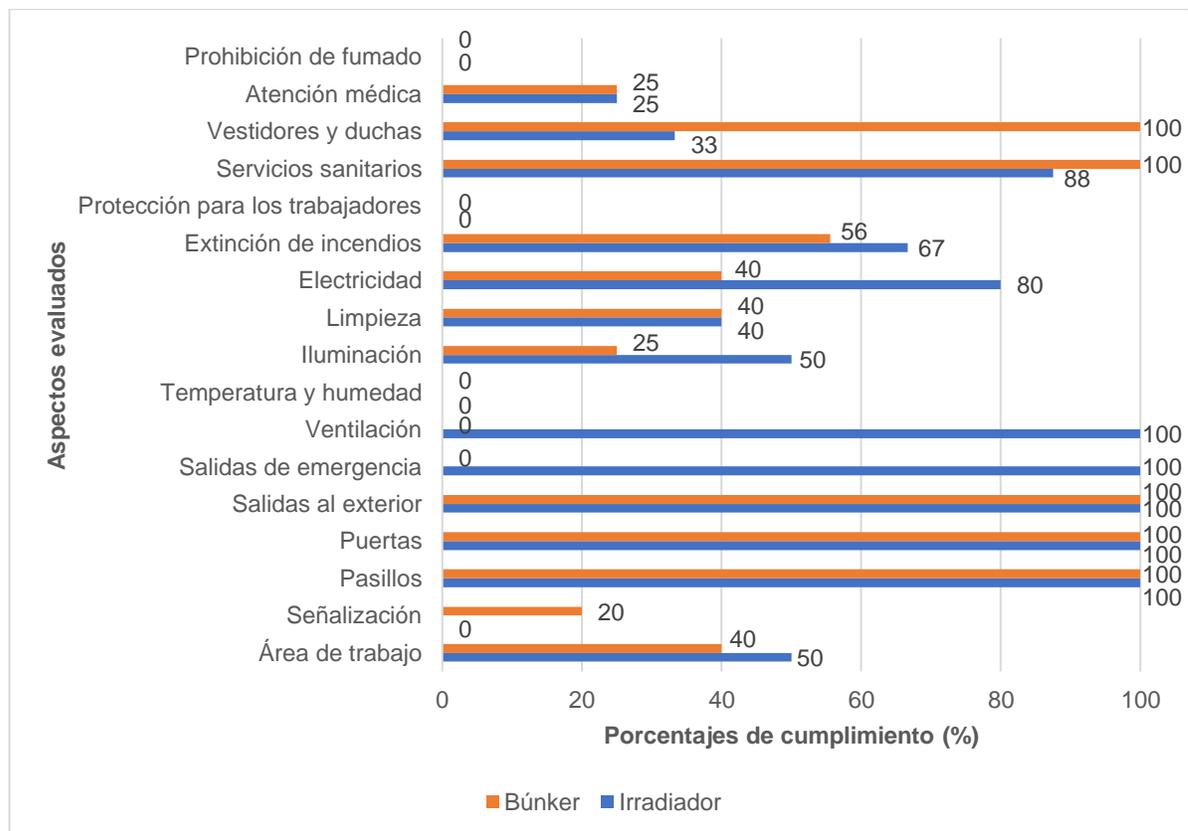


Figura IV-8. Aspectos evaluados con la guía del Consejo de Salud Ocupacional

Se observa en la figura anterior que el área donde se ubica el irradiador gamma no cumple lo indicado en el tema de señalización de seguridad, debido a que se presentan tuberías eléctricas que no están identificadas como de alto voltaje. Aunque se cuenta con extintores en el área no disponen de señalización que esté colocada sobre los mismos, donde se indique la forma de usarlos y el tipo de agente extintor. Cabe destacar, que no se posee señalización que indique la prohibición de fumado en ambas áreas. También, se observa que ambas instalaciones cumplen en un 100 % en apartados como pasillos, puertas y salidas al exterior, debido a que los pasillos cuentan con las dimensiones de 1.20 m de ancho para pasillos de uso común y el espacio libre de las puertas superan los 0.90 m. Aunado a lo anterior, se encontraban libres de obstrucciones durante las visitas que se realizaron a las instalaciones.

B. Seguridad asociada a los equipos y los procesos de trabajo

8. Lista de verificación del estándar AS 2243.3:1998 (Búnker)

En la figura IV-9, se muestran los resultados obtenidos al aplicar la lista de verificación basada en el estándar AS 2243.3:1998 (ver Anexo 5) en el búnker.

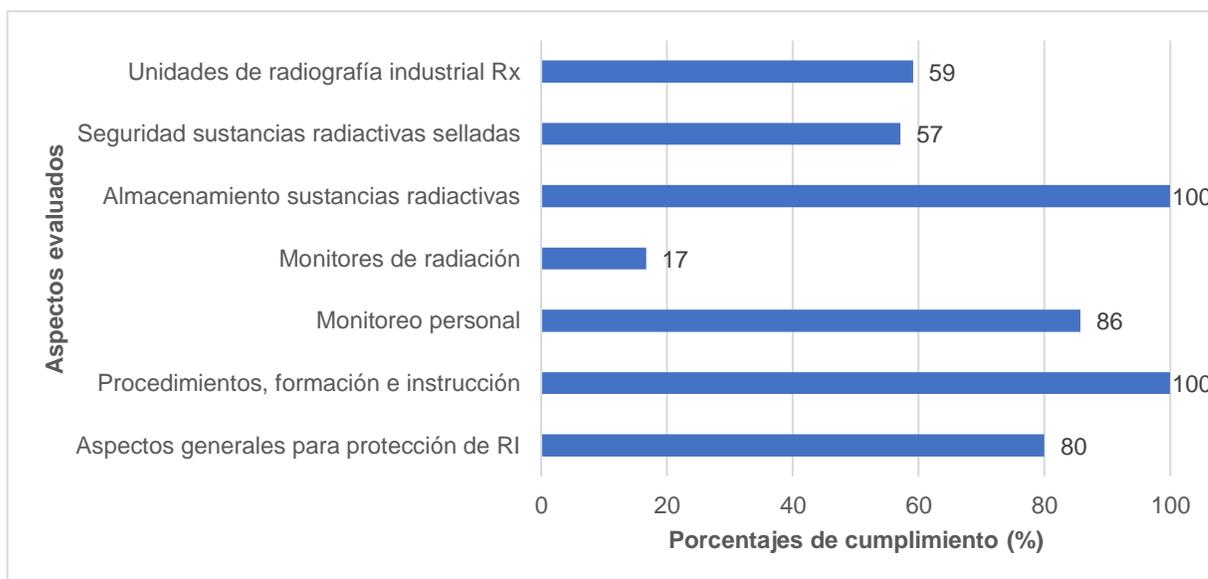


Figura IV-9. Condiciones evaluadas usando el estándar AS 2243.3:1998 en el búnker del LARI

De la figura IV-9 se obtiene que, el apartado de monitores de radiación es el de menor cumplimiento con 17 %, debido a que los equipos no han sido calibrados nuevamente desde que fueron puestos a funcionar, en el caso de los 2 contadores Geiger-Müller su calibración

data del año 1994 y en el caso del monitor de área del búnker su última calibración data del año 1994 y en el monitor de área del irradiador su calibración data del año 2014; lo que no garantiza los valores que registran los mismos durante su uso. El proceso de calibración se debe realizar de manera anual con el proveedor de los dispositivos de medición personal y monitoreo de área. También, el área presenta un cumplimiento del 100 % en los apartados de almacenamiento de sustancias radiactivas y procedimientos, formación e instrucción del personal. Se obtuvo, que las fuentes radiactivas de Cesio 137, Iridio 192 y Cobalto 60 se almacenan en un pequeño depósito bajo llave, este se localiza dentro del búnker que también cuenta con cerradura en la puerta de entrada al mismo. Aparte, el personal se capacita obligatoriamente cada 2 años según la regulación vigente en el país y deben renovar su licencia de operador de equipos emisores de radiaciones ionizantes ante el Ministerio de Salud de Costa Rica, ente que les brinda un carné que los acredita como personal calificado para operar los equipos emisores de radiaciones ionizantes.

9. Lista de verificación del estándar AS 2243.3:1998 (Irradiador)

En la figura IV-10, se muestran los resultados obtenidos luego de aplicar la lista de verificación del estándar AS 2243.3:1998, en las instalaciones del irradiador.

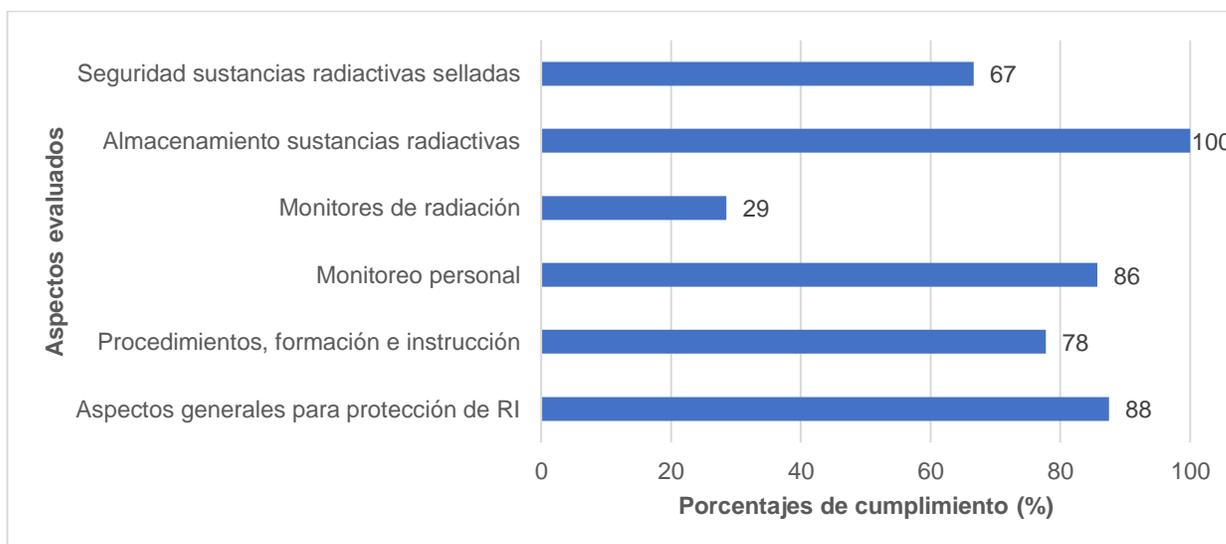


Figura IV-10. Condiciones evaluadas usando el estándar AS 2243.3:1998 en el irradiador gamma del LARI

Como se puede observar, el apartado de monitores de radiación fue el de menor cumplimiento con 29 % debido a la misma situación que se presenta en el área del búnker, no

se han calibrado los equipos de medición desde su puesta en funcionamiento como se mencionó anteriormente. El apartado de almacenamiento de sustancias radiactivas cumple al 100 %, porque las fuentes radiactivas del irradiador se encuentran blindadas dentro del mismo equipo, por lo que cuenta con las condiciones que impiden su remoción intencional o hurto.

10. Lista de verificación del TECDOC-1526 del OIEA

En la figura IV-11, se muestran los resultados obtenidos de evaluar las instalaciones del búnker con la lista de verificación del TECDOC-1526 del OIEA (ver Anexos 6 y 7). El apartado de estudios radiológicos de la zona fue el de menor cumplimiento, con un 33 %, porque los monitores de área y contadores Geiger-Müller no están calibrados. En el apartado de fuentes de radiación se cumple en un 50 % debido a la falta de pruebas de detección de fugas en las fuentes selladas y de registros que evidencien tales pruebas. Un aspecto donde el incumplimiento fue de 0 % es el que corresponde al apartado de auditorías y exámenes internos, debido a que no se cuenta con un programa de seguridad radiológica implementado donde se especifiquen funciones y responsabilidades de quienes participan en el LARI. Por ende, no existen registros de revisiones ni auditorías que evidencien seguimiento de dicho programa si éste existiera.

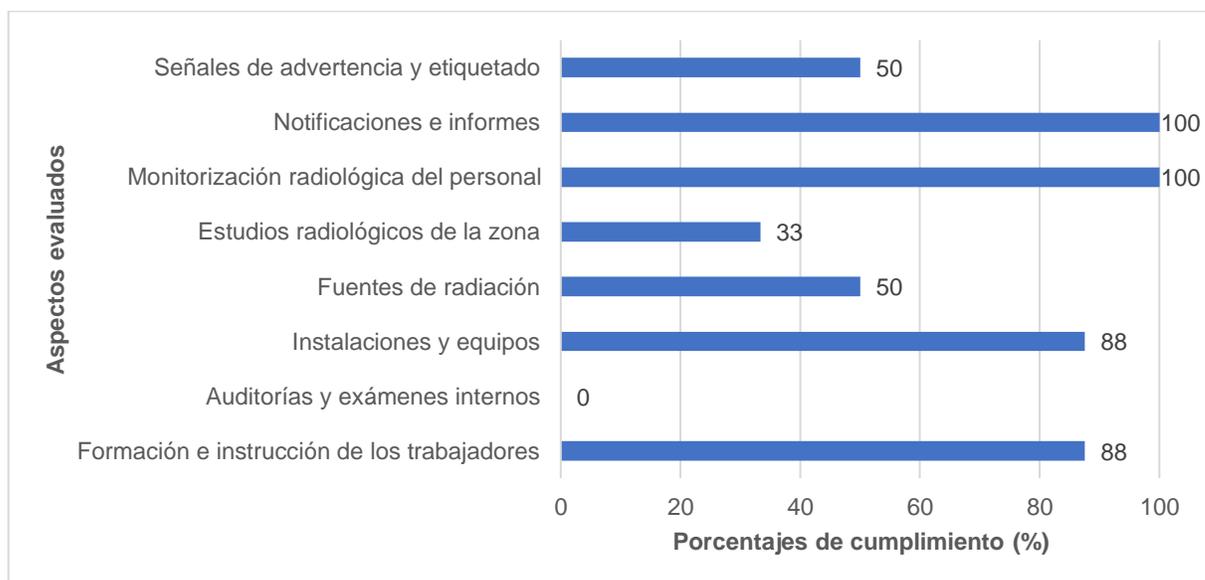


Figura IV-11. Aspectos evaluados con el TECDOC-1526 del OIEA en el búnker del LARI

Posteriormente en la figura IV-12 se muestran los resultados obtenidos al aplicar la lista de verificación del TECDOC-1526 del OIEA en las instalaciones del irradiador (ver Anexo 7), ya que dicha lista tiene un apartado para radiografía industrial y otro para irradiadores. Se

obtuvo que los apartados de auditorías y exámenes internos, recepción y transferencia de las fuentes y notificaciones e informes, incumplen en 0% debido a que no se realizan auditorías ni revisiones de las actividades ejecutadas, las fuentes radiactivas no se pueden transferir porque su blindaje no permite que cualquier persona pueda moverlas, a menos que se cuente con el equipo adecuado y la preparación requerida. Actualmente, no se realizan cambios de infraestructura ni operativos que deban informarse al Ministerio de Salud de Costa Rica como ente regulador en materia de radiaciones ionizantes en el país.

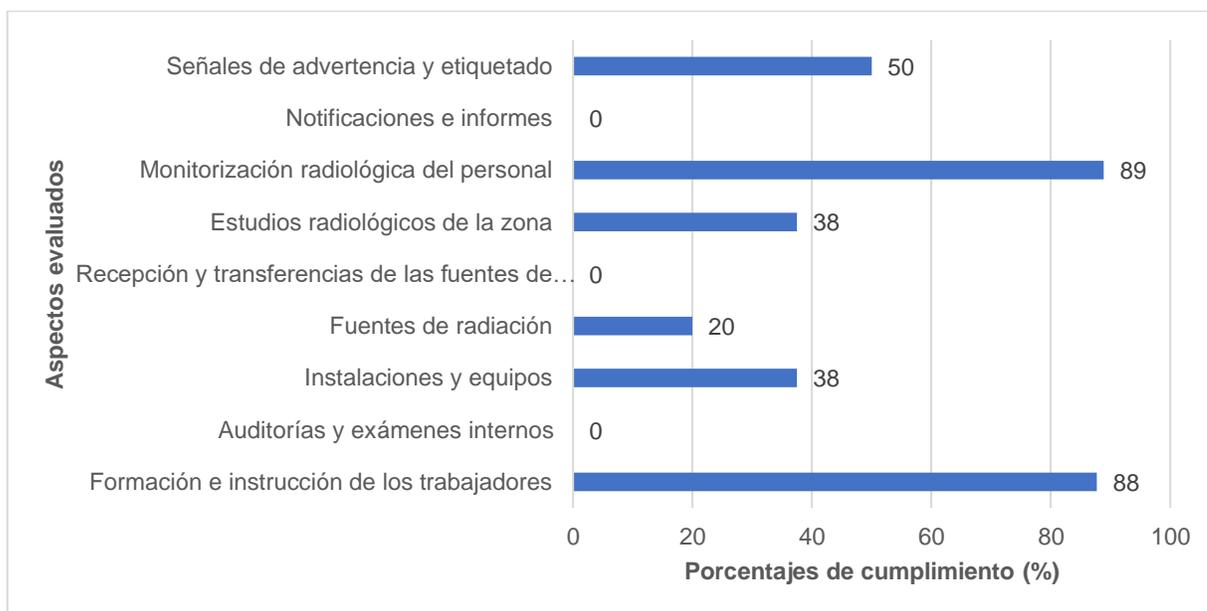


Figura IV-12. Aspectos evaluados con el TECDOC-1526 del OIEA en el irradiador gamma del LARI

11. Lista de verificación de la OSHA (3132)

En la figura IV-13 se presentan los resultados de aplicar la lista de verificación de la OSHA 3132 Gestión de la seguridad de los procesos (ver Anexo 8), la cual se aplicó a las actividades de radiografiado industrial e irradiación del LARI.

Dentro del LARI se carece de información de seguridad relacionada a los procesos, no se realiza seguimiento a los eventos no deseados (como robos, extravíos de equipos, fallos en los equipos, accidentes laborales del personal ocupacionalmente expuesto durante la realización de sus actividades), ni se tienen registros sobre la investigación de accidentes. Aparte, la participación y entrenamiento de los empleados fue el que cumplió en ambas instalaciones con un 86 %, debido al proceso de capacitación continua que llevan los

operadores de los equipos. En el apartado de administración de cambios se cumple en un 11 % para el búnker y 22 % para el irradiador porque no se poseen con procedimientos en caso de que se incorporen equipos o procesos nuevos, ni se estipula una evaluación de las condiciones de salud y seguridad en caso de realizarse cambios en las actividades laborales que realizan los operarios de equipos emisores de radiaciones ionizantes en alguna de las instalaciones del LARI (o fuera de este si es requerido). En el apartado de planificación y respuesta a emergencias se cumplió en 50 % en ambas instalaciones debido a que se cuenta con un lineamiento de atención de emergencias, pero no se cuentan con registros ni se realizan simulacros sobre situaciones de emergencia (invasión de personal no autorizado a áreas controladas, robo de equipos en las instalaciones, extravío de equipos en las instalaciones, actuaciones en caso de incendio en las instalaciones, fallas en los comandos de control de los equipos emisores de rayos X) que puedan ocurrir.

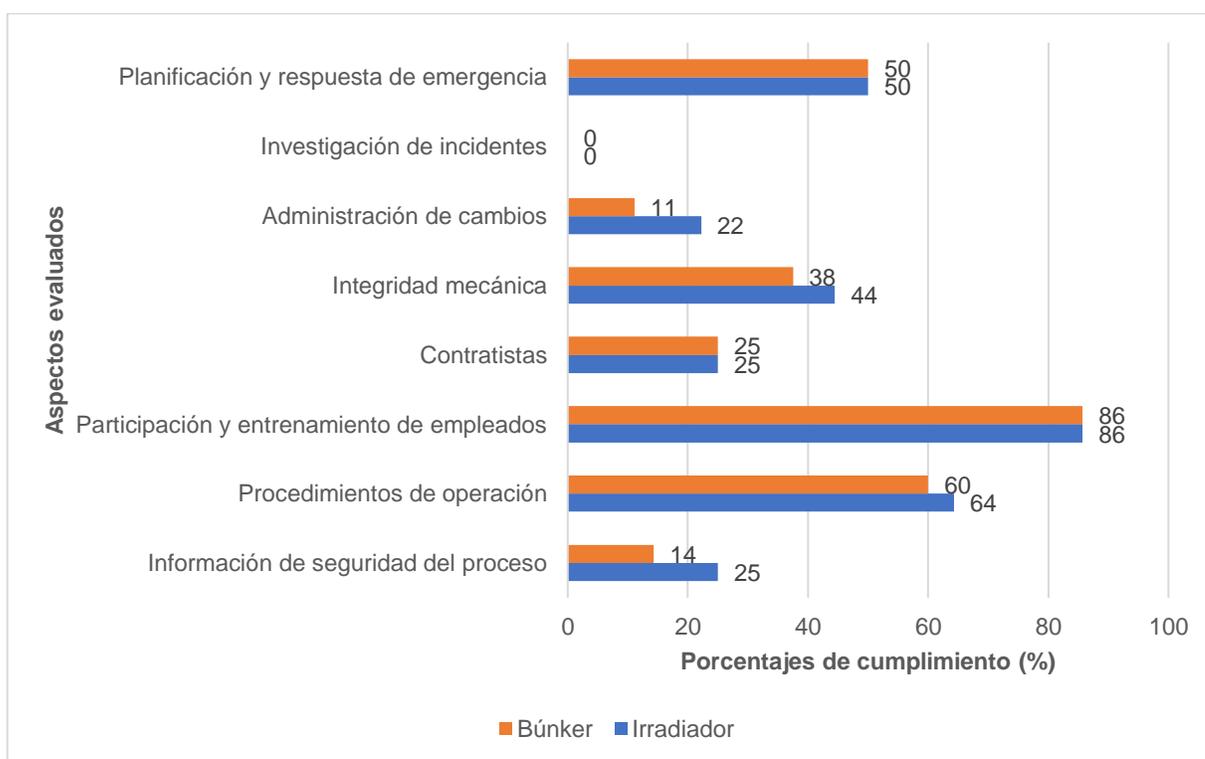


Figura IV-13. Aspectos evaluados con la lista de verificación de la OSHA (3132)

12. Bitácora de la observación no participativa

Como parte de la evaluación de los procesos, se realizaron observaciones no participativas y se registraron en una bitácora (ver Apéndice 7) para los procesos de radiografiado industrial en un área controlada dentro del búnker y en un área no controlada fuera de las instalaciones del búnker, y el proceso de irradiación de muestras mediante el uso del irradiador gamma (gammacell). De esas observaciones no participativas se tiene el cuadro IV-3 que contiene las condiciones y actos inseguros relacionados a los procesos de trabajo observados.

Cuadro IV-3. Resumen de las condiciones y actos inseguros encontradas mediante la observación no participativa

Actividad	Condiciones y actos inseguros
<p>Irradiación de especímenes con el uso de radiación gamma del Gammacell.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento de cargas pesadas. • Presencia de objetos en el área, que pueden causar tropiezos. • El volante de apertura de la zona de carga del irradiador sobresale del equipo. • Técnico no porta dosímetro personal durante el proceso. • No se hace revisión previa del equipo • Algunas luminarias no encienden. • La mesa donde se colocan las muestras posee bordes afilados.
<p>Radiografía industrial tradicional empleando rayos X (fuera de las instalaciones del búnker).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento de cargas pesadas. • El tele comando del equipo emisor de rayos X se coloca sobre una silla inestable. • El área donde se coloca el equipo presenta desniveles. • No se utiliza el contador Geiger durante todo el proceso de irradiación del espécimen. • No se hace revisión previa del equipo. • La cinta para demarcar el área donde se irradiará el espécimen sólo cubre parcialmente la zona. • Equipo con partes afiladas. • Señal de peligro de irradiación, no se aprecia con facilidad. • Posibilidad del ingreso de personas al área donde se está irradiando. • No se notifica al RPR de la ejecución de las actividades.
<p>Radiografía industrial tradicional empleando rayos X (dentro de las instalaciones del búnker).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento de cargas pesadas. • Pisos con desniveles. • Equipos con bordes afilados. • Monitor de área apagado durante todo el procedimiento.

	<ul style="list-style-type: none"> • Puerta de acceso al búnker, siempre se mantuvo abierta durante el proceso de irradiación de la muestra. • No hay alarma sonora, que indique el funcionamiento activo del equipo. • Tomas de corriente sin protección en el área.
--	--

Como se muestra en el cuadro IV-3, se tienen condiciones relacionadas al área de trabajo del irradiador gamma; como objetos (escaleras, cajas, equipos sin uso) que se ubican en las inmediaciones del área de paso hacia el irradiador sin ninguna organización y que pueden generar tropiezos y caídas al personal que labora en el área. También se encontraron actos inseguros como: el operario no realiza una inspección previa del irradiador antes de su uso, no utiliza el dosímetro durante el proceso de irradiación de la muestra, al realizar el mantenimiento del equipo debe levantar unas compuertas pesadas para acceder al compresor del equipo. Lo anterior, puede repercutir en que se utilice el equipo sin saber su estado actual de operación, que el operario reciba dosis de irradiación que no se registren en los informes de dosimetría o golpes en manos y pies debido a que las compuertas no cuentan con agarraderas que permitan una correcta manipulación de estas.

Por otra parte, en el área del búnker se encontraron condiciones como pisos con desniveles, tomas de corriente descubiertas dentro de las instalaciones, mesas de trabajo con bordes afilados; que pueden provocar lesiones físicas como cortes, descargas eléctricas o caídas que pueden afectar la integridad física del colaborador al momento de realizar su trabajo. Aparte, se encontraron actos como: el mantener apagado el monitor de área durante el proceso de radiografiado y no cerrar la puerta de acceso al búnker, que pueden provocar que el colaborador se exponga a energías ionizantes y no percatarse de ello durante las actividades que realiza en la instalación.

Para el proceso de radiografiado fuera de las instalaciones del búnker y la Institución, las condiciones de trabajo son variables porque dependen de la empresa que contrate el servicio y el área donde se vaya a tomar la radiografía. Durante la observación realizada, se observó que el área donde se ubicaba el tubo emisor de rayos X no estaba nivelada, el mismo equipo presenta bordes afilados que pueden causar cortes al operario, el comando del tubo emisor de rayos X se colocó en una silla dañada que podía provocar daños al equipo y alterar su funcionamiento normal. Mientras que, dentro de los actos inseguros se tuvo que no se utilizó el contador Geiger-Müller durante todo el proceso de radiografiado, no se realizó una

inspección previa del equipo, que la cinta utilizada para demarcar el área controlada de irradiación no generaba un perímetro cerrado y la señalización de riesgo de radiación no era fácilmente visible; lo que podía provocar que personas ajenas al proceso ingresaran al área donde se estaba llevando a cabo el proceso de radiografiado y se expusieran accidentalmente a energías ionizantes perjudiciales para su salud.

13. Diagrama de Ishikawa

Con ayuda de la información obtenida mediante la observación no participativa de los procesos de radiografiado e irradiación, se elabora un diagrama de Ishikawa (ver figura IV-14) que muestra causas que evidencian las condiciones y actos inseguros durante la ejecución de los procedimientos descritos anteriormente.

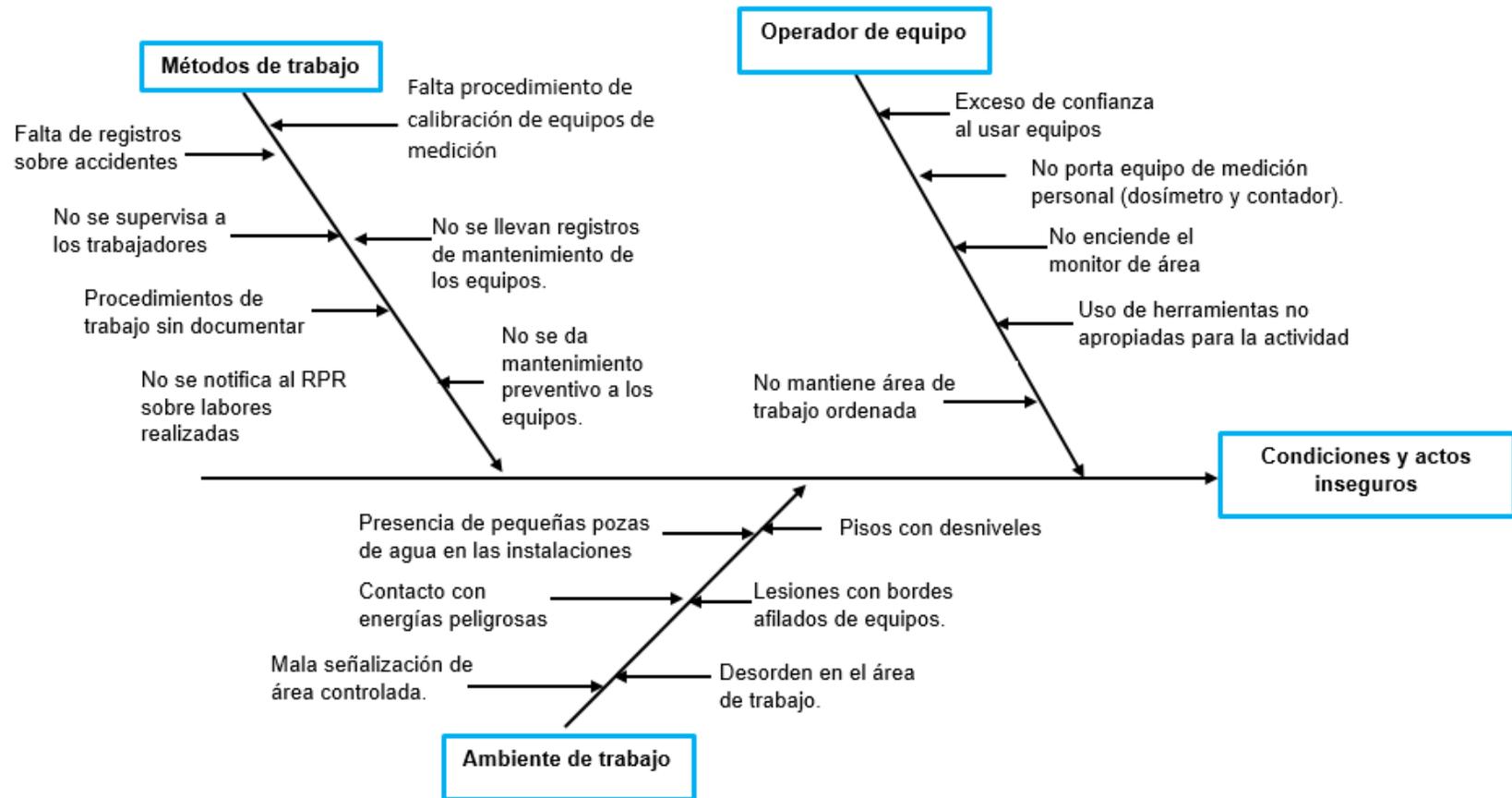


Figura IV-14. Diagrama de Ishikawa sobre las condiciones y actos inseguros observados durante los procedimientos de trabajo

Según lo mostrado en la figura IV-14, dentro de las condiciones y actos inseguros están los métodos de trabajo que se llevan a cabo actualmente en el Laboratorio porque se realizan procedimientos de trabajo sin supervisión del RPR, no se realiza mantenimiento preventivo a los equipos emisores de radiaciones ionizantes, lo cual puede exponer al personal ocupacionalmente expuesto (POE) a una mayor irradiación. Aparte, el POE emplea contadores portátiles Geiger-Müller descalibrados y sin certificados de calibración vigentes, pudiendo presentarse exposiciones superiores a lo normado por la legislación que no quedan registradas.

Aunado a lo anterior, la falta de procedimientos de operación y mantenimiento de equipos, la presencia de desniveles en el piso de las instalaciones y una mala señalización de las áreas controladas, pueden contribuir a un aumento consecuencias negativas en los trabajadores o personas cercanas a donde se realizan las labores debido a alguna eventualidad que se presente.

14. Matriz de valoración del riesgo de la INTE 31-06-07:2011

Como complemento a la información obtenida hasta el momento, se realizó una matriz de riesgos laborales según la INTE 31-06-07:2011 (ver Apéndice 9). En dicha matriz, se priorizaron las condiciones y actos inseguros obtenidos de la observación no participativa. Aparte, la herramienta se confeccionó con ayuda de los involucrados en el proyecto, quienes facilitaron información sobre el nivel de exposición y los posibles efectos en el personal ocupacionalmente expuesto (POE); con lo cual, se clasificaron las condiciones y actos inseguros encontrados en dos cuadros (ver cuadros IV-4 y IV-5). En el cuadro IV-4 se observan aquellos riesgos laborales catalogados como aceptables con controles específicos.

Cuadro IV-4. Resultado de los riesgos laborales aceptables con controles específicos

Matriz de valoración de los riesgos del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR										
Peligro		Efectos posibles	Evaluación del riesgo							Valoración del riesgo
Descripción	Clasificación		Nivel de Deficiencia	Nivel de Exposición	Nivel de Probabilidad (NDx NE)	Interpretación del nivel de probabilidad	Nivel de Consecuencia	Nivel de Riesgo (NR) e intervención	Interpretación del NR	Acceptabilidad del riesgo
Contacto indirecto con radiaciones ionizantes	De seguridad	Daño a órganos internos	6	2	12	Alto	25	300	II	Acceptable con controles específicos
No portar dosímetro	De seguridad	Recibir una cantidad de dosis no determinada	6	2	12	Alto	25	300	II	Acceptable con controles específicos
Área de irradiación no demarcada completamente	De seguridad	Ingreso de personas al área de irradiación	6	2	12	Alto	25	300	II	Acceptable con controles específicos

Según lo indicado en el cuadro IV-4 y la evaluación de riesgos realizada, existen tres condiciones o actos que presentan una valoración de riesgo de aceptable con controles específicos, los cuales corresponden a posibles contactos indirectos con energías ionizantes, el no portar dosímetros durante la ejecución de los procesos de radiografiado e irradiación y la falta de una completa demarcación del área donde se realizará la técnica de radiografiado fuera de las instalaciones del búnker. Por lo tanto, se deben tomar acciones ingenieriles o administrativas que disminuyan los riesgos laborales mencionados anteriormente, y con ello evitar los daños o afectaciones que puedan tener los trabajadores que realicen las labores de radiografiado o irradiación gamma, o personas cercanas a estos procesos.

En el cuadro IV-5 se muestra la evaluación de los riesgos laborales, que presentan una valoración de riesgo laboral catalogado como aceptable. Según la información recolectada y lo indicado en la INTE 31-06-07:2011, para aquellos catalogados como aceptables se deben mantener las medidas de control existentes o hacer comprobaciones que aseguren que el riesgo laboral se mantiene dentro de esta categoría.

Cuadro IV-5. Resultado de los riesgos laborales valorados como aceptables

Matriz de valoración de los riesgos del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR										
Peligro		Efectos posibles	Evaluación del riesgo							Valoración del riesgo
Descripción	Clasificación		Nivel de Deficiencia	Nivel de Exposición	Nivel de Probabilidad (NDx NE)	Interpretación del nivel de probabilidad	Nivel de Consecuencia	Nivel de Riesgo (NR) e intervención	Interpretación del NR	Acceptabilidad del riesgo
Caída de trabajadores	De seguridad	Fracturas, golpes	2	2	4	Bajo	10	40	III	Aceptable
Golpes con parte del mobiliario	De seguridad	Hematomas	2	1	2	Bajo	10	20	IV	Aceptable
Condiciones de aseo y orden	De seguridad	Golpes o caídas	6	2	12	Alto	10	120	III	Aceptable
Levantamiento cargas pesadas	Biomecánicos	Lesiones a articulaciones o miembros del cuerpo	2	2	4	Bajo	25	100	III	Aceptable
Cortes	De seguridad	Lesiones en miembros del cuerpo	2	2	4	Bajo	25	100	III	Aceptable
Puertas sin bloqueo	De Seguridad	Acceso no autorizado a las instalaciones	6	1	6	Medio	10	60	III	Aceptable

C. Conclusiones

- Se evidenció que el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR, realiza actividades de radiografiado industrial e irradiación gamma en instalaciones separadas físicamente y cuenta con equipos especializados para ejecutar sus actividades.
- El LARI, cuenta con fuentes radiactivas de Iridio 192 y Cesio 137 almacenadas en un depósito dentro del búnker del LARI, que presentan niveles de radiación bajos que no permiten utilizarlas para procesos de radiografiado.
- En el Laboratorio, no se cuenta con un plan de utilización de las fuentes o equipos emisores de radiaciones ionizantes expresado en horas por mes, siendo esto un incumplimiento a lo indicado en el Reglamento Sobre Protección contra Radiaciones Ionizantes N° 24037-S vigente en el país.
- Los exámenes médicos para la obtención del permiso de operador de equipos emisores de radiación ionizantes son pagados por el personal ocupacionalmente

expuesto, la CAIS de la Institución no cuenta con registros de los resultados de las evaluaciones que permitan darle seguimiento al estado de salud de los colaboradores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes del LARI.

- Durante el periodo comprendido entre los años 2015 al I semestre de 2019, el Responsable de Protección Radiológica conserva los registros de dosimetría personal de 6 colaboradores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes en el LARI, ninguno de los colaboradores superó o sobrepasó el límite anual de 20 mSv establecido por el Reglamento Sobre Protección contra Radiaciones Ionizantes N° 24037-S vigente en el país.
- El responsable legal ante el Ministerio de Salud de Costa Rica del LARI es el actual rector de la Institución, quien no es informado por parte del Responsable de Protección Radiológica (RPR) o el encargado de la GASEL sobre la situación actual de las instalaciones ni las actividades que se llevan a cabo en el Laboratorio.
- El personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes cuenta con capacitación en temas de protección radiológica, el uso de los equipos emisores de radiaciones ionizantes y con licencia de operación de los equipos utilizados, lo que indica que el personal posee preparación para realizar los procesos de radiografiado e irradiación cumpliendo los requisitos que indica el Ministerio de Salud de Costa Rica en el área de radiaciones ionizantes.
- Las instalaciones del búnker y el irradiador gamma, no cuentan con lámparas de emergencia que brinden iluminación temporal, en caso de corte eléctrico y estén presentes condiciones de baja iluminación natural.
- El no realizar actividades de mantenimiento a los equipos emisores de radiaciones ionizantes que se ubican en el área del búnker o del área del irradiador, puede provocar un funcionamiento inesperado de los dispositivos y exponer al trabajador a energías de alta frecuencia perjudiciales a su salud.
- Los contadores portátiles Geiger-Müller que debe usar el personal ocupacionalmente expuesto (POE) y los monitores de área que se ubican de manera permanente en las instalaciones, no se calibran debido a que se carece de un procedimiento que indique cuándo y quién debe hacerlo.

- El personal ocupacionalmente expuesto (POE) del LARI, no utiliza el dosímetro personal que brinda el CICANUM durante la realización de sus labores, lo que puede generar que los valores reportados no coincidan con la exposición real de estos.
- El Laboratorio, cuenta con un lineamiento para la atención de emergencias radiológicas, pero no cuentan con registros de simulacros sobre las situaciones de emergencia contenidos en este, que impiden determinar la eficacia de este y el nivel de capacitación del personal ocupacionalmente expuesto ante la ocurrencia de eventos no deseados dentro o fuera de las instalaciones de la Institución.
- El LARI, no cuenta con un programa de seguridad radiológica implementado, que se evidencia con la falta de procedimientos de trabajo, un manejo deficiente de los equipos de monitoreo personal y de área, sin responsabilidades claramente definidas y sin la participación de entes Institucionales como la GASEL, USEVI y CAIS.

D. Recomendaciones

- En las áreas del búnker y el irradiador gamma, donde se presentan grietas en paredes y pisos, goteras en el techo, luminarias dañadas, conectores eléctricos sin protección; el coordinador del CIEMTEC y el coordinador del LARI deben hacer la solicitud de reparación de los fallos de infraestructura detectados ante el Departamento de Administración de Mantenimiento (DAM) del ITCR.
- El LARI debe contar con un procedimiento para el manejo de las sustancias radiactivas que presenten bajos niveles de radiación y sean consideradas de desecho; para que su disposición se haga según las pautas legales que indica el Ministerio de Salud de Costa Rica.
- Para el seguimiento de las condiciones de salud del personal ocupacionalmente expuesto, el Programa de Seguridad Radiológica debe contemplar una propuesta de expediente diferenciado para los colaboradores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes del LARI y que este sea administrado por la Clínica de Atención Integral de la Salud (CAIS) de la Institución.
- El encargado de GASEL, el Responsable de Protección Radiológica y el encargado del LARI, deben informar al responsable legal del LARI (Rector) sobre las condiciones de las instalaciones, resultados de las dosimetrías, procedimientos, ocurrencia de eventos no deseados y las actividades que se llevan a cabo en el Laboratorio; mediante un

formato de informe (carta, comunicado, correo electrónico, memorando o similares) definido por estos miembros y ser entregado de manera anual a quien ejerza el puesto de Rector del ITCR.

- Se recomienda colocar una lámpara de emergencia en las instalaciones del búnker y otra en la instalación irradiador gamma, para contar con iluminación temporal en caso de corte en el suministro eléctrico y las condiciones de iluminación natural sean bajas.
- Se deben elaborar guías que permitan el desarrollo de la inspección y mantenimiento de los equipos emisores de radiaciones ionizantes con que cuenta el LARI.
- La calibración de los contadores portátiles de radiación (Geiger-Müller) y los monitores de área estacionarios con que cuenta el LARI, debe contemplarse dentro de un procedimiento en el Programa de Seguridad Radiológica.
- Se debe contemplar un procedimiento que indique la obligatoriedad del uso del dosímetro termoluminiscente durante el desarrollo completo de las actividades de radiografiado e irradiación y los periodos en que deben ser entregados al Responsable de Protección Radiológica de la Institución, dentro del Programa de Seguridad Radiológica.
- El Laboratorio, debe realizar simulacros que contemplen las emergencias indicadas en el lineamiento de atención de emergencias que posee, en conjunto con la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral y generar registros que permitan evaluar el accionar del personal ocupacionalmente expuesto ante la ocurrencia de eventos no deseados.
- Se recomienda la elaboración de una propuesta de Programa de Seguridad Radiológica para el LARI, que contemple controles ingenieriles y administrativos que favorezcan la ejecución segura de las actividades de radiografiado e irradiación que realiza el personal ocupacionalmente expuesto (POE) del Laboratorio.

V. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN



Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental

Programa de Seguridad Radiológica (PSR) para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), del Campus Tecnológico Central en Cartago

Realizado por: Erick Alonso Olmos Jiménez

Junio, 2020

A. Aspectos generales del programa

1. Introducción

Con los resultados que se obtuvieron del análisis de la situación actual, se plantea un Programa de Seguridad Radiológica (PSR) para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del ITCR; que incluya aspectos técnicos y administrativos con fundamento en la normativa nacional vigente y del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Como parte del programa, se establecen las responsabilidades de los involucrados, acciones tendientes a favorecer el uso seguro de los equipos emisores de radiaciones ionizantes (RI) y la mejora continua del programa. En la figura V-1, se brinda una representación gráfica de los apartados que están presentes en el Programa de Seguridad Radiológica (PSR).

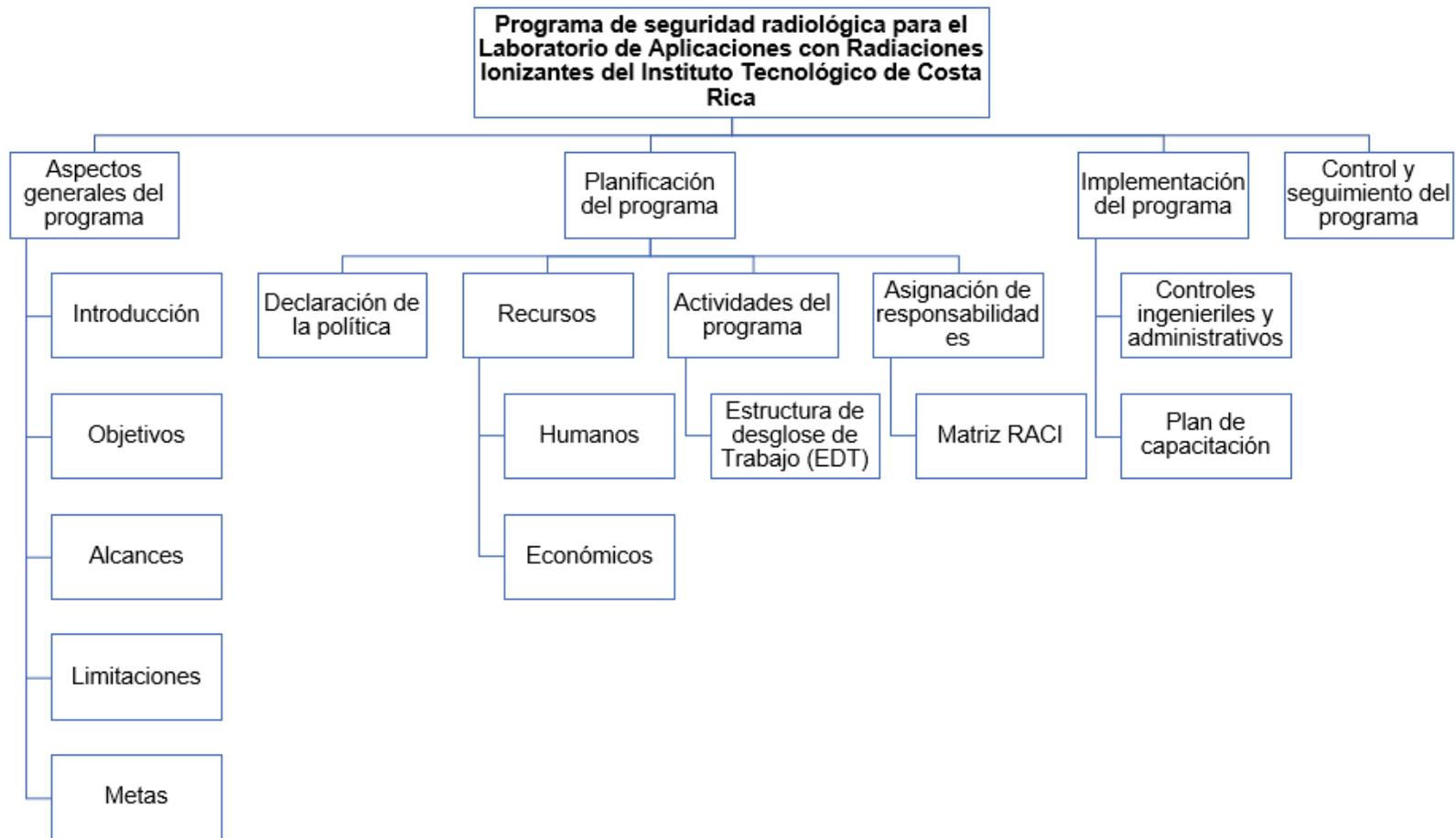


Figura V-1. Propuesta gráfica del Programa de Seguridad Radiológica (PSR)

2. Objetivos del programa

2.1 Objetivo general

Ofrecer una propuesta de Programa de Seguridad Radiológica (PSR) para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).

2.2 Objetivos específicos

- Proponer alternativas de control ingenieriles que disminuyan la posibilidad de que la energía residual de los tubos de rayos X entre en contacto con el personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes.
- Elaborar procedimientos de trabajo seguro para el personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes en el LARI.
- Establecer los componentes para la evaluación, control y seguimiento del Programa de Seguridad Radiológica (PSR) propuesto al LARI.

3. Alcance

La propuesta de un Programa de Seguridad Radiológica (PSR) para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR, se realiza para ofrecer medidas de control ingenieriles y administrativas que permitan condiciones de trabajo seguro para el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes en el Laboratorio.

4. Metas

- Informar a todos los involucrados, sus responsabilidades y roles dentro del Programa de Seguridad Radiológica (PSR) planteado.
- Capacitar al 100 % del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes sobre los controles propuestos en el Programa de Seguridad Radiológica (PSR) propuesto.
- Implementar procedimientos de inspección previa para los equipos emisores de radiaciones ionizantes del LARI en un periodo de 30 días, a partir de la finalización del proceso de capacitación planteado en el Programa de Seguridad Radiológica (PSR) elaborado.

B. Planificación del programa

1. Lineamiento del ITCR en materia de Salud Ocupacional

El Programa de Seguridad Radiológica (PSR) para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del ITCR, se compromete a contribuir con la formulación de un programa de Seguridad y Salud Ocupacional Institucional, como se indica en la sesión ordinaria N° 2441, artículo 22, del 3 de noviembre del 2005 del Consejo Institucional del ITCR, que dice:

- a. ..., se inicie con un análisis por áreas institucionales, que lleve a la elaboración de un Programa de Seguridad y Salud Ocupacional, que incluya tanto a la sede Central de Cartago, como la Sede Regional de San Carlos y el Centro Académico de San José (Consejo Institucional del ITCR, 2005).

Lo anterior, con apoyo de la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral (GASEL) que se encargará de realizar estudios y trabajos que tiendan a ofrecer entornos de trabajo seguros en la Institución en cumplimiento con la normativa costarricense vigente, para que los trabajadores, realicen sus actividades laborales de manera que se proteja su integridad física y de salud; de aquellas condiciones de trabajo que pueden afectarlos (Velandia & Pinilla, 2013).

2. Recursos

2.1 Humanos

Se refiere a los trabajadores tanto a nivel administrativo como operativo, que deben participar en las actividades que se indica en el Programa de Seguridad Radiológica (PSR) y que permitan la implementación de este en las instalaciones del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del ITCR. En el cuadro V-2, se indican las personas involucradas en el programa, indicando clave, clasificación, objetivo y su nivel de influencia e interés dentro de la organización.

2.2 Económicos

Se relaciona con el monto económico de los componentes y materiales que se requieren para implementar el Programa de Seguridad Radiológica (PSR). En el cuadro V-16, se indican los montos a invertir.

3. Actividades del programa

3.1 Estructura de desglose del trabajo (EDT)

En el cuadro V-1, se muestran las actividades que deben ser desarrolladas para la puesta en marcha del Programa de Seguridad Radiológica (PSR) propuesto para el LARI del ITCR; mediante una Estructura de Desglose del Trabajo (EDT).

Cuadro V-1. Estructura de Desglose del Trabajo del PSR

EDT	Programa de Seguridad Radiológica (PSR) para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)
1.1.1	Validación del PSR
1.1.1.1	Entregar el PSR a la encargada de GASEL del ITCR.
1.1.1.2	Entregar el PSR a la dirección de la ECIM del ITCR.
1.1.1.3	Realizar observaciones y modificaciones al PSR.
1.1.1.4	Aplicar correcciones al PSR.
1.1.1.5	Aprobar el PSR.
1.2.1	Divulgación del PSR
1.2.1.1	Presentar el PSR a la administración del Laboratorio.
1.2.1.1.1	Convocar al director de la ECIM, al coordinador del CIEMTEC, al coordinador del LARI, el RPR del LARI, director de USEVI y director de CAIS a reunión.
1.2.1.1.2	Presentar el PSR a funcionarios.
1.2.1.1.3	Capacitar para la implementación del PSR a funcionarios.
1.2.1.4	Presentar el PSR a los trabajadores.
1.2.1.4.1	Convocar reunión con los trabajadores.
1.2.1.4.2	Presentar el PSR a trabajadores.
1.2.1.4.3	Capacitar para la implementación del PSR a trabajadores.
1.3.1	Implementación del PSR
1.3.1.1	Aprobar el presupuesto y cronograma del PSR.
1.3.1.2	Guiar la implementación de controles ingenieriles y administrativos en el LARI.
1.3.1.3	Capacitar a los trabajadores en los temas indicados en el PSR.
1.3.1.4	Supervisar la ejecución del PSR.
1.4.1	Control y seguimiento del PSR
1.4.1.1	Ejecutar procedimiento para la evaluación y control del PSR.
1.4.1.2	Establecer oportunidades de mejora del PSR.
1.5.1	Actualización del programa
1.5.1.1	Revisar contenidos del PSR.
1.5.1.2	Verificar existencia de nuevos procesos o cambios en los existentes.
1.5.1.3	Realizar las modificaciones requeridas al PSR.

3.2 Involucrados del programa

En el cuadro V-2, se muestran los involucrados en la ejecución del Programa de Seguridad Radiológica (PSR); planteado para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del ITCR.

3.3 Definición de responsabilidades

a) Dirección de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales (ECIM) y Coordinación del Centro de Investigación y Extensión en Ingeniería de los Materiales (CIEMTEC)

El encargado de la dirección de la ECIM y el coordinador del CIEMTEC, deben apoyar al Programa de Seguridad Radiológica (PSR) del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes, mediante la asignación de recursos económicos y humanos para la implementación de las mejoras propuestas.

b) Coordinador del LARI

El coordinador del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI), debe trabajar en conjunto con la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral, para el desarrollo e implementación de las actividades propuestas en el Programa de Seguridad Radiológica.

c) Coordinador de la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral (GASEL)

El coordinador de la GASEL será el responsable de la puesta en marcha del Programa de Seguridad Radiológica (PSR). Además, debe trabajar en conjunto con el coordinador del LARI, el coordinador de la clínica (CAIS), el coordinador de la Unidad de Seguridad y Vigilancia (USEVI) y el responsable de protección radiológica (RPR), para el desarrollo de las actividades propuestas en los controles y procedimientos planteados.

d) Responsable de Protección Radiológica (RPR)

El RPR será el responsable de mantener las dosimetrías al día, realizar seguimiento a las actividades planteadas en el Programa de Seguridad Radiológica (PSR). Además, será quien coordine junto a la oficina de Recursos Humanos del ITCR el proceso de capacitación para el personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes.

e) Dirección de la Unidad de Seguridad y Vigilancia (USEVI) y la Clínica de Atención Integral en Salud (CAIS) del ITCR

Quien sea el coordinador de la Unidad de Seguridad y Vigilancia del ITCR y quien ostente el puesto de coordinador(a) de la Clínica de Atención Integral en Salud, deberán participar junto al coordinador de la GASEL para el desarrollo de las actividades propuestas en el Programa de Seguridad Radiológica (PSR).

f) Recursos Humanos del ITCR

Deberá recibir y atender la solicitud de capacitación por parte del RPR para avalar el proceso de refrescamiento al personal ocupacionalmente expuesto de los temas de Seguridad Radiológica.

g) Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) a Radiaciones Ionizantes (RI)

Cuando el Programa de Seguridad Radiológica esté implementado, el POE deberá seguir las pautas brindadas en los procedimientos y utilizar los controles propuestos en la ejecución de sus labores con equipos emisores de RI.

Cuadro V-2. Matriz de involucrados del programa de seguridad radiológica del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR

Involucrado	Clave	Clasificación	Actividad	Nivel de influencia	Nivel de interés	Estrategia
Erick Alonso Olmos Jiménez (responsable del proyecto de graduación)	EOJ	Interno	Elaboración del programa	Bajo	Alto	Mantener informado
Director ECIM	DEC	Interno	Aprobación e implementación del programa	Alto	Alto	Mantener atención cercana
Coordinador CIEMTEC	CCI	Interno	Aprobación e implementación del programa	Alto	Alto	Mantener atención cercana
Coordinador Laboratorio Aplicaciones con RI	CLA	Interno	Aprobación e implementación del programa	Alto	Alto	Mantener atención cercana
Responsable de Protección Radiológica	RPR	Interno	Aprobación e implementación del programa	Bajo	Alto	Mantener atención cercana
Coordinador GASEL	CGA	Interno	Asesor de la implementación del programa	Bajo	Alto	Facilitar la implementación y seguimiento del programa
Director(a) CAIS	DCA	Interno	Participación en el programa	Bajo	Bajo	Mantener informado
Director(a) USEVI	DUS	Interno	Participación en el programa	Bajo	Bajo	Mantener atención cercana
Personal Ocupacionalmente Expuesto a RI	POE	Interno	Participación en el programa	Bajo	Alto	Monitorear
Recursos Humanos	RH	Interno	Participación en el programa	Bajo	Alto	Mantener atención cercana

3.2 Asignación de responsabilidades

En el cuadro V-3 se muestra la matriz de asignación de responsabilidades (RACI) del Programa; que integra a quienes se encuentran en la matriz de involucrados del Programa de Seguridad Radiológica (PSR) del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del ITCR.

Cuadro V-3. Matriz de asignación de responsabilidades del programa

1.1 Propuesta de Programa de Seguridad Radiológica (PSR) del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR											
N°	Actividades	Involucrados									
		EOJ	DEC	CCI	CLA	RPR	CGA	DCA	DUS	POE	RH
1.1.1	Validación del PSR										
1.1.1.1	Entregar el PSR a la encargada de GASEL del ITCR.	R									
1.1.1.2	Entregar el PSR a la dirección de la ECIM del ITCR.	R									
1.1.1.3	Realizar observaciones y modificaciones al PSR.		P	P	P	P	R	C	C		
1.1.1.4	Aplicar correcciones al PSR.	R									
1.1.1.5	Aprobar el PSR.		P/A	P/A	P/A	P/A	R/A	I	I		
1.2.1	Divulgación del PSR										
1.2.1.1	Presentar el PSR a la administración del Laboratorio.	R									
1.2.1.1.1	Convocar al director de la ECIM, al coordinador del CIEMTEC, al coordinador del LARI, el RPR del LARI, director de USEVI y director de CAIS a reunión.	I	A	A	A	A	R	A	A		
1.2.1.1.2	Presentar el PSR a funcionarios.	R	P	P	P	P	P	P	P		
1.2.1.1.3	Capacitar para la implementación del PSR a funcionarios.		P	P	P	P	R	P	P		A
1.2.1.4	Presentar el PSR a los trabajadores.	R	A	A	A	I	I			P	I
1.2.1.4.1	Convocar reunión con los trabajadores.		A	I	A	I	R			I	I

1.2.1.4.2	Presentar el PSR a trabajadores.	R					P			P	I
1.2.1.4.3	Capacitar para la implementación del PSR a trabajadores.		I	I	I	I	R			P	
1.3.1	Implementación del PSR										
1.3.1.1	Aprobar el presupuesto y cronograma del PSR.		A	C	C	I	R				
1.3.1.2	Guiar la implementación de controles ingenieriles y administrativos en el LARI.		P	P	P	P	R	I	I	I	
1.3.1.3	Capacitar a los trabajadores en los temas indicados en el PSR.						R				
1.3.1.4	Supervisar la ejecución del PSR.		I	I	I	I	R			P	
1.4.1	Control y seguimiento del PSR										
1.4.1.1	Ejecutar procedimiento para la evaluación y control del PSR.		P	P	P	P	R/A				
1.4.1.2	Establecer oportunidades de mejora del PSR.		P	P	P	P	R/A	P	P	P	
1.5.1	Actualización del programa										
1.5.1.1	Revisar contenidos del PSR.		I	I	I	P	R				
1.5.1.2	Verificar existencia de nuevos procesos o cambios en los existentes.				P	P	R			P	
1.5.1.3	Realizar las modificaciones requeridas al PSR.				P	P	R			I	

Abreviaturas:

GASEL: Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral del ITCR.

ECIM: Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales del ITCR.

CIEMTEC: Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de los Materiales del ITCR.

LARI: Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR.

RPR: Responsable de Protección Radiológica
USEVI: Unidad de Seguridad y Vigilancia del ITCR.
CAIS: Clínica de Atención Integral en Salud del ITCR.
RH: Recursos Humanos del ITCR.

Leyenda

R: Responsable	A: Aprueba	C: Consulta	I: Informa	P: Participa
-----------------------	-------------------	--------------------	-------------------	---------------------

C. Alternativa de solución

1. Controles ingenieriles

1.1 Mampara portátil de plomo

Como parte de las alternativas orientadas a reducir la intensidad en un punto dado, se plantea el diseño de un medio de protección (blindaje) tipo mampara, entre la fuente emisora de rayos X y el colaborador que se encuentre operando el equipo emisor de radiaciones ionizantes fuera de las instalaciones del búnker o de las instalaciones del irradiador gamma.

Los cálculos presentados en el apéndice 13, sirvieron para obtener valores teóricos de la atenuación sobre la radiación de fuga que posee un tubo emisor de rayos X, y que se espera disminuya el blindaje según los materiales propuestos. Para determinar los valores reales y como recomienda la Guía de Seguridad Específica N° SSG-11 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA); para aquellas barreras físicas que se pretende disminuyan los niveles de radiación, se deberán realizar pruebas específicas de:

- Atenuación de radiación según el material empleado, que garantice que el espesor del material reduce efectivamente la intensidad de radiación emitida por la fuente emisora de rayos X.
- Densidad del material, para asegurar que el material presente una estructura atómica uniforme en toda su extensión.

Lo anterior, debe ser realizado antes del primer uso en campo de la mampara en un centro o laboratorio de metrología que posea los equipos, personal calificado para realizar las pruebas y que certifique la efectividad de la barrera física para disminuir la intensidad de radiación. Aparte, se recomienda realizar las pruebas antes mencionadas a las barreras físicas basadas en materiales densos (como el Plomo) que se coloquen entre el operador y el equipo emisor de radiaciones ionizantes cada 2 años o cuando se presenten daños evidentes en la barrera protectora (Ovalle *et al.*, 2013).

Seguidamente, se incluyen las características de los emisores de rayos X (ver cuadro V-4) con que cuenta actualmente el laboratorio de aplicaciones con radiaciones ionizantes.

Cuadro V-4. Equipos emisores de rayos X que posee el Laboratorio

Marca, modelo y serie del emisor	Marca, modelo y serie del colimador	Kilo voltaje máximo del emisor	Mili amperaje máximo del emisor
Toshiba, EX 250 G2	No posee colimador.	270 kV	5 mA
Raysor, XPRO	No posee colimador.	270 kV	5 mA
Yxlon, YXPO 225	No posee colimador.	220 kV	10 mA

Fuente: Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR. (2019)

Seguidamente, se realizó el cálculo de atenuación teórica de dos opciones de mampara (una de Plomo y otra de Hierro); según la fórmula de la ley de atenuación exponencial mostrada a continuación:

$$I = I_0 * e^{-(\mu) * x}$$

Donde:

I = Cantidad de energía que logra atravesar el material ($\frac{mSv}{h}$)

I_0 = Cantidad de energía que incide en el material ($\frac{mSv}{h}$)

μ = Coeficiente de atenuación lineal (cm^{-1})

x = Espesor del material (cm)

La fórmula indicada anteriormente, se aplicará a la propuesta de blindaje de Plomo (Pb) y de Hierro (Fe) (ver apéndice 13). Lo anterior, porque según Imbroda *et al.* (2010) son los materiales más utilizados para el diseño de blindajes protectores contra radiaciones gamma y rayos X.

Según el cuadro V-5, se obtuvo que el blindaje de Plomo atenúa de manera teórica 27,20 veces la energía una vez que esta incide en el material; mientras que el blindaje de Hierro atenúa teóricamente 1,61 veces la energía que incide sobre el material. Por el nivel de energía que atenúa y la seguridad que brinda al operador del equipo, se seleccionó el blindaje elaborado a partir del Plomo.

Cuadro V-5. Atenuación teórica de radiación según la ley de atenuación exponencial

Material	Espesor	Atenuación teórica
Plomo (Pb)	0.005 m	27.20 veces
Hierro (Fe)	0.005 m	1.61 veces

En la figura V-2, se muestra una representación gráfica de la mampara de plomo propuesta.

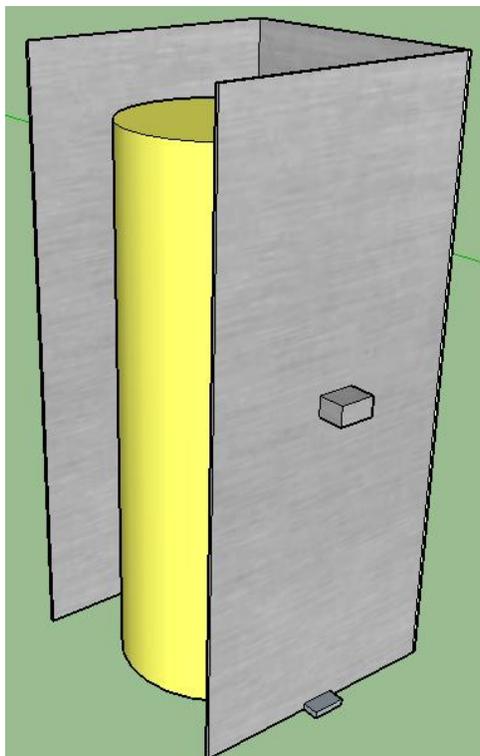


Figura V-2. Representación gráfica de la mampara de plomo propuesta

Fuente: Sketch Up Pro, 2016.

En el cuadro V-6, se muestran las dimensiones de la mampara propuesta. Esta medida de control se hace de manera que no interfiera con la operación habitual del equipo y en función del principio de optimización y limitación de dosis recibida que establece el Reglamento sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes N°24037-S y que permite la instalación de barreras físicas que disminuyan los niveles de radiación para ofrecer protección al personal ocupacionalmente expuesto (POE).

Cuadro V-6. Información de la mampara propuesta

Referencia	Información	Dimensión
"Artículo 66: Toda práctica que se realice con material radiactivo o equipos generadores de radiaciones ionizantes, estarán sujetos a los principios de justificación, de optimización y de limitación de dosis." (Reglamento sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes N° 24037-S)	Altura	0.90 m
	Ancho	0.41 m
	Largo	0.40 m
	Espesor de la lámina	0.005 m

Como se indica en el cuadro V-6, la medida de control tiene como propósito ofrecer una barrera física que contribuya a la disminución de la dosis que reciba el operador del equipo emisor de radiaciones ionizantes durante la ejecución de sus labores.

1.2 Contadores Geiger-Müller

Los dos contadores Geiger-Müller portátiles con que cuenta el LARI se encuentran descalibrados y poseen una antigüedad superior a los 15 años. Por lo que se propone la adquisición de nuevos contadores portátiles, las alternativas propuestas se observan en el cuadro V-7.

Cuadro V-7. Información de los medidores portátiles propuestos

Información			
Dispositivo:	Contador Geiger-Müller Portátil, marca NDS.	Contador Geiger-Müller RedAlert 100X	Contador de Radiación RADEX RD1008
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Contador portátil para medición de rayos gamma / rayos X. - Posee 3 rangos de operación. - Escala en mR/hr y μSv/hr. - A prueba de agua. - Pantalla digital. - Diseñado para ensayos no destructivos (END). 	<ul style="list-style-type: none"> - Detector para la medición de radiación alfa, beta, gamma y rayos X. - Pantalla de cristal líquido de 4 dígitos con indicador de modos. - Nivel de alarma ajustable usando 3 botones. - Escala en μSv/hr o cuentas por segundo 	<ul style="list-style-type: none"> - Detecta rayos gamma, beta y rayos X- - Rango de medición de 0.1 a 999 μSv/hr. - Emplea 3 baterías AA. - Solo cuenta con 3 botones de operación.
Proveedor:	NDS Products, Inc.	RADIANSA Consulting S.L.	PCE Instruments
Cantidad:	2	2	2
Representación gráfica:			
Precio	¢ 569 495.40	¢ 375 760.18	¢ 300 542.80

En el Laboratorio de Aplicaciones con radiaciones ionizantes se emplean equipos emisores de rayos X, por lo que el contador requerido debe medir ese tipo de radiación ionizante. Los tres equipos operan mediante baterías alcalinas, son digitales y portátiles.

Para realizar la selección del medidor Geiger-Müller para el Laboratorio, se toma en cuenta la facilidades que brinda el proveedor para realizar la calibración y el precio de estas. El equipo

suministrado por NDS ofrece el servicio de calibración por el precio de \$60 o ₡ 33793.78 al cambio del dólar oficial obtenido del Banco Central de Costa Rica el día 13/01/2020 por cada unidad. Mientras que los demás proveedores no indican el monto ni tampoco indican que realicen la calibración de los equipos. Este es un punto importante que se consideró, ya que la calibración de los equipos debe realizarse de manera anual y se busca un costo razonable para realizar ese proceso y la empresa NDS Products, Inc. ofrece el servicio e indica al consumidor el costo de éste en caso de requerirlo.

Este tipo de equipo detecta la radiación ionizante y notifica al usuario sobre la cercanía a una zona con irradiación y muestra los niveles en tiempo real. Lo que permite al usuario mantenerse a una distancia segura del equipo emisor de radiaciones ionizantes. También, como lo indica el Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes N° 24037-S, se deben proveer equipos de dosimetrías calibrados y en buen estado a los trabajadores, con el fin de proteger al personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes y disminuir las consecuencias de una exposición elevada a las mismas.

1.3 Señalización de seguridad

1.3.1 Señalización de advertencia del área controlada

Como parte de las alternativas, se propone la adquisición de señalización para demarcar el perímetro del área controlada cuando se empleen equipos emisores de radiaciones ionizantes fuera de las instalaciones del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del ITCR. En el cuadro V-8, se indica la señalización propuesta para delimitar el área controlada y sus especificaciones.

Cuadro V-8. Especificaciones de la señalización propuesta

Señalización	Características	Proveedor
	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta de señalización “Peligro Radiación” - Ancho: 3” (76.2 mm) - En rollo, con espesor de 0.4 mm - Material polietileno - 300 m de cinta en el rollo - Cumple con INTE/ISO 3864-1:2015 “Símbolos gráficos. Señales y colores de seguridad” 	<p>- Capris</p>
	<ul style="list-style-type: none"> - Poste CAD para señalización - Color: Amarillo con negro - Altura: 900 mm - Grosor de tubo: 40 mm - Peso: 5.05 kg - Cantidad: 6 	<p>- Capris</p>
	<ul style="list-style-type: none"> - Señal con la leyenda “Riesgo de Radiación” - Homologada según UNE 81-501. - Medidas 600 mm x 460 mm - Material: PVC de 2 mm - Para uso en interiores o exteriores - Cantidad: 6 	<p>- SERIOR</p>

Fuente: Capris & Serior, 2020.

1.3.2 Señalización de no fumar

En la entrada del área irradiador gamma y el área del búnker, no se cuenta con señalización de no fumar. En el cuadro V-9, se indica la señalización de no fumar propuesta para ambos sitios.

Cuadro V-9. Características de la señalización de no fumar

Señalización	Características	Proveedor
	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Serigráficos - Uso en interiores o exteriores. - Para uso en áreas comerciales o industriales que requieran señalización de no fumar. - Dimensiones 325 mm x 220 mm - Material: PVC de 2 mm - Cantidad: 2 	<p>- EPA</p>

Fuente: EPA, 2020.

1.4 Lámparas de emergencia

Según indicó el coordinador del Laboratorio, han ocurrido situaciones donde se deben realizar procesos de radiografiado o irradiación hasta las 6:00 p.m. En el análisis de la situación actual se identificó que las instalaciones no cuentan con iluminación de emergencia, por lo que se propone la instalación de lámparas de emergencia. En el cuadro V-10, se muestran las especificaciones del equipo.

Cuadro V-10. Características de la lámpara de emergencia propuesta

Lámpara de emergencia E-40 LED	
Proveedor	Sylvania, Costa Rica
Descripción	<ul style="list-style-type: none">- Cuerpo de plástico inyectado con alta resistencia a impactos.-Lentes prismáticos diseñados para lograr un máximo de eficiencia.- Tiempo de respaldo de la batería 90 minutos.-Ideal para aplicaciones comerciales e industriales.
Imagen	
Cantidad	2

Fuente: EPA. (2020)

Se seleccionaron dos lámparas de emergencias, que serán colocadas como se indica en las figuras V-3 y V-4.

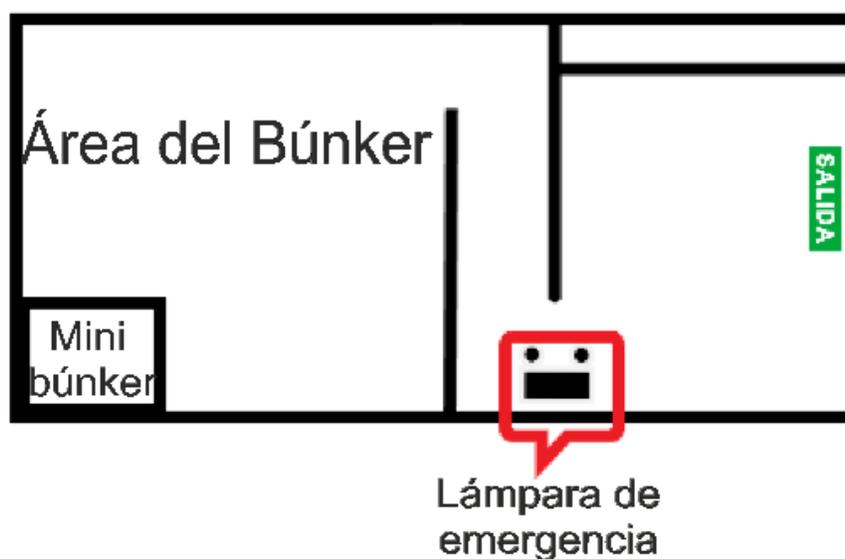


Figura V-3. Ubicación de la lámpara de emergencia en el área del búnker



Figura V-4. Ubicación de la lámpara de emergencia en el área del irradiador gamma

2. Controles administrativos

2.1 Procedimientos de trabajo

En esta sección, se indican los instructivos de trabajo que contiene la propuesta de Programa de Seguridad Radiológica (PSR) que deben aplicar el área administrativa y quienes empleen los equipos emisores de radiaciones ionizantes para realizar las actividades laborales de manera segura y garantizar la inspección y correcto funcionamiento de los equipos que posee el Laboratorio.

Para la nomenclatura de los procedimientos de trabajo, se incluyeron las siglas “PTS-LARI” seguido de un número que lo identifica y cada uno de ellos, cuenta con su respectivo registro.

Los procedimientos de trabajo son los siguientes:

- PTS-LARI-1: “Inspección de los equipos generadores de rayos X”.
- PTS-LARI-2: “Mantenimiento de los equipos generadores de rayos X”.
- PTS-LARI-3: “Inspección del irradiador gamma auto blindado”.
- PTS-LARI-4: “Mantenimiento del irradiador gamma auto blindado”.
- PTS-LARI-5: “Verificación de los monitores de área y contadores Geiger-Müller”.
- PTS-LARI-6: “Operación segura de equipos emisores de radiaciones ionizantes”.
- PTS-LARI-7: “Dosimetría personal”.

- PTS-LARI-8: “Registro de salud del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI)”.
- PTS-LARI-9: “Manejo de los desechos radioactivos”.

A continuación, se muestran los procedimientos de trabajo propuestos.

	Procedimiento: Inspección de equipos generadores de rayos X		Página: 1 de 5
	Código: PTS-LARI-1	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Procedimiento de trabajo PTS-LARI-1

“Inspección de los equipos generadores de rayos X”

	Procedimiento: Inspección de equipos generadores de rayos X		
	Código: PTS-LARI-1	Versión: 1.00	Página: 2 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

1. Introducción

Como parte del uso seguro de los equipos emisores de rayos X, se deben realizar inspecciones visuales que permitan detectar alteraciones o daños en estos. Lo anterior, se deberá realizar previo al uso del dispositivo y para verificar su estado.

2. Alcance

Este procedimiento aplica a todos aquellos equipos generadores de rayos X que empleen un tubo de rayos X convencional.

3. Objetivo

Ofrecer al operario de equipos emisores de radiaciones ionizantes una herramienta de verificación de las condiciones de estos.

4. Responsabilidades

Coordinador del Laboratorio:

- ✓ Firmar la lista de verificación una vez que el operario ha realizado la inspección.
- ✓ Llevar registro de los formularios IERX-1 que reciba del operario.
- ✓ Autorizar o no el uso de(l) (los) equipo(s) generadores de rayos X.
- ✓ Coordinar el mantenimiento del equipo que incumpla algunas de las condiciones del formulario IERX-1.

Operario:

- ✓ Aplicar el formulario IERX-1 a los equipos emisores de radiaciones ionizantes previo a su uso.
- ✓ Entregar el formulario IERX-1 completo al coordinador del Laboratorio.

	Procedimiento: Inspección de equipos generadores de rayos X	
	Código: PTS-LARI-1	Versión: 1.00
Fecha:	Enero, 2020	Página: 3 de 5
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez	
Aprobado por:		

5. Instrucciones

- 5.1** Como parte del uso seguro de los equipos emisores de rayos X, se debe realizar una comprobación rutinaria de los componentes por parte del personal que opera los equipos tanto si se realiza en un recinto blindado como si se realiza fuera de dichas instalaciones.
- 5.2** El operario del equipo deberá realizar la inspección de los componentes del equipo sin prisas y según los apartados del formulario IERX-1 “Verificación de condiciones de equipos emisores de rayos X basada en la guía de seguridad específica N° SSG-11 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)”.
- 5.3** Cuando la lista de verificación sea completada y se detecten anomalías en el equipo, se deberá llenar el apartado de daños del formulario IERX-1 “Verificación de condiciones de equipos emisores de rayos X basada en la guía de seguridad específica N° SSG-11 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)” e informar de inmediato al coordinador del Laboratorio, quien autorizará o no su uso.
- 5.4** El Coordinador del Laboratorio, deberá conservar los formularios IERX-1 de manera física y llevar registro computarizado de los mismos.

	Procedimiento: Inspección de equipos generadores de rayos X		
	Código: PTS-LARI-1	Versión: 1.00	Página: 4 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

6. Formulario

Formulario: IERX-1				
Lista de verificación de condiciones de equipos emisores de rayos X basada en la guía de seguridad específica N° SSG-11 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)				
Nombre de la empresa propietaria del equipo:				
Marca del equipo:				
Modelo del equipo:				
N° de serie del equipo:				
Kilo voltaje máximo:				
Mili amperaje máximo:				
Nombre y firma de quien revisa el equipo:				
Fecha de la revisión:				
Aspecto por evaluar	Cumplimiento			Observaciones
	Sí	No	No Aplica	
1. Seguridad Eléctrica				
1.1 ¿Los cables de conexión presentan daños físicos (cortes, daños en su cubierta protectora, daños en los conectores, desgaste, deformaciones y similares) evidentes?				
1.2 ¿Las roscas de los cables de conexión presentan desgaste?				
2. Cuadro de mando				
2.1 ¿Presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares)?				
2.2 ¿Tiene una etiqueta con el símbolo de radiación (trébol)?				

	Procedimiento: Inspección de equipos generadores de rayos X		
	Código: PTS-LARI-1	Versión: 1.00	Página: 5 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

2.3 ¿Tiene una etiqueta de advertencia que prohíba su uso no autorizado?				
2.4 ¿El interruptor de llave, se encuentra funcionando para prevenir el uso no autorizado?				
2.5 ¿El indicador (luminoso y/o sonoro) de equipo activo (listo para emitir rayos X) se encuentra presente, en buen estado y funcionando correctamente?				
2.6 ¿El indicador (luminoso y/o sonoro) del equipo cuando emite rayos X, se encuentra presente, en buen estado y funcionando correctamente?				
2.7 ¿El temporizador del equipo se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				
2.8 ¿El indicador de kilo voltaje (kV) y la corriente en miliamperes (mA) se encuentran en buen estado y funcionando correctamente?				
2.9 ¿Los interruptores de encendido y apagado del equipo se encuentran funcionando y en buen estado?				
3. Cabezal del tubo de rayos X				
3.1 ¿El soporte del cabezal presenta daños físicos (golpes, abolladuras, fracturas, perforaciones, decoloración y similares) sobre su superficie?				
3.2 ¿Los conectores del soporte se encuentran en buen estado y no presentan daños evidentes?				
Firma y fecha de recibido por parte del Coordinador del LARI:				
Daños encontrados:				

	Procedimiento: Mantenimiento equipos generadores de rayos X		Página: 1 de 4
	Código: PTS-LARI-2	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Procedimiento de trabajo PTS-LARI-2

“Mantenimiento de los equipos generadores de rayos X”

	Procedimiento: Mantenimiento equipos generadores de rayos X		
	Código: PTS-LARI-2	Versión: 1.00	Página: 2 de 4
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

1. Introducción

A los equipos emisores de rayos X, se les debe realizar mantenimiento cuando se evidencien daños durante las inspecciones que se les realicen. Con el fin de que se mantengan operativos y en buen estado.

2. Alcance

Este procedimiento aplica a los equipos generadores de rayos X que utilicen un tubo de rayos X convencional y que requiera mantenimiento por personal autorizado.

3. Objetivo

Evitar el uso de equipos emisores de rayos X que presenten daños en su integridad física.

4. Responsabilidades

Coordinador del Laboratorio:

- ✓ Solicitar al proveedor del equipo emisor de rayos X el mantenimiento de este.
- ✓ Completar el formulario MERX-1 con la información del mantenimiento realizado al equipo.
- ✓ Velar porque se realice el mantenimiento al equipo que no se encuentre en condiciones óptimas para su uso.

Operario:

- ✓ Realizar la inspección periódica a los equipos generadores de rayos X.
- ✓ Notificar al Coordinador del Laboratorio cuando se detecten fallos del equipo.

	Procedimiento: Mantenimiento equipos generadores de rayos X		Página: 3 de 4
	Código: PTS-LARI-2	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

5. Instrucciones

- 5.1 Los equipos de rayos X de tubo convencional, deben ser revisados por el operario del equipo, como lo indica el procedimiento de trabajo PTS-LARI-1 “Inspección de equipos generadores de rayos X”.
- 5.2 Si al realizar la inspección, se detectan incumplimientos el operario debe informar al coordinador del Laboratorio, quien autorizará o no el uso del equipo.
- 5.3 El Coordinador del Laboratorio deberá gestionar la solicitud de mantenimiento correctivo ante el proveedor del equipo.
- 5.4 El Coordinador del Laboratorio, deberá llenar el formulario MERX-1 “Mantenimiento de los equipos emisores rayos X” con la información que este indica.
- 5.5 El Coordinador del Laboratorio, guardará los formularios MERX-1 completos y generará un documento digital, donde se ingrese la información consignada en estos.

	Procedimiento: Mantenimiento equipos generadores de rayos X		
	Código: PTS-LARI-2	Versión: 1.00	Página: 4 de 4
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

6. Formulario

Formulario: MERX-1			
Mantenimiento de los equipos emisores rayos X			
Marca del equipo:			
Modelo del equipo:			
N° de serie del equipo:			
Nombre de quien hace la solicitud de mantenimiento:			
Fecha de solicitud del mantenimiento:			
Nombre de la empresa que realiza el mantenimiento:			
Nombre de la persona contactada en la empresa:			
Fecha del Mantenimiento:			
Año de adquisición del equipo			
Año de fabricación del equipo			
A continuación, detalle el mantenimiento realizado al equipo:			
En caso de realizar el cambio de algún componente indicar:			
Nombre del componente	Marca del componente	Serie del componente	Función del componente
Observaciones:			
Firma del coordinador del laboratorio:			

	Procedimiento: Inspección del irradiador gamma auto blindado	
	Código: PTS-LARI-3	Versión: 1.00
Fecha:	Enero, 2020	Página: 1 de 5
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez	
Aprobado por:		

Procedimiento de trabajo PTS-LARI-3

“Inspección del irradiador gamma auto blindado”

	Procedimiento: Inspección del irradiador gamma auto blindado		
	Código: PTS-LARI-3	Versión: 1.00	Página: 2 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

1. Introducción

El Laboratorio, cuenta con un irradiador gamma auto blindado al cual, se le deben realizar inspecciones visuales que permitan detectar alteraciones o daños en sus componentes. Lo anterior, se deberá realizar previo al uso del equipo para favorecer una operación segura del mismo por parte del trabajador.

2. Alcance

Este procedimiento aplica al irradiador gamma auto blindado que posee el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR.

3. Objetivo

Ofrecer al operario del irradiador gamma, una herramienta de verificación de las condiciones del equipo.

4. Responsabilidades

Coordinador del Laboratorio:

- ✓ Firmar el formulario IEGM-1 una vez que el operario le haga entrega de esta.
- ✓ Autorizar o no el uso del irradiador gamma auto blindado.
- ✓ Notificar al Responsable de Protección Radiológica la decisión de uso o no del irradiador, si se incumple algún aspecto del formulario IEGM-1.
- ✓ Brindarle una copia del formulario IEGM-1 al Responsable de Protección Radiológica.
- ✓ Coordinar el mantenimiento del equipo que incumpla algunas de las condiciones del formulario IEGM-1.

	Procedimiento: Inspección del irradiador gamma auto blindado	
	Código: PTS-LARI-3	Versión: 1.00
Fecha:	Enero, 2020	Página: 3 de 5
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez	
Aprobado por:		

Responsable de protección radiológica (RPR):

- ✓ Llevar registro físico y digital de todos los formularios IEGM-1 que se apliquen al irradiador gamma y los incumplimientos que se detecten.

Operario:

- ✓ Aplicar el formulario IEGM-1 al irradiador gamma.
- ✓ Entregar el formulario IEGM-1 que completó con la información solicitada al Coordinador del Laboratorio.

5. Instrucciones

- 5.1** Como parte del uso seguro del irradiador gamma, se debe realizar una comprobación rutinaria de los componentes por parte del personal que opera el equipo.
- 5.2** El operario del irradiador deberá realizar la inspección de los componentes del equipo sin prisas y según los apartados del formulario IEGM-1 “Lista de verificación para el irradiador gamma, basada en la guía de seguridad específica N° SSG-8 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)”, previo al uso normal del equipo.
- 5.3** Cuando el formulario IEGM-1 se complete y se detecten anomalías en el equipo, se deberá llenar el apartado de daños del formulario IEGM-1 e informar de inmediato al coordinador del Laboratorio, quien autorizará junto al Responsable de Protección Radiológica el uso o no del irradiador.
- 5.4** Se deben seguir las pautas indicadas en el procedimiento de mantenimiento del irradiador gamma PTS-LARI-4.

	Procedimiento: Inspección del irradiador gamma auto blindado		
	Código: PTS-LARI-3	Versión: 1.00	Página: 4 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

6. Formulario

Formulario: IEGM-1				
Lista de verificación para el irradiador gamma, basada en la guía de seguridad específica N° SSG-8 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)				
Marca del equipo:				
Modelo del equipo:				
Isótopo:				
Actividad inicial:	11993 Ci			
Actividad actual:				
Nombre y firma de quien revisa el equipo:				
Fecha de la revisión:				
Aspecto por evaluar	Cumplimiento			Observaciones
	Sí	No	No Aplica	
1. Seguridad Eléctrica				
1.1 ¿Los cables de conexión presentan daños físicos (cortes, daños en su cubierta protectora, daños en los conectores, desgaste, deformaciones y similares) evidentes?				
1.2 ¿Las roscas de los cables de conexión presentan desgaste?				
2. Panel de control eléctrico				
2.1 ¿Presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares)?				
2.2 ¿Tiene una etiqueta de advertencia que prohíba su uso no autorizado?				
2.3 ¿El interruptor de llave maestra, se encuentra funcionando para prevenir el uso no autorizado?				
2.4 ¿La pantalla del panel, indica que el equipo se en buen condiciones óptimas para irradiar?				

	Procedimiento: Inspección del irradiador gamma auto blindado		
	Código: PTS-LARI-3	Versión: 1.00	Página: 5 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

2.5 ¿Las lámparas indicadoras de estado del panel, indican que el irradiador está listo para irradiar?				
2.6 ¿El botón de parada de emergencia del equipo, se encuentra funcionando?				
2.7 ¿La fuente de alimentación UPS, se encuentra cargada y encendida?				
3. Integridad del irradiador				
3.1 ¿El cuerpo del irradiador, presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares) en su estructura?				
3.2 ¿La estructura base y cubierta del irradiador, presenta óxido sobre su superficie?				
3.3 ¿El área de carga del porta muestras presentan daños físicos evidentes?				
3.4 ¿El porta muestras, presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares)?				
3.5 ¿El sistema de movimiento de la muestra (tubo de acero), presenta (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares)?				
3.6 ¿El sistema de cierre neumático de la puerta del irradiador presenta daños físicos evidentes?				
3.7 ¿Las mangueras del suministro de aire comprimido, presentan fugas o se encuentran en mal estado?				
3.8 ¿La puerta de acceso al porta muestras, presenta alguna anomalía que impida su cierre por completo?				
Firma y fecha de recibido por parte del Coordinador del Laboratorio:				
Daños encontrados:				

	Procedimiento: Mantenimiento irradiador gamma auto blindado		
	Código: PTS-LARI-4	Versión: 1.00	Página: 1 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Procedimiento de trabajo PTS-LARI-4

“Mantenimiento del irradiador gamma auto blindado”

	Procedimiento: Mantenimiento irradiador gamma auto blindado		
	Código: PTS-LARI-4	Versión: 1.00	Página: 2 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

1. Introducción

Al irradiador gamma auto blindado, se le debe realizar mantenimiento cuando se evidencien daños durante las inspecciones rutinarias o como lo indica el fabricante. Lo anterior, para que el equipo opere con normalidad y pueda ser usado con seguridad por el operador.

2. Alcance

Este procedimiento aplica al irradiador gamma, cuando requiera mantenimiento por personal autorizado o por parte del operario.

3. Objetivo

Ofrecer pautas de inspección y mantenimiento para el irradiador gamma.

4. Responsabilidades

Coordinador del Laboratorio:

- ✓ Realizar ante el proveedor del equipo la solicitud de mantenimiento del equipo.
- ✓ Completar el formulario MEGM-1 “Boleta de mantenimiento del irradiador gamma auto blindado” con la información del mantenimiento realizado al equipo.
- ✓ Velar porque se realice el mantenimiento al equipo que no se encuentre en condiciones óptimas para su uso.
- ✓ Brindarle una copia del formulario MEGM-1 al Responsable de Protección Radiológica.

Responsable de protección radiológica:

- ✓ Llevar registro físico y digital de todos los formularios MEGM-1 debidamente llenos que reciba del Coordinador del Laboratorio.
- ✓ Verificar que el irradiador se encuentre en condiciones óptimas para su operación segura.

	Procedimiento: Mantenimiento irradiador gamma auto blindado		
	Código: PTS-LARI-4	Versión: 1.00	Página: 3 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Operario:

- ✓ Realizar la inspección periódica a los equipos y notificar al coordinador del Laboratorio cuando se detecten fallos del equipo.

5. Instrucciones

5.1 El irradiador gamma auto blindado, debe ser revisado por el operario del equipo, como lo indica el procedimiento de trabajo PTS-LARI-3 “Inspección del irradiador gamma auto blindado”, previo a su uso.

5.2 Como parte del mantenimiento recomendado por el fabricante, se deben realizar las siguientes acciones de acuerdo con el tiempo mencionado a continuación, que deben ser ejecutadas por el operario del equipo:

5.2.1 Semanalmente:

5.2.1.1 Chequear el interruptor de “puerta cerrada” y tratar de iniciar el proceso de irradiación con la puerta abierta.

5.2.1.2 Intentar abrir la puerta (con el volante) durante el proceso de irradiación.

5.2.2 Mensualmente:

5.2.2.1 Se debe apagar el equipo por completo y chequear las siguientes partes:

5.2.2.2 Sistema de cadena y contrapesos.

5.2.2.3 Interruptor de puerta cerrada.

5.2.2.4 El volante de apertura/cierre y de la cerradura de seguridad.

5.2.2.5 Funcionamiento apropiado del sistema neumático.

5.2.2.6 Funcionamiento del sistema de suministro de aire comprimido.

5.2.2.7 Eliminar el agua del regulador de presión de filtro del compresor.

	Procedimiento: Mantenimiento irradiador gamma auto blindado		
	Código: PTS-LARI-4	Versión: 1.00	Página: 4 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

- 5.3** Si al realizar el mantenimiento semanal o mantenimiento mensual se detectan incumplimientos, el operario debe informar al Coordinador del Laboratorio sobre lo hallado.
- 5.4** El Coordinador del Laboratorio notificará al Responsable de Protección Radiológica sobre lo sucedido y ambos permitirán el uso o no del irradiador.
- 5.5** Cuando el equipo requiera mantenimiento por parte del fabricante, el coordinador del Laboratorio deberá gestionar la solicitud ante este.
- 5.6** Una vez realizado el mantenimiento, el Coordinador del Laboratorio debe llenar el formulario MEGM-1 “Boleta de mantenimiento del irradiador gamma auto blindado” con la información que esta indica.
- 5.7** El Coordinador del Laboratorio, entregará una copia del formulario MEGM-1 lleno al Responsable de Protección Radiológica.
- 5.8** El Coordinador del Laboratorio, conservará los formularios MEGM-1 físicos y llevará un registro digital con la información contenida en estos.
- 5.9** El Responsable de Protección Radiológica, conservará las copias de los formularios MEGM-1 físicos y llevará un registro digital con la información contenida en estos.

	Procedimiento: Mantenimiento irradiador gamma auto blindado		
	Código: PTS-LARI-4	Versión: 1.00	Página: 5 de 5
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

6. Formulario

Formulario: MEGM-1			
Boleta de mantenimiento del irradiador gamma auto blindado			
Marca del equipo:			
Modelo del equipo:			
Actividad actual (Ci)			
Nombre de quien hace la solicitud de mantenimiento:			
Fecha de solicitud del mantenimiento:			
Nombre de la empresa que realiza el mantenimiento:			
Nombre de la persona contactada en la empresa:			
Fecha del Mantenimiento:			
Año de adquisición del equipo		Año de instalación del equipo	
Tipo de mantenimiento: () Semanal () Mensual			
A continuación, detalle el mantenimiento realizado al equipo:			
En caso de realizar el cambio de algún componente indicar:			
Nombre del componente	Marca del componente	Serie del componente	Función del componente
Observaciones:			
Firma del coordinador del laboratorio:			

	Procedimiento: Verificación monitores de área y contadores Geiger-Müller		Página: 1 de 8
	Código: PTS-LARI-5	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Procedimiento de trabajo PTS-LARI-5
“Verificación de los monitores de área y contadores Geiger-Müller”

	Procedimiento: Verificación monitores de área y contadores Geiger-Müller		
	Código: PTS-LARI-5	Versión: 1.00	Página: 2 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

1. Introducción

La implementación de dispositivos de medición, sean monitores de área o contadores Geiger-Müller requiere que estos se encuentren calibrados por una institución certificada; para que los valores indicados por estos dispositivos durante su operación sean válidos. Además, deben estar en condiciones óptimas de funcionamiento.

2. Alcance

El procedimiento es aplicable a monitores de área (estacionarios) y/o contadores Geiger-Müller (portátiles) con que cuenta el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI) del ITCR.

3. Objetivo

Brindar al LARI del ITCR pautas para que los monitores de área (estacionarios) y los contadores Geiger-Müller (portátiles) presenten buen funcionamiento y estén calibrados.

4. Responsabilidades

Coordinador del Laboratorio:

- ✓ Firmar el formulario VEM-1 “Lista de verificación del monitor de área y Contador Geiger-Müller” cuando el operario realice la inspección previa de los equipos y le entregue el formulario VEM-1.
- ✓ Coordinar el mantenimiento o reemplazo de los equipos de medición que presenten fallos.
- ✓ Completar el formulario VEM-2 “Reporte de daños y/o anomalías de los monitores de área y contadores Geiger-Müller” y entregar una copia al Responsable de Protección Radiológica.

	Procedimiento: Verificación monitores de área y contadores Geiger-Müller		
	Código: PTS-LARI-5	Versión: 1.00	Página: 3 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

- ✓ Coordinar el proceso de calibración de los monitores de área y contadores Geiger-Müller con el fabricante del equipo.
- ✓ Brindar una copia del certificado de calibración de los monitores de área y contadores Geiger-Müller al Responsable de Protección Radiológica.

Responsable de Protección Radiológica:

- ✓ Llevar registro físico y digital de las listas de verificación VEM-1 y VEM-2 que le sean entregadas por el Coordinador del Laboratorio.
- ✓ Llevar registro de los certificados de calibración de los equipos que le brinde el Coordinador del Laboratorio.

Operario:

- ✓ Realizar la verificación previa de los monitores de área y/o contadores Geiger-Müller que se utilicen, antes de la ejecución de labores.
- ✓ Notificar de inmediato alguna anomalía detectada en el funcionamiento de los equipos.
- ✓ Verificar la fecha de vencimiento de calibración de los equipos.
- ✓ Notificar al Coordinador del Laboratorio cuando la fecha de vencimiento de la calibración se encuentre próxima caducar.

5. Instrucciones

- 5.1** Los monitores de área deben estar siempre colocados en el área destinada operando y se debe contar también con contadores Geiger-Müller (portátiles) que deben ser revisados previo a la ejecución de labores para determinar fallos u anomalías que indiquen un malfuncionamiento de estos.

	Procedimiento: Verificación monitores de área y contadores Geiger-Müller		
	Código: PTS-LARI-5	Versión: 1.00	Página: 4 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

5.2 Antes de iniciar a trabajar, el operario deberá realizar una verificación que le permita identificar si el equipo se encuentra operativo, requiere mantenimiento o en su defecto su reemplazo inmediato. El proceso debe realizarse como se indica a continuación:

5.3 Para monitores de área:

- 5.3.1** El monitor de área deberá estar conectado a la corriente eléctrica.
- 5.3.2** El botón debe estar en la posición de encendido (On)
- 5.3.3** Se debe presionar el botón de prueba de alarma.
- 5.3.4** Se debe verificar el correcto funcionamiento del equipo llenando el formulario VEM-1 “Lista de verificación del monitor de área y Contador Geiger-Müller”.
- 5.3.5** Si alguno de los ítems de la lista evidencia indica un daño o fallo, se deberá notificar de inmediato al Coordinador del Laboratorio y llenar el formulario VEM-2 “Reporte de daños y/o anomalías de los monitores de área y contadores Geiger-Müller”.
- 5.3.6** Si alguno de los ítems indica daños, se puede deber a las siguientes condiciones:
 - 5.3.6.1** Fallo en el suministro de corriente eléctrica de la instalación.
 - 5.3.6.2** Existencia de daños en el fusible de corriente (AC).
 - 5.3.6.3** Existencia de daños en el fusible de alarma, lo que provocará que las alarmas externas no funcionen completamente.
 - 5.3.6.4** Daños en los indicadores luminosos.
- 5.4.1** Si el indicador métrico no alcanza el 100 % de la escala, puede deberse a un problema en el circuito de detección del dispositivo. Si lo anterior ocurre EVITE usar el dispositivo.
- 5.4.2** Si no cuenta con otro monitor de área calibrado y en buen funcionamiento en el área de trabajo, no inicie labores hasta contar con uno.

	Procedimiento: Verificación monitores de área y contadores Geiger-Müller		
	Código: PTS-LARI-5	Versión: 1.00	Página: 5 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

5.4 Para contadores Geiger-Müller:

- 5.4.1 El contador debe colocarse en la posición de chequeo de batería. Si el indicador muestra niveles bajos de carga, se deberán reemplazar las baterías por otras nuevas y compatibles con el equipo.
- 5.4.2 La selección del rango se hará según los siguientes parámetros:
 - 5.4.2.1 Colocar el botón en la posición de X100, si el indicador en la pantalla muestra una lectura inferior al 10 % de la escala total, colocar el botón en la posición X10.
 - 5.4.2.2 Si al realizar la operación anterior, el equipo muestra una lectura inferior al 10 % de la escala total, colocar el botón en la posición X1.
- 5.4.3 Se debe verificar el correcto funcionamiento del equipo llenando el formulario VEM-1 “Lista de verificación del monitor de área y Contador Geiger-Müller”.
- 5.4.4 Si alguno de los ítems de la lista evidencia indica un daño o fallo, se deberá notificar de inmediato al Coordinador del Laboratorio y llenar el formulario VEM-2 “Reporte de daños y/o anomalías de los monitores de área y contadores Geiger-Müller”.
- 5.4.5 Si no cuenta con otro contador Geiger-Müller calibrado y en buen funcionamiento en el área de trabajo, no inicie labores hasta contar con uno.
- 5.4.6 En caso de fallo de los equipos de medición, el Coordinador del Laboratorio debe entregar otro equipo calibrado y en buen funcionamiento al operario. Si no se dispone de uno, debe indicar al operador que no realice las tareas de radiografiado o irradiación.
- 5.4.7 El Coordinador del Laboratorio notificará al Responsable de Protección Radiológica sobre lo acontecido y le hará entrega de una copia de los formularios VEM-1 y VME-2 que le haya entregado al operador.

	Procedimiento: Verificación monitores de área y contadores Geiger-Müller		
	Código: PTS-LARI-5	Versión: 1.00	Página: 6 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

5.4.8 El Coordinador del Laboratorio y el Responsable de Protección Radiológica deberán conservar los formularios VEM-1 y VME-2 y llevar un registro digital con la información contenida en los mismos.

5.5 Calibración de los equipos de medición:

5.5.1 El proceso de calibración de todo equipo de medición (ambiental o portátil), deberá realizarse de manera anual con el proveedor del equipo (sin excepciones).

5.5.2 Si al verificar los equipos, el operador detecta que para la fecha de vencimiento falta 1 mes. Deberá llenar el formulario VEM-2 “Reporte de daños y/o anomalías de los monitores de área y contadores Geiger-Müller”, indicar que la fecha de vencimiento de la calibración está próxima a caducar.

5.5.3 Una vez completado el formulario VEM-2, deberá notificar sobre lo anterior al Coordinador del Laboratorio.

5.5.4 El Coordinador del Laboratorio, notificará al Responsable de Protección Radiológica sobre la situación y le entregará una copia del formulario VEM-2.

5.5.5 El Coordinador del Laboratorio y el Responsable de Protección Radiológica, llevarán un registro físico y digital con la información contenida en los formularios VEM-2.

5.5.6 El Coordinador del Laboratorio, debe contactar al proveedor del equipo para hacer la solicitud de calibración al proveedor y realizar las gestiones necesarias para que sea llevado a cabo.

5.5.7 El Coordinador del Laboratorio, le entregará una copia del certificado de calibración al Responsable de Protección Radiológica. Ambos deben conservar registros físicos y digitales de los certificados de calibración.

	Procedimiento: Verificación monitores de área y contadores Geiger-Müller		
	Código: PTS-LARI-5	Versión: 1.00	Página: 7 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

6. Formularios

Formulario: VEM-1				
Lista de verificación del monitor de área y contador Geiger-Müller				
Equipo () Monitor de área () Contador Geiger-Müller				
Marca:				
Modelo:				
N° de serie:				
Fecha de calibración:				
Nombre y firma de quien revisa el equipo:				
Fecha de revisión:				
Aspecto por evaluar	Cumplimiento			Observaciones
	Sí	No	No Aplica	
1. Para monitor de área				
1.1 ¿Los cables y accesorios del equipo presentan daños (golpes, fracturas, deterioro en su cubierta)?				
1.2 ¿Todas las luces de advertencia encienden?				
1.3 ¿La(s) sirena(s) del dispositivo emiten un sonido?				
1.4 ¿En el indicador métrico, la aguja se mueve hasta el 100 % de la escala?				
1.5 ¿La calibración del equipo indicada en la etiqueta correspondiente, se encuentra próxima a vencer?				
2. Para Contador Geiger-Müller				
2.1 ¿La batería del equipo se encuentra en niveles bajos de carga?				
2.2 ¿El equipo presenta daños físicos (golpes, fracturas, deterioro de su cubierta o similares)?				
2.3 ¿La calibración del equipo indicada en la etiqueta correspondiente, se encuentra próxima a vencer?				
Comentarios adicionales:				
Firma y fecha en que el Coordinador del Laboratorio recibe:				

	Procedimiento: Verificación monitores de área y contadores Geiger-Müller		
	Código: PTS-LARI-5	Versión: 1.00	Página: 8 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Formulario: VEM-2
Reporte de daños y/o anomalías de los monitores de área y contadores Geiger-Müller
Equipo: () Monitor de área () Contador Geiger-Müller
Modelo:
N° de serie:
Nombre y firma de quien realiza el reporte:
Fecha en que se realiza el reporte:
Indique a continuación los hallazgos encontrados en el equipo de medición revisado. Sea lo más detallado posible
Monitor de área:
Contador Geiger-Müller:
Firma y fecha en que el Coordinador del Laboratorio recibe:

	Procedimiento: Operación segura equipos emisores de radiaciones ionizantes		Página: 1 de 8
	Código: PTS-LARI-6	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Procedimiento de trabajo PTS-LARI-6

“Operación segura de equipos emisores de radiaciones ionizantes”

	Procedimiento: Operación segura equipos emisores de radiaciones ionizantes		
	Código: PTS-LARI-6	Versión: 1.00	Página: 2 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

1. Introducción

El establecimiento de procedimientos de manejo seguros para operación de los equipos emisores de radiaciones ionizantes según la Guía de Seguridad Específica N° SSG-8 del OIEA, favorece que se sigan pautas de trabajo y de uso seguro de los equipos por parte de quienes los operan.

2. Alcance

El procedimiento, aplica a todos aquellos operadores de equipos emisores de radiaciones ionizantes del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR.

3. Objetivo

Ofrecer a los operarios, pautas de uso seguro de los equipos emisores de radiaciones ionizantes que posee el Laboratorio.

4. Responsabilidades

Coordinador del Laboratorio:

- ✓ Garantizar que el personal que opere los equipos, lo haga de manera segura y siguiendo las pautas de procedimiento PTS-LARI-6 “Operación segura de los equipos emisores de radiaciones ionizantes”.
- ✓ Implementar los procedimientos: PTS-LARI-1 “Inspección de los equipos generadores de rayos X”, PTS-LARI-2 “Mantenimiento de los equipos generadores de rayos X”, PTS-LARI-3 “Inspección del irradiador gamma auto blindado”, PTS-LARI-4 “Mantenimiento del irradiador gamma auto blindado” y PTS-LARI-5 “Verificación de los monitores de área y contadores Geiger-Müller”.

	Procedimiento: Operación segura equipos emisores de radiaciones ionizantes		
	Código: PTS-LARI-6	Versión: 1.00	Página: 3 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

- ✓ Informar al Responsable de Protección Radiológica (RPR) sobre la implementación del procedimiento PTS-LARI-6 “Operación segura de los equipos emisores de radiaciones ionizantes”.
- ✓ Firmar los formularios de inspección de equipos IERX-1 “Verificación de condiciones de equipos emisores de rayos X basada en la guía de seguridad específica N° SSG-11 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)”, IEGM-1 , mantenimiento de los equipos MERX-1 “Mantenimiento de los equipos emisores rayos X”, MEGM-1 “Boleta de mantenimiento del irradiador gamma auto blindado”, inspección de equipos de medición VEM-1 “Lista de verificación del monitor de área y Contador Geiger-Müller” y VEM-2 “Reporte de daños y/o anomalías de los monitores de área y contadores Geiger-Müller”, en caso de ser requerido.
- ✓ Brindar al Responsable de Protección Radiológica, copia de los formularios debidamente llenos: IERX-1 “Verificación de condiciones de equipos emisores de rayos X basada en la guía de seguridad específica N° SSG-11 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)”, IEGM-1 y mantenimiento de los equipos MERX-1 “Mantenimiento de los equipos emisores rayos X”, MEGM-1 “Boleta de mantenimiento del irradiador gamma auto blindado”, VEM-1 “Lista de verificación del monitor de área y Contador Geiger-Müller” y VEM-2 “Reporte de daños y/o anomalías de los monitores de área y contadores Geiger-Müller”, cuando corresponda.

	Procedimiento: Operación segura equipos emisores de radiaciones ionizantes		
	Código: PTS-LARI-6	Versión: 1.00	Página: 4 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Responsable de protección radiológica (RPR):

- ✓ Colaborar con el Coordinador del Laboratorio, para que se implementen los procedimientos: PTS-LARI-1 “Inspección de los equipos generadores de rayos X”, PTS-LARI-2 “Mantenimiento de los equipos generadores de rayos X”, PTS-LARI-3 “Inspección del irradiador gamma auto blindado”, PTS-LARI-4 “Mantenimiento del irradiador gamma auto blindado”, PTS-LARI-5 “Verificación de los monitores de área y contadores Geiger-Müller” y PTS-LARI-6 “Operación de los equipos emisores de radiaciones ionizantes”, y se informe al personal que opere los equipos emisores de radiaciones ionizantes de estos.
- ✓ Firmar los formularios IERX-1 “Verificación de condiciones de equipos emisores de rayos X basada en la guía de seguridad específica N° SSG-11 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)”, IEGM-1 , mantenimiento de los equipos MERX-1 “Mantenimiento de los equipos emisores rayos X”, MEGM-1 “Boleta de mantenimiento del irradiador gamma auto blindado”, inspección de equipos de medición VEM-1 “Lista de verificación del monitor de área y Contador Geiger-Müller” y VEM-2 “Reporte de daños y/o anomalías de los monitores de área y contadores Geiger-Müller”, en caso de ser requerido.
- ✓ Llevar registro físico de los formularios IERX-1, IEGM-1, MERX-1, MEGM-1, VEM-1 y VEM-2 y generar un registro digital con la información contenida en los documentos que le brinde el Coordinador del Laboratorio.

Operarios:

- ✓ Seguir las pautas indicadas en el procedimiento, según la actividad que vaya a desarrollar (radiografiado o irradiación gamma).

	Procedimiento: Operación segura equipos emisores de radiaciones ionizantes		
	Código: PTS-LARI-6	Versión: 1.00	Página: 5 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

- ✓ Realizar la inspección previa de los equipos según el procedimiento PTS-LARI-1 (equipos de rayos X) o PTS-LARI-3 (irradiador gamma).
- ✓ Llenar la boleta de mantenimiento PTS-LARI-2 (equipos de rayos X) o PTS-LARI-4 (irradiador gamma), cuando se detecten anomalías en los equipos.
- ✓ Informar al Coordinador del Laboratorio lo sucedido y entregarle las boletas debidamente llenas.
- ✓ Portar su dosímetro personal y contador Geiger-Müller en todo momento durante la ejecución de las tareas.

5. Instrucciones

5.1 Las pautas de operación de los equipos se deben realizar según la actividad (radiografiado o irradiación) que vaya a realizar el operario. Las mismas, se indican a continuación:

5.2 Para radiografiado:

- 5.2.1** Se debe determinar que se dispone de alimentación eléctrica aterrizada a tierra y de 220 V antes de la puesta de operación del equipo.
- 5.2.2** Se debe realizar la inspección del equipo según el procedimiento PTS-LARI-1 (equipos de rayos X).
- 5.2.3** Si se detecta alguna anomalía, siga las pautas indicadas en el procedimiento Llenar la boleta de mantenimiento PTS-LARI-2 (equipos de rayos X), cuando se detecten anomalías en los equipos. Informe de inmediato al Coordinador del Laboratorio y espere la confirmación de uso del equipo.
- 5.2.4** Si recibe una respuesta negativa, devuelva el equipo a las instalaciones y seleccione otro equipo. Realice los pasos indicados anteriormente.
- 5.2.5** Si la respuesta es positiva, instale el equipo.

	Procedimiento: Operación segura equipos emisores de radiaciones ionizantes		
	Código: PTS-LARI-6	Versión: 1.00	Página: 6 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

5.2.6 Para la toma de radiografías, deberá seguir las pautas indicadas a continuación:

- 5.2.6.1** Según el objeto a irradiar, seleccione la técnica a emplear para el proceso.
- 5.2.6.2** Seleccione el kilo voltaje y mili amperaje requeridos.
- 5.2.6.3** Defina la distancia de la fuente emisora y el objeto a irradiar.
- 5.2.6.4** Calcule el tiempo de exposición requerido.
- 5.2.6.5** Identifique la película radiográfica a irradiar según se requiera.
- 5.2.6.6** Coloque el equipo y la pieza en un área apartada (si es posible) o con poco tránsito de personas y coloque la cinta seguridad en el área controlada.
- 5.2.6.7** Ubique la consola de control del equipo opuesto a la salida del haz de emisión del equipo. Verifique con el contador Geiger-Müller que los niveles de radiación no superen los 2 mRem/hr
- 5.2.6.8** Precaliente el equipo según las recomendaciones del fabricante.
- 5.2.6.9** Coloque la película radiográfica identificada en la zona a irradiar.
- 5.2.6.10** Programe el contador del panel de control según el kilo voltaje y mili amperaje necesarios.
- 5.2.6.11** Notifique a las personas ajenas al proceso de radiografiado, el inicio de las actividades. Active el equipo y ajústelo al kilo voltaje y mili amperaje requeridos.
- 5.2.6.12** Si sucede algún evento no deseado, apague de inmediato el equipo, notifique al Coordinador del Laboratorio y al RPR. Espere indicaciones de ellos.
- 5.2.6.13** Finalizado el proceso de radiografiado, retire la placa identifíquela como irradiada y guárdela para su procesamiento.
- 5.2.6.14** Guarde los equipos e implementos de seguridad empleados.

	Procedimiento: Operación segura equipos emisores de radiaciones ionizantes		
	Código: PTS-LARI-6	Versión: 1.00	Página: 7 de 8
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

5.3 Para irradiación con el gammacell:

- 5.3.1 Se debe realizar la inspección del equipo según el procedimiento PTS-LARI-3 (irradiador gamma).
- 5.4.1 Si se detecta alguna anomalía, siga las pautas indicadas en el procedimiento Llenar la boleta de mantenimiento PTS-LARI-4 (irradiador gamma), cuando se detecten anomalías en los equipos. Informe de inmediato al Coordinador del Laboratorio y espere la confirmación de uso del equipo.
- 5.4.2 Si recibe una respuesta negativa, no utilice el equipo y espere indicaciones del Coordinador del Laboratorio o el Responsable de Protección Radiológica (RPR).
- 5.4.3 Si la respuesta es positiva, proceda como se indica a continuación:
 - 5.4.3.1 Verifique que la muestra a irradiar no supere el volumen máximo del porta muestras.
 - 5.4.3.2 Coloque la llave maestra en el tablero de control del irradiador.
 - 5.4.3.3 Introduzca la muestra en el porta muestras con cuidado de no dañarla.
 - 5.4.3.4 Abra la puerta del compartimento para porta muestras del irradiador. Gire el volante lateral en sentido contrario a las manecillas del reloj.
 - 5.4.3.5 Con ayuda de las pinzas telescópicas, coloque el porta muestras en su sitio.
 - 5.4.3.6 Cierre el compartimento, girando el volante lentamente en sentido de las manecillas del reloj.
 - 5.4.3.7 En el panel de control, seleccione la intensidad y tiempo según los requerimientos de la muestra.
 - 5.4.3.8 Gire la llave maestra en sentido de las manecillas del reloj y confirme el inicio de operación del irradiador en la pantalla del panel de control.

	Procedimiento: Operación segura equipos emisores de radiaciones ionizantes		Página: 8 de 8
	Código: PTS-LARI-6	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

5.4.3.9 Una vez terminado el proceso de irradiación, abra la puerta del compartimento del porta muestras girando el volante en sentido contrario a las manecillas del reloj y saque el porta muestra con ayuda de la pinza telescópica.

5.4.3.10 Cierre la puerta girando el volante a favor de las manecillas del reloj.

5.4.3.11 Saque la llave maestra del panel de control del irradiador.

5.4.4 Si sucede algún evento no deseado, apague de inmediato el equipo, notifique al Coordinador del Laboratorio y al RPR. Espere indicaciones de ellos.

	Procedimiento: Dosimetría personal		Página: 1 de 6
	Código: PTS-LARI-7	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Procedimiento de trabajo PTS-LARI-7

“Dosimetría personal”

	Procedimiento: Dosimetría personal		
	Código: PTS-LARI-7	Versión: 1.00	Página: 2 de 6
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

1. Introducción

El uso de equipos emisores de radiaciones ionizantes por parte de los trabajadores, requiere que estos porten un dosímetro personal siempre que realicen sus actividades de trabajo. Lo anterior, porque la legislación nacional e internacional relacionada al uso de radiaciones ionizantes lo exige.

2. Alcance

El procedimiento, aplica a todos los trabajadores que realicen actividades con los equipos emisores de radiaciones ionizantes que posee el Laboratorio.

3. Objetivo

Brindar al Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR pautas a seguir, para el uso de dosímetros personales termoluminiscentes (TLD) y su entrega al ente encargado de generar un reporte con los resultados obtenidos.

4. Responsabilidades

Coordinador del Laboratorio:

- ✓ Comunicar a los colaboradores la obligatoriedad de portar el dosímetro personal siempre al realizar su trabajo con equipos emisores de radiaciones ionizantes.
- ✓ Garantizar que los operadores hagan entrega de los dosímetros en el periodo establecido para su retorno al Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de la Universidad de Costa Rica (UCR).
- ✓ Firmar y llevar registro físico y digital de los formularios DP-1 "boletas de dosimetría personal" que le brinde el Responsable de Protección Radiológica.

	Procedimiento: Dosimetría personal		
	Código: PTS-LARI-7	Versión: 1.00	Página: 3 de 6
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Responsable de Protección Radiológica:

- ✓ Recibir los dosímetros personales el último día hábil de trabajo del mes en curso, para su posterior envío al Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de la Universidad de Costa Rica (UCR).
- ✓ Gestionar con el Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de la Universidad de Costa Rica (UCR) el envío de los dosímetros utilizados dentro del periodo establecido.
- ✓ Gestionar con el Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de la Universidad de Costa Rica (UCR) el envío de nuevos dosímetros, para ser entregados al personal ocupacionalmente expuesto (POE) del Laboratorio
- ✓ Recibir los informes del CICANUM y llevar registros de las dosimetrías realizadas a los trabajadores.
- ✓ Informar mediante documento físico o correo electrónico, los resultados de la dosimetría a cada trabajador ocupacionalmente expuesto.
- ✓ Hacer la solicitud de cambio de dosímetro al CICANUM, en caso de que este se extravíe o presente daños.
- ✓ Brindar una copia del registro dosimétrico al Coordinador del Laboratorio.

Operario:

- ✓ Portar el dosímetro personal, **siempre** que realice trabajos con equipos emisores de radiaciones ionizantes.
- ✓ Cuidar del dosímetro personal que le sea brindado.
- ✓ Informar al Coordinador del Laboratorio y al Responsable de Protección Radiológica, el extravío o daño del dosímetro.
- ✓ Guardar el dosímetro cuando no se use, en el casillero personal ubicado en el CIEMTEC.

	Procedimiento: Dosimetría personal		
	Código: PTS-LARI-7	Versión: 1.00	Página: 4 de 6
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

5. Instrucciones

5.1 Los trabajadores del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR deberán acatar las siguientes disposiciones relacionadas al uso de los dosímetros personales termoluminiscentes (TLD):

5.1.1 Deberán portar el dosímetro personal brindado, siempre que realice trabajos con equipos emisores de radiaciones ionizantes.

5.1.2 Se deberá utilizar la prensa del dosímetro, para colocarlo en la bolsa de la camisa del operador; lo más cerca de la altura del pecho posible.

5.1.3 El operador, deberá notificar la pérdida o daño del dosímetro al Coordinador del Laboratorio y al Responsable de Protección Radiológica.

5.1.4 El operador deberá entregar al Responsable de Protección Radiológica el dosímetro personal, el último día hábil de trabajo del mes en curso.

5.1.5 De no encontrarse el RPR, el dosímetro será entregado al Coordinador del LARI quien lo custodiará y será responsable de entregarlo al RPR al día hábil más próximo.

5.2 El Responsable de Protección Radiológica, deberá seguir las siguientes pautas relacionadas con los dosímetros personales termoluminiscentes (TLD):

5.2.1 Recibir los dosímetros personales del personal ocupacionalmente expuesto.

5.2.2 Gestionar el envío de los dosímetros personales al CICANUM.

5.2.3 Generar registros de los informes que recibe del CICANUM para lo cual, deberá llenar el formulario DP-1 "Boleta de dosimetría del personal" con la información requerida.

5.2.4 Gestionar ante el CICANUM, en caso de extravío o daño de algún dosímetro personal.

5.2.5 Entregar los nuevos dosímetros personales a cada colaborador que trabaje con radiaciones ionizantes, el primer día de trabajo hábil del mes en curso.

	Procedimiento: Dosimetría personal		
	Código: PTS-LARI-7	Versión: 1.00	Página: 5 de 6
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

6. Formulario

Formulario: DP-1													
Boleta de dosimetría del personal													
Empleador:													
Nombre del trabajador:													
Cédula del trabajador:													
Código asignado por el RPR:													
Código de dosímetro:													
Tipo de dosímetro:													
Empresa que presta el servicio de Dosimetría:													
A continuación, ingrese la información de los valores reportados por el CICANUM para el trabajador.													
Resumen de la dosimetría personal:													
	Hp(10) (mSv)				Hp(0,07) (mSv)				Hp(3) (mSv)				
Dosis del mes (mSv)													
Dosis 12 meses anteriores (mSv)													
Dosis en 5 años (mSv)													
Total, Dosis Histórica (mSv)													
Registro mensual de dosis: Dosis Hp(10) (mSv)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Acumulado al año

	Procedimiento: Dosimetría personal		
	Código: PTS-LARI-7	Versión: 1.00	Página: 6 de 6
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Observaciones o comentarios:
Fecha en que se elabora la boleta:
Firma del Responsable de Protección Radiológica
Firma del Coordinador del Laboratorio:

	Procedimiento: Registro de salud del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes		Página: 1 de 6
	Código: PTS-LARI-8	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Procedimiento de trabajo PTS-LARI-8

“Registro de salud del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes (LARI)”

	Procedimiento: Registro de salud del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes		
	Código: PTS-LARI-8	Versión: 1.00	Página: 2 de 6
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

1. Introducción

La vigilancia de la salud del personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes, es importante en un Programa de Seguridad Radiológica, porque permite llevar un control de la salud de cada trabajador.

2. Alcance

El procedimiento, aplica para el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes del ITCR.

3. Objetivo

Ofrecer a la Clínica de Atención Integral en Salud (CAIS) del ITCR, un formato de expediente de salud del personal ocupacionalmente expuesto a Radiaciones Ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR.

4. Responsabilidades

Dirección CAIS:

- ✓ Gestionar la implementación del expediente del POE a radiaciones ionizantes del Laboratorio.
- ✓ Mantener actualizados los registros físicos y digitales del formulario RS-1 “Hoja de historial clínico del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR”.

Coordinador del Laboratorio:

- ✓ Garantizar que los operarios de los equipos envíen una copia del dictamen médico que deben ser realizados bianualmente por un profesional de la salud autorizado que no sea del ITCR, a la dirección del CAIS del ITCR.

	Procedimiento: Registro de salud del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes		
	Código: PTS-LARI-8	Versión: 1.00	Página: 3 de 6
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Responsable de Protección Radiológica:

- ✓ Fomentar junto al Coordinador del Laboratorio, que el POE a radiaciones ionizantes entregue una copia del dictamen médico requerido a la dirección del CAIS del ITCR.

Operario:

- ✓ Realizarse el dictamen de condiciones psico físicas una vez al año en las instalaciones del CAIS del ITCR.
- ✓ Enviar copia del dictamen médico realizado fuera de las instalaciones del CAIS del ITCR a la dirección de esta.

5. Instrucciones

5.1 El personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes, para la obtención o renovación de su licencia de operador debe realizarse una prueba de condiciones psico-físicas (dictamen médico) ante un profesional de la salud avalado por el Ministerio de Salud de Costa Rica cada 2 años. A continuación, se indican las pautas a seguir para la creación de un expediente que esté disponible en el CAIS del ITCR:

- 5.1.1** De manera anual, el operador de equipos emisores de radiaciones ionizantes deberá realizarse una prueba de condiciones psico-físicas en las instalaciones del CAIS. La información será incluida al expediente por el personal de este.
- 5.1.2** Una vez realizada la prueba por el médico autorizado por el Ministerio de Salud y no pertenezca a la Institución, el operador hará solicitud al profesional de salud para que le facilite una copia o la envíe directamente a la dirección del CAIS. Este último deberá asegurarse que la información sea incluida en el expediente de cada operario.

	Procedimiento: Registro de salud del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes		Página: 4 de 6
	Código: PTS-LARI-8	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

- 5.1.3** Para la información a consignar en el expediente, se deben llenar los apartados del formulario RS-1 “Hoja de historial clínico del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR”.
- 5.1.4** En caso de encontrar alguna condición en la salud del trabajador, la dirección del CAIS tomará las medidas necesarias que aseguren la integridad del trabajador y su desempeño adecuado en el uso de equipos emisores de radiaciones ionizantes.

	Procedimiento: Registro de salud del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes		
	Código: PTS-LARI-8	Versión: 1.00	Página: 5 de 6
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

6. Formulario

Formulario: RS-1
Hoja de historial clínico del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR
Información del personal de salud que genera la información
Nombre:
N° de identificación profesional:
Domicilio:
Institución a la que pertenece:
Razón social:
Fecha y hora de elaboración:
Información del paciente
Nombre:
Sexo:
Edad:
Identificación:
Domicilio:
Ocupación:
Contacto:
A continuación, indique los antecedentes del paciente
a) Patologías familiares (Marque todas aquellas que apliquen y quién la ha padecido): <input type="checkbox"/> Diabetes: _____ <input type="checkbox"/> Hipertensión: _____ <input type="checkbox"/> Cardiopatía: _____ <input type="checkbox"/> Hepatopatía: _____ <input type="checkbox"/> Nefropatía: _____ <input type="checkbox"/> Enf. Mentales: _____ <input type="checkbox"/> Asma: _____ <input type="checkbox"/> Cáncer: _____ <input type="checkbox"/> Enf. Alérgicas: _____ <input type="checkbox"/> Enf. Endócrinas: _____ <input type="checkbox"/> Otros: _____

	Procedimiento: Registro de salud del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes	
	Código: PTS-LARI-8	Versión: 1.00
Fecha:	Enero, 2020	Página: 6 de 6
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez	
Aprobado por:		

a) Patologías personales (Marque todas aquellas que apliquen):

() Enfermedades actuales:

() Quirúrgicos:

() Transfusiones:

() Alergias: () Ninguna () Sí (especifique):

() Hospitalizaciones previas:

() Adicciones:

() Otros:

Si tiene comentarios u observaciones, hágalas a continuación:

Firma de quien confecciona:

Fecha y hora:

Firma de la dirección del CAIS:

Nota: Añadir al expediente del paciente y que se ponga sello de la dirección al documento.

TEC Tecnológico de Costa Rica	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		Página: 1 de 11
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Procedimiento de trabajo PTS-LARI-9

“Manejo de los desechos radiactivos”

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	Página: 2 de 11
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

1. Introducción

El manejo de las sustancias radioactivas que ya no puedan ser utilizadas para los fines con que fueron creadas, implica su almacenamiento temporal y control seguro en el proceso de devolución al proveedor de acuerdo con las disposiciones del Ministerio de Salud y la Guía de Seguridad N° WS-G-6.1 “Almacenamiento de desechos radiactivos” y los requisitos de seguridad específicos N° SSR-5 “Disposición final de desechos radiactivos” del Organismo Internacional de Energía Atómica.

2. Alcance

El procedimiento aplica para las sustancias radiactivas decaídas o consideradas de desecho y pertenezcan al Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR.

3. Objetivo

Brindar pautas a seguir para el manejo seguro de las sustancias radioactivas consideradas como desecho por el Personal del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR.

4. Responsabilidades

Director de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales (ECIM) del ITCR:

- ✓ Colaborar con el Coordinador del Laboratorio y el Coordinador del Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de los Materiales (CIEMTEC) durante el proceso de devolución de sustancias radioactivas de desecho al proveedor.
- ✓ Autorizar la devolución de las fuentes decaídas o en desuso.

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	Página: 3 de 11
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Coordinador del Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de los Materiales (CIEMTEC):

- ✓ Colaborar con el Coordinador del Laboratorio y el director de la ECIM durante el proceso de devolución de sustancias radioactivas de desecho al proveedor.

Coordinador del Laboratorio:

- ✓ Verificar que las sustancias radioactivas de desecho se encuentren en el depósito destinado para tal fin, en las instalaciones del Búnker del CIEMTEC.
- ✓ Verificar las condiciones del depósito para el almacenamiento temporal de las sustancias de desecho.
- ✓ Llevar registro de todas las sustancias radioactivas de desecho en el formulario MDR-1 “Boleta de sustancias de desecho del Laboratorio”.
- ✓ Gestionar junto al director de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los materiales y el Coordinador del CIEMTEC, el proceso de devolución ante el proveedor de la sustancia radioactiva de desecho.

Responsable de Protección Radiológica:

- ✓ Realizar un inventario de las sustancias radioactivas de desecho del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes mediante el uso del formulario MDR-1 “Boleta de sustancias de desecho del Laboratorio”.
- ✓ Garantizar que los desechos se encuentren en el depósito ubicado en el búnker y estén debidamente etiquetados y almacenados.
- ✓ Verificar las condiciones del depósito para el almacenamiento temporal de las sustancias de desecho.
- ✓ Colaborar con el proceso de devolución de los desechos radiactivos al proveedor.

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	Página: 4 de 11
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Coordinador de la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral del ITCR (GASEL):

- ✓ Asesorar al personal del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes, en el manejo seguro de las sustancias radiactivas de desecho.
- ✓ Verificar que se cumplan las pautas indicadas en este procedimiento junto al Coordinador del LARI y el RPR.

5. Instrucciones

5.1 Depósito de sustancias radiactivas (ubicado dentro del búnker):

- 5.1.1** Será señalada como área de acceso restringido y marcada con la leyenda “Depósito de Sustancias Radioactivas”.
- 5.1.2** Se deben colocar las sustancias en los compartimentos del depósito, como se indica a continuación:
- 5.1.2.1** Según la actividad de la sustancia.
- 5.1.2.2** El tipo de radiación de la sustancia.
- 5.1.2.3** El periodo de desintegración de la sustancia.
- 5.1.2.4** Aquellas sustancias de desecho que presenten los mayores niveles de actividad, radiación y desintegración se colocarán al fondo del depósito.
- 5.1.2.5** Aquellas sustancias de desecho que presenten menor nivel de actividad, radiación y desintegración, se colocarán cerca de la puerta del depósito.
- 5.1.3** Cada uno de los compartimentos debe ser etiquetado, con las sustancias que contiene.
- 5.1.4** Los compartimentos donde se almacenen las sustancias de desecho deben ser etiquetados como “Fuentes decaídas para ser devueltas”.

Nota: Cuando no exista el compromiso de devolución, la sustancia se mantendrá en el depósito de sustancias radiactivas ubicado dentro del búnker, protegido bajo llave.

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos	
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00
Fecha:	Enero, 2020	Página: 5 de 11
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez	
Aprobado por:		

5.2 Compromiso de devolución de sustancias radiactivas

- 5.2.1** En las situaciones en que exista un compromiso de devolución con el proveedor que sea considerada desecho, se procede como se indica a continuación:
- 5.2.2** Cuando la sustancia radioactiva, sea considerada de desecho deberá ubicarse en el depósito de sustancias radiactivas con su respectiva etiqueta.
- 5.2.3** La información que debe contemplar la etiqueta es: isótopo, fecha, proveedor y actividad de la fuente.
- 5.2.4** Se debe ubicar en el compartimento etiquetado como “Fuentes decaídas para ser devueltas”
- 5.2.5** El director de la ECIM aprobará la devolución de la fuente al proveedor.
- 5.2.6** El Coordinador del Laboratorio y el Responsable de Protección Radiológica gestionarán ante el proveedor de la sustancia radioactiva, el proceso de devolución ante este. Informarán al director de la ECIM, el Coordinador del CIEMTEC y el Encargado de GASEL sobre el estado del proceso de devolución.
- 5.2.7** El Coordinador del Laboratorio, llenará el formulario MSD-1 “Boleta de sustancias de desecho del Laboratorio”. Brindará una copia física al Responsable de Protección Radiológica.
- 5.2.8** El Responsable de Protección Radiológica informará al Ministerio de Salud de Costa Rica, sobre el proceso de devolución de la sustancia radiactiva de desecho ante el proveedor. Adicionalmente junto al Coordinador del LARI llenarán los formularios F03 “Formulario para solicitud de autorización de transporte de materiales radiactivos” y F05 “Formulario para solicitud de autorización de exportación de materiales radiactivos” que son responsabilidad del LARI y el ITCR.

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		Página: 6 de 11
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

5.2.9 El Responsable de Protección Radiológica y el Coordinador del Laboratorio, conservarán copia física de los formularios MSD-1 “Boleta de sustancias de desecho del Laboratorio”, F03 “Formulario para solicitud de autorización de transporte de materiales radiactivos” y F05 “Formulario para solicitud de autorización de exportación de materiales radiactivos”; cada uno generará un archivo digital que contenga la información completa de estos.

5.2.10 El Responsable de Protección Radiológica, Coordinador del Laboratorio y Encargado de GASEL, deberán acatar los requerimientos y medidas de seguridad que estipule el Ministerio de Salud de Costa Rica y la normativa internacional del Transporte de Materiales Radiactivos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		Página: 7 de 11
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

6. Formularios

Formulario: MDR-1
Boleta de sustancias de desecho del Laboratorio
Proveedor de la fuente radiactiva:
Uso que se le da al radionucleido:
Ubicación actual:
Fecha de devolución
A continuación, llene la información solicitada, sea lo más detallado posible:
<p>A) Etiquetado:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nombre del isótopo: _____ - Tipo de radiación: _____ - Actividad inicial de la fuente: _____ - Periodo de desintegración de la fuente: _____ - Fecha de adquisición de la fuente: _____
<p>B) Almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de contenedor empleado: _____ - Material del contenedor: _____ - Fecha de colocación en el depósito: _____ - Está ubicado en el compartimento "Fuentes decaídas para ser devueltas": () Sí () No
Observaciones o consideraciones adicionales:
Fecha:
Firma del Responsable de Protección Radiológica:
Firma del Coordinador del Laboratorio:

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	Página: 8 de 11
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

FORMULARIO PARA SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS						F03
1. MOTIVO DE PRESENTACIÓN		2. TIPO DE INSTALACIÓN				3. SUBCLASIFICACIÓN
Primera vez		I	II	III	IV	
Renovación						
Modificación						
4. EXPEDICIÓN						
<input type="checkbox"/> Transporte habitual						
<input type="checkbox"/> Transporte por única vez Fecha/Período estimado del transporte:						
Origen de la expedición						
Destino de la expedición				Destino final (sólo en caso de exportación)		
5. TRANSPORTISTA						
Nombre o razón social				Cédula física o jurídica		
Provincia		Cantón		Distrito		
Dirección exacta						
Representante legal						
Teléfonos		Fax		Apartado postal		Correo electrónico
Datos de los vehículos						
	Marca	Modelo	Año	Placa		
1						
2						
3						
4						
5						
Conductores						
	Nombre			No. Licencia		Vigencia
1						
2						
3						
4						
5						

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	Página: 9 de 11
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

Caracterización de los detectores de radiaciones ionizantes					
	Descripción	Marca	Modelo	Serie	Ámbitos de medición
1					
2					
3					
4					
5					
6. REMITENTE					
Nombre			País		
Provincia/Estado		Ciudad		Página web	
Dirección					
Persona de contacto					
Teléfonos		Fax	Apartado postal	Correo electrónico	
7. DESTINATARIO					
Nombre			País		
Provincia/Estado		Ciudad		Página web	
Dirección					
Persona de contacto					
Teléfonos		Fax	Apartado postal	Correo electrónico	
8. INTERMEDIARIO (llenar cuando aplique)					
Nombre o razón social			Cédula física o jurídica		
Provincia		Cantón		Distrito	
Dirección exacta					
Representante legal					
Teléfonos		Fax	Apartado postal	Correo electrónico	
9. FIRMA DEL REPRESENTANTE LEGAL DEL TRANSPORTISTA					
FECHA			FIRMA		

Fuente: Ministerio de Salud de Costa Rica, 2020.

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	Página: 10 de 11
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

FORMULARIO PARA SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE EXPORTACIÓN DE MATERIALES RADIATIVOS				F05	
1. EXPORTADOR – REMITENTE					
Nombre o razón social			Cédula física o jurídica		
Provincia			Cantón		
Dirección exacta			Distrito		
Representante legal					
Teléfonos		Fax	Apartado postal	Correo electrónico	
2. IMPORTADOR – DESTINATARIO					
Nombre			Licencia/Autorización No.		
País			Provincia/Estado		
Dirección			Ciudad		
Persona de contacto			Página web		
Teléfonos		Fax	Apartado postal	Correo electrónico	
3. INTERMEDIARIO (llenar cuando aplique)					
Nombre o razón social			Cédula física o jurídica		
Provincia			Cantón		
Dirección exacta			Distrito		
Representante legal					
Teléfonos		Fax	Apartado postal	Correo electrónico	
4. TRANSPORTISTAS					
1	Nombre			Página web	
	País			Provincia/Estado	
	Dirección			Ciudad	
	Persona de contacto				
	Teléfonos		Fax	Apartado postal	Correo electrónico

	Procedimiento: Manejo de los desechos radiactivos		
	Código: PTS-LARI-9	Versión: 1.00	Página: 11 de 11
Fecha:	Enero, 2020		
Elaborado por:	Erick Alonso Olmos Jiménez		
Aprobado por:			

2	Nombre			Página web		
	País			Provincia/Estado		
	País			Ciudad		
	Dirección					
Persona de contacto						
Teléfonos		Fax		Apartado postal		Correo electrónico
5. MODO DE TRANSPORTE						
<input type="checkbox"/> Terrestre <input type="checkbox"/> Marítimo <input type="checkbox"/> Aéreo						
6. INFORMACIÓN SOBRE EL MATERIAL RADIATIVO						
Práctica	Tipo de instalación				Subclasificación	
	I	II	III	IV		
Material radiactivo	<input type="checkbox"/> Fuentes selladas		<input type="checkbox"/> Fuentes no selladas		<input type="checkbox"/> Fuentes selladas en desuso	
	<input type="checkbox"/> Residuos radiactivos		<input type="checkbox"/> Otro			
Número de bultos						
7. PAÍSES/ESTADOS INTERESADOS						
País/Estado de exportación – procedencia						
País/Estado			Punto específico de salida (paso fronterizo, puerto o aeropuerto)			
Costa Rica						
País/Estado de importación – destino						
País/Estado			Punto específico de entrada (paso fronterizo, puerto o aeropuerto)			
País(es)/Estado(s) de tránsito (llenar cuando aplique)						
8. DECLARACIÓN DEL EXPORTADOR – REMITENTE						
Certifico que la información es completa y correcta, a mi leal saber y entender y que el envío se llevará a cabo de conformidad con los reglamentos internacionales y nacionales pertinentes.						
FECHA			FIRMA DEL REPRESENTANTE LEGAL			

Fuente: Ministerio de Salud de Costa Rica, 2020.

D. Capacitación del programa

Como parte del programa de seguridad radiológica (PSR), se pretende que el personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes y administrativo del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes, sea formado en los apartados que contempla el Programa. Para el proceso de capacitación, se seguirá con la estructura de capacitación interna vigente en la Institución, la cual está a cargo de Capacitación Interna del Departamento de Recursos Humanos del ITCR.

Los pasos para el proceso de capacitación se describen a continuación:

1. La capacitación, se imparte cada dos años y se dirige a los colaboradores y funcionarios que están expuestos a radiación ionizantes.
2. El Responsable de Protección Radiológica (RPR), es quien coordina las posibles fechas y el lugar en que se brindará la capacitación.
3. El RPR, debe informar al área de Capacitación Interna del Departamento de Recursos Humanos del ITCR la impartición del curso, para lo cual llenará la guía para avalar una propuesta de capacitación (ver Anexo 9) y seguirá las pautas indicadas. Si recibe el aval para la capacitación, deberá enviar el formulario de asistencia a capacitación de los participantes (ver apéndice 14) a Capacitación Interna del Departamento de Recursos Humanos del ITCR.
4. Si un funcionario abandona o pierde el curso, el Departamento de Recursos Humanos del ITCR le realizará un cobro de oficio de acuerdo con la quincena que indicó en la boleta de inscripción del programa de capacitación interna.
5. La totalidad de horas del cursó, depende de lo que el RPR o Instructor considere pertinente para abarcar el temario.
6. El RPR, elaborará una prueba escrita que será enviada junto a la guía para avalar una propuesta de capacitación. Al final del curso, el RPR evaluará mediante dicha prueba a los participantes; quienes deberán aprobarlo con una nota igual o superior a 85.
7. Cada participante recibirá un certificado de aprobación emitido por Capacitación Interna del Departamento de Recursos Humanos del ITCR.

En el cuadro V-11, se indican los contenidos del curso de capacitación que actualmente imparte el RPR. Como se menciona en las pautas de la Guía para avalar una propuesta de

capacitación (ver Anexo 9), el RPR define la cantidad de horas requeridas para abarcar el temario.

Cuadro V-11. Contenidos del curso de capacitación impartido por el RPR del LARI

Contenido: 1. Aspectos físicos	
N°	Tema
1.1	Estructura Atómica
1.2	Radiación electromagnética
1.3	Radiactividad
1.4	Producción de Rayos X
1.5	Interacción de partículas cargadas con la materia.
1.6	Interacción de la radiación con la materia
1.7	Detección de la radiación
1.7.1	Características generales
1.7.2	Clasificación de los detectores
1.7.2.1	Detectores Gaseosos
1.7.2.2	Contador Proporcional
1.7.2.3	Contador Geiger-Müller
1.7.2.4	Centelladores
1.7.2.5	Detectores Termoluminiscentes
1.7.2.6	Detectores Semiconductores
Contenido 2: Aspectos de Protección Radiológica (conceptos básicos de dosimetría)	
2.1	Definición de Exposición y Dosis Absorbida.
2.2	Magnitudes y unidades de medida en radio protección.
2.3	Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.
2.4	Principios de Protección Radiológica.
Contenido 3: Legislación vigente	
3.1	Responsabilidades de los trabajadores ocupacionalmente expuestos.
3.2	Límites de dosis.
3.3	Señalización de las áreas de trabajo
3.4	Manejo de accidentes
3.5	Transporte y almacenaje de material radiactivo.

Fuente: Programa de Capacitación Interna del ITCR, 2020.

Aparte, se plantea un temario de capacitación basado en los controles establecidos en el Programa propuesto y será aplicado por quienes se indica en el cuadro V-12. Se requiere que después de cada sesión de capacitación, el formulario de asistencia a capacitación sea completado (ver apéndice 14). El Responsable de Protección Radiológica (RPR) brindará copia de estos formularios completados al encargado de GASEL, quien llevará un archivo con la información brindada por el RPR.

El Coordinador del LARI junto al Coordinador de GASEL deberán aplicar la herramienta de evaluación de la efectividad y control de la capacitación (ver Apéndice 17) de manera anual

para evaluar la aplicación de los controles y capacitación propuestos en el Programa de Seguridad Radiológica (PSR).

Cuadro V-12. Temario de capacitación del Programa de Seguridad Radiológica

Tema	Objetivo	Responsable de la capacitación	Contenidos	Materiales	Personas que serán capacitadas	Duración (min)
Aspectos generales del PSR.	Realizar la presentación de los aspectos generales del PSR.	Erick Alonso Olmos Jiménez	<ul style="list-style-type: none"> Aspectos generales del PSR. Planificación del PSR. Explicación de los controles ingenieriles. 	<ul style="list-style-type: none"> Computadora Proyector. Formulario de asistencia. 	<ul style="list-style-type: none"> Encargado de GASEL. Coordinadores: ECIM, CIEMTEC, LARI. RPR. Operarios de equipos. 	90
Inspección y mantenimiento de equipos emisores de RI.	Ofrecer a los operadores pautas de inspección y mantenimiento del equipo.	Encargado de GASEL	<ul style="list-style-type: none"> Se enfatiza en la importancia de implementar el procedimiento de inspección y mantenimiento de equipos emisores de RI. Presentación a detalle de los procedimientos: PTS-LARI-1, PTS-LARI-2, PTS-LARI-3, PTS-LARI-4 	<ul style="list-style-type: none"> Computadora Proyector Formulario de asistencia 	<ul style="list-style-type: none"> Coordinadores: ECIM, CIEMTEC, LARI. RPR. Operarios de equipos. 	50
Inspección y mantenimiento de monitores de área y contadores Geiger-Müller.	Brindar a los operadores pautas de inspección y mantenimiento de los equipos de medición personal y ambiental.	Encargado de GASEL	<ul style="list-style-type: none"> Concientizar sobre la importancia de implementar los procedimientos de inspección y mantenimiento de los equipos de medición personal y ambiental. Presentación a detalle del 	<ul style="list-style-type: none"> Computadora Proyector Formulario de asistencia 	<ul style="list-style-type: none"> Coordinadores: ECIM, CIEMTEC, LARI. RPR. Operarios de equipos. 	50

			procedimiento PTS-LARI-5			
Procedimientos de trabajo seguro con equipos emisores de RI.	Ofrecer a los involucrados del PSR, pautas de uso seguro de los equipos de rayos X y gammacell.	Encargado de GASEL	<ul style="list-style-type: none"> Se concientiza sobre la importancia de implementar el procedimiento de trabajo seguro. Presentación a detalle del procedimiento de trabajo seguro PTS-LARI-6 	<ul style="list-style-type: none"> Computadora Proyector Formulario de asistencia 	<ul style="list-style-type: none"> Coordinadores: ECIM, CIEMTEC, LARI. RPR Operarios de equipos. 	50
Dosimetría personal.	Ofrecer a los operadores pautas sobre la importancia del uso de los dispositivos de dosimetría personal.	Encargado de GASEL	<ul style="list-style-type: none"> Se concientiza sobre la importancia de implementar el procedimiento de dosimetría personal. Presentación a detalle del procedimiento de trabajo seguro PTS-LARI-7 	<ul style="list-style-type: none"> Computadora Proyector Formulario de asistencia 	<ul style="list-style-type: none"> Coordinadores: ECIM, CIEMTEC, LARI. RPR. Operarios de equipos. 	50
Desechos radiactivos	Brindar al personal del LARI, pautas a seguir para el manejo de desechos radiactivos.	Encargado de GASEL y RPR	<ul style="list-style-type: none"> Se concientiza sobre la importancia del manejo adecuado de los desechos radiactivos. Presentación a detalle del procedimiento de trabajo seguro PTS-LARI-9 	<ul style="list-style-type: none"> Computadora Proyector Formulario de asistencia 	<ul style="list-style-type: none"> Coordinadores: ECIM, CIEMTEC, LARI. Operarios de equipos. 	50

Abreviaturas:

PSR: Programa de Seguridad Radiológica.

GASEL: Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral.

ECIM: Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

CIEMTEC: Centro de Investigación y Extensión en Ingeniería de los Materiales.

LARI: Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

RI: Radiaciones Ionizantes.

E. Evaluación y seguimiento del programa

Dentro de los aspectos que se deben considerar para el Programa de Seguridad Radiológica (PSR), está la evaluación y seguimiento de este. Lo anterior, favorecerá que la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral (GASEL) del ITCR tenga información relacionada con el cumplimiento de los controles que se han propuesto para el Programa y el cumplimiento de las responsabilidades que se establecieron, con el fin de gestionar cambios que permitan alcanzar los objetivos y metas propuestas.

Las herramientas que deben ser aplicadas para la evaluación y seguimiento del Programa se muestra en el cuadro V-13.

Cuadro V-13. Control y seguimiento del Programa de Seguridad Radiológica

<u>Ítem</u>	<u>Actividad</u>	<u>Responsable</u>
Responsabilidades indicadas en el programa	<ul style="list-style-type: none">• Se debe aplicar la herramienta de cumplimiento de responsabilidades (ver apéndice 15) de manera semestral.• Calcular porcentaje de cumplimiento.	Coordinador de GASEL
Controles indicados en el programa	<ul style="list-style-type: none">• Se debe aplicar la herramienta de seguimiento de los controles indicados en el programa (ver apéndice 16).• Calcular porcentaje de cumplimiento.	Coordinador de GASEL
Capacitación establecida en el programa	<ul style="list-style-type: none">• Aplicar herramienta de efectividad de las capacitaciones ver apéndice 17.• Calcular porcentaje de cumplimiento.	Coordinador de GASEL

Como parte de la propuesta de evaluación y seguimiento, se debe calcular el porcentaje de cumplimiento de las herramientas propuestas para la evaluación del programa (ver cuadro V-13). Para este proceso, se debe aplicar la fórmula indicada a continuación:

$$\% \text{ de cumplimiento} = [(PC) / (PT - NA)] \times 100$$

Dónde:

PC = Cantidad de ítems afirmativos.

PT = Cantidad total de ítems que contiene la lista de verificación.

NA = Cantidad de ítems que no aplican.

Una vez que se apliquen las herramientas propuestas y se obtenga el porcentaje de cumplimiento de cada una, el encargado de GASEL deberá elaborar un informe en el que se brinde detalle de los ítems que cumplen y aquellos que no lo hacen. Una vez elaborado el informe deberá reunirse con el Coordinador del CIEMTEC, Coordinador del LARI y el Responsable de Protección Radiológica para presentarles los resultados y definir en conjunto responsables y fechas de implementación de aquellas medidas que permitan que las responsabilidades, controles y capacitación sean cumplidas en su totalidad.

La herramienta que se relaciona con la efectividad del proceso de capacitación (ver apéndice 17) se debe aplicar a cada trabajador y administrativo que participe en las capacitaciones, a fin de determinar si los colaboradores aplican lo indicado en los procedimientos de trabajo o si se deben ser capacitados nuevamente.

En caso de que se requieran realizar cambios a los procedimientos que se indican en el Programa de Seguridad Radiológica (PSR) propuesto, se procederá de la siguiente manera:

1. El Coordinador del Laboratorio:

- 1.1 Deberá revisar los cambios que se propongan, junto con el Encargado de GASEL y el Responsable de Protección Radiológica.
- 1.2 Para aplicar los cambios a los procedimientos, se requiere el criterio unánime aprobatorio o de rechazo del Coordinador del LARI, el Encargado de GASEL y el Responsable de Protección Radiológica.
- 1.3 Si los cambios son aprobados, el Coordinador del Laboratorio es quien deberá incorporarlos y enviar una copia digital o física al Responsable de Protección Radiológica y al Encargado de GASEL.
- 1.4 Debe mantener actualizados los procedimientos con las incorporaciones aprobadas que se hagan.
- 1.5 Debe incluir al final del procedimiento, un control de cambios como el que se indica en el cuadro V-14. También llenará la información que dicho control indica en cada columna.
- 1.6 Debe informar de manera escrita y verbal al personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes, sobre aquellos cambios que involucren modificaciones a las actividades que realizan estos.

2. Responsable de Protección Radiológica:

- 2.1 Debe revisar junto al Coordinador del LARI y el Encargado de GASEL, las modificaciones que se vayan a realizar a los procedimientos.
 - 2.2 Debe emitir criterio aprobatorio o de rechazo, junto al Coordinador del LARI y el Encargado de GASEL, a las modificaciones propuestas.
 - 2.3 Debe mantener una copia del documento con los cambios aprobados e incorporados, sea de manera escrita o digital.
- 3. Encargado de GASEL:**
- 3.1 Debe revisar junto al Coordinador del LARI y el Responsable de Protección Radiológica, las modificaciones que se vayan a realizar a los procedimientos.
 - 3.2 Debe emitir criterio aprobatorio o de rechazo, junto al Coordinador del LARI y el Responsable de Protección Radiológica, a las modificaciones propuestas.
 - 3.3 Debe mantener una copia del documento con los cambios aprobados e incorporados, sea de manera escrita o digital.

Cuadro V-14. Control de cambios para los procedimientos del Programa

N°	Fecha Efectivo	Revisión	Descripción del cambio	Modificado por:
1	00/00/2020			
2				
3				
4				
5				

F. Cronograma del programa

El cuadro V-15, muestra el cronograma de actividades para realizar la implementación del Programa de Seguridad Radiológica (PSR) en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes.

Cuadro V-15. Cronograma de las actividades a realizar del Programa de Seguridad Radiológica

Semana Actividades	Mes																							
	1				2				3				4				5				6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Entrega del PSR a la encargada de GASEL.	■																							
Entrega del PSR al director de la ECIM, coordinador del CIEMTEC, coordinador del LARI y el RPR.	■																							
Realizar observaciones y modificaciones al PSR.	■	■	■																					
Aplicar correcciones al PSR.				■																				
Aprobar el PSR.					■																			
Divulgar el PSR.						■																		
Presentar el PSR al coordinador de GASEL, director de ECIM, coordinador CIEMTEC, coordinador LARI y RPR.							■																	
Formar a los miembros para la implementación del programa.								■																
Ejecutar el plan de capacitación.									■	■	■	■												
Implementación del programa:																								
Compra y diseño controles ingenieriles propuestos.													■	■	■	■								
Puesta en práctica de los controles administrativos propuestos.																■	■	■	■					
Realizar evaluación y control del PSR.																				■	■	■		
Realizar modificaciones requeridas al PSR.																							■	■
Abreviaturas:																								
PSR: Programa de Seguridad Radiológica, GASEL: Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral del ITCR, ECIM: Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, CIEMTEC: Centro de Investigación y Extensión en Ingeniería de los Materiales, LARI: Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes, RPR: Responsable de Protección Radiológica.																								

G. Presupuesto del Programa

En este apartado, se muestra el presupuesto (ver cuadro V-16) requerido para la implementación del Programa de Seguridad Radiológica (PSR) para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cuadro V-16. Presupuesto del Programa de Seguridad Radiológica

Mampara de plomo portátil		
Recurso	Proveedor	Costo
Lámina de plomo	Amat Metalplast S.A.	₡ 291 538.24
Mano de obra	Trabajador independiente	₡ 50 000
Contadores portátiles Geiger Müller		
Recurso	Proveedor	Costo
Contadores Geiger-Müller ND-2000 con audio.	NDT Supply	₡ 1 138 990.8
Calibración de los monitores de área y contadores portátiles		
Recurso	Proveedor	Costo
Monitores de área ND-AM (2 equipos)	NDS Products, Inc.	₡ 382 996.2
Contadores ND-2000 (2 equipos)	NDS Products, Inc.	₡ 67 587.56
Señalización		
Recurso	Proveedor	Costo
Cinta de señalización 3M	Capris	₡ 9 412.90
Poste CAD para señalización (6 unidades)	Capris	₡ 44 612.40
Señales de Riesgo de Radiación	SERIOR	₡ 38 040.48
Señales de No Fumar	EPA	₡ 6000
Lámpara de emergencia		
Recurso	Proveedor	Costo
Lámparas de Emergencia E-40 LED	EPA	₡ 43 000
Capacitación		
Recurso	Costo	
Material didáctico (copias de procedimientos)	₡ 5 000	
Refrigerio	₡ 19 000	
Presupuesto total del programa		
₡ 2 096 178.58		

H. Aspectos relacionados con los controles contenidos en la alternativa de solución

En el cuadro V-17, se brinda información sobre los aspectos económicos, ambientales, salud y seguridad, culturales, sociales, ética y equidad contemplados en los controles ingenieriles y administrativas planteados en la alternativa de solución.

Cuadro V-17. Aspectos relacionados a los controles establecidos en la alternativa de solución propuesta en el proyecto

Aspectos	Alternativa de solución planteada
Económicos	<ul style="list-style-type: none"> Se busca la implementación de una mampara de plomo y señalización de seguridad que asegure las condiciones de operación segura de los equipos emisores de rayos X, requiriendo una inversión económica inicial para la compra de los materiales, pero la misma permitirá evitar el contacto con la radiación de fuga de los equipos y con ello se evitan accidentes e incurrir en gastos adicionales en caso de que ocurran.
Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> Se propone un uso eficiente y seguro de los equipos, que optimice el gasto energético y el manejo de residuos radiactivos según la legislación vigente en materia de radiaciones ionizantes en el país. Con el fin de disminuir las consecuencias negativas sobre el entorno y el ser humano.
Riesgos a la salud y seguridad	<ul style="list-style-type: none"> La implementación de los controles ingenieriles y administrativos propuestos pretende que las actividades de trabajo que realiza el personal ocupacionalmente expuesto (POE) del LARI se ejecutarán minimizando el contacto de energías ionizantes con el operador de los equipos y aquellos que se encuentren en las cercanías del área de irradiación.
Culturales	<ul style="list-style-type: none"> Con las medidas ingenieriles y administrativas propuestas, incluyendo un proceso de capacitación continuo. Se espera que los colaboradores del LARI sean partícipes de una cultura de prevención de accidentes y de trabajo seguro dentro y fuera de las instalaciones del Laboratorio.
Sociales	<ul style="list-style-type: none"> Las alternativas técnicas y administrativas se hacen bajo el criterio de trabajo seguro, según las disposiciones de entes como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Ministerio de Salud de Costa Rica (MINSa) y la Comisión de Energía Atómica de Costa Rica (CEA).
Ética y equidad	<ul style="list-style-type: none"> La propuesta, se plantea desde una perspectiva ética donde, las soluciones recomendadas sean bajo el criterio técnico-científico y evitando los juicios de valor o inclinaciones personales en la toma de decisiones.

I. Conclusiones

- El éxito de la implementación del Programa de Seguridad Radiológica depende del compromiso que adquieran las partes involucradas indicadas en éste.
- El programa planteado, contempla controles ingenieriles y administrativos para favorecer el desarrollo seguro de las actividades de radiografiado e irradiación gamma que lleva a cabo el personal ocupacionalmente expuesto (POE) del LARI.
- La inversión de todos los controles propuestos en el Programa asciende a un valor de ₡ 2 096 178.58.
- La capacitación es una medida necesaria en el Programa porque permite que los contenidos de los procedimientos sean transmitidos a los trabajadores y personal administrativo involucrado.

J. Recomendaciones

- Para implementar el Programa de Seguridad Radiológica se requiere el compromiso y participación permanente de los involucrados para mejorar las condiciones de seguridad en el LARI.
- La evaluación y seguimiento del Programa de manera semestral, permitirá detectar oportunidades de mejora que requieran incorporarse a este.
- La propuesta de programa debe ser guiada por el encargado de GASEL para favorecer la implementación de manera satisfactoria.
- La comunicación y divulgación de las medidas entre los involucrados del LARI son medidas fundamentales para alcanzar los objetivos y metas propuestos en el Programa.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Alles Leal, A., Pérez Reyes, Y., & Duménigo González, C. (2014). Evaluación de la seguridad radiológica en la práctica de perfilaje de pozos utilizando matrices de riesgo / radiological safety assessment in the practice of well logging using risk matrixes. *Nucleus*, (55), 24. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S0864.084X2014000100006&lang=es&site=eds-live>
- Arias Chaves, N., Cascante Mora, O., Moreira Barboza, A. M., & Quijano Chacón, G. (2015). Diseño de una propuesta de guías regulatorias de protección radiológica para el Sistema de Seguridad Radiológica de la Caja Costarricense de Seguro Social. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4518/1/39134.pdf>
- Calderón Cáceres, J. L., & Scarpati Gálvez, G. C. (2018). Los ensayos no destructivos (END) y su aplicación en la industria. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.D4B21582&lang=es&site=eds-live>
- Cárdenas Reinoso, Y. A., Martínez Giraldo, J. P., & Trujillo Gallego, M. C. (2019). Prácticas de seguridad para el control de riesgo a radiación ionizante, unidad radiológica. Manizales. Capris. (2020). Catálogo de señalización. Recuperado de https://capris.cr/searchengine/?category=731&tipo_1257=61695
- Capris. (2020). Señalización. Recuperado de <https://capris.cr/searchengine/?category=731&manufacturer=57766>
- Cerón, M. C., & Cerâon, M. C. (2006). Metodologías de la investigación social. LOM ediciones.
- Cherry Jr, R., Upton, A., Lodde, G., & Porter Jr, S. (2012). Radiaciones Ionizantes riesgos Generales. Ch. R. Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo.
- CISTEMA - SURATEP. (2004). Radiaciones. Recuperado de <https://www.arlsura.com/images/stories/documentos/radiaciones.pdf>

- Daza Hernández, Á. E. (2008). Desarrollo e implementación de control de emisor de rayos x de uso industrial (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente).
- EPA. (2020). Catálogo en línea de señalización. Recuperado de <https://cr.epaenlinea.com/senalizacion.html>
- EPA. (2020). Catálogo en línea de lámparas de emergencia. Recuperado de <https://cr.epaenlinea.com/lamparas-de-emergencia.html>
- Figuerola, N. (2012). Matriz de Asignación de Responsabilidades (RAM).
- Foradori, A. (2017). Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *ARS MEDICA Revista de Ciencias Médicas*, 19(1), 33-39.
- Forteza, Y. L., García, J. Q., Veguería, P. J., Álvarez, R. H., Reyes, Y. P., González, C. D., . . . Fernández, A. A. (2004). Fortalecimiento en cuba del marco regulador en la Práctica de Radiografía industrial. *Nucleus*, (36), 57-60. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=24713887&lang=es&site=eds-live>
- Guerrero, D. (2018). Determinación de interesados del proyecto. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3529/c5000650b992d69b752e14896c25e43d631a209c325ff0f73e2dbf670ee97b37.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, R., & Soler, I. (2015). K. Protección radiológica ocupacional en práctica médica. Visión reguladora. In X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Radio protección.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la investigación. México: McGRAW-HILL Interamericana.
- IAEA. (2018). Radiation Protection of the Public and the Environment. IAEA, Vienna.
- IAEA. (2014). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA, Vienna.
- IAEA. (2009). The Management System for Nuclear Installations. IAEA, Vienna.
- ICPR. (2007). Las recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. España: Senda Editorial S.A.

- Imbroda, M. C., Miró, M. L. B., & Mena, E. M. (2010). Riesgos asociados a los distintos tipos de radiación. *Radiobiología: Revista electrónica*, 10(1), 220-224.
- INSHT. (2003). NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección. Recuperado de https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_614.pdf
- INTECO. (2016). INTE 31-09-09:2016. Salud y seguridad en el trabajo. Requisitos para la elaboración de programas de salud y seguridad en el trabajo. Costa Rica. INTECO.
- INTECO. (2011). INTE 31-06-07:2011. Guía para la identificación de los peligros y la evaluación de los riesgos de salud y seguridad ocupacional. Costa Rica. INTECO.
- LENNTECH. (2019). Elementos de la tabla periódica ordenados por su densidad en g/cm³. Recuperado de <https://www.lenntech.es/tabla-peiodica/densidad.htm>
- Leyton, F., Galaz, S., Oyarzún, C., & Inzulza, A. (2007). Garantía de calidad y protección radiológica en las exposiciones médicas en Europa: un ejemplo a seguir. *Revista chilena de radiología*, 13(4), 208-212.
- Manterola, C., & Astudillo, P. (2013). Lista de verificación para el reporte de estudios observacionales descriptivos: Iniciativa MINCIR. *International Journal of Morphology*, 31(1), 115-120.
- Marín, C., Carlos, F., González, J. J., Duménigo Ámbar, C., Quesada Cepero, W., Sinconegui Gómez, B., ... & Oliva González, J. P. (2017). Análisis de seguridad radiológica de una instalación PET/CT mediante el empleo de la matriz de riesgo. *Nucleus*, (62), 38-42.
- Meza, S. (2010). *Higiene y seguridad industrial*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- Munar, C., & Rios, Y. (2009) Análisis del programa de vigilancia epidemiológica de trabajadores con exposición a radiaciones ionizantes en una IPS de Colombia (Doctoral dissertation, Universidad del Rosario).
- Nejaim, Y., Vasconcelos, K., Roque, G., Meneses, A., Bóscolo, F., & Haiter, F. (2015). Racionalización de la dosis de radiación. *Revista estomatológica herediana*, 25(3), 238-245.

- NIST. (2019). X-Ray Mass Attenuation Coefficients – Lead. Recuperado de <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html>
- NIST. (2019). X-Ray Mass Attenuation Coefficients – Iron. Recuperado de <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z26.html>
- Niu, S. (2011). Protección de los trabajadores frente a la radiación. OIT.
- Nuclear, A. R. (2001). Norma básica de seguridad radiológica. Boletín Oficial, 20.
- OIEA. (2015). Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos X. Colección de normas de seguridad del OIEA N° SSG-8. OIEA, Vienna.
- OIEA. (2013). Seguridad radiológica en la radiografía industrial. Colección de normas de seguridad del OIEA N° SSG-11. OIEA, Vienna.
- Ovalle, S. A. M., Caballero, F. R., & Puin, L. X. G. (2013). Protección radiológica a trabajadores y público en instalaciones que operan radioisótopos industriales. Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación, 3(2), 120-124.
- Peláez, A., Rodríguez, J., Ramírez, S., Pérez, L., Vázquez, A., & González, L. (2013). La entrevista. Universidad autónoma de México.[En línea].[Online].[cited 2012 Septiembre 30. Disponible en: http://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Curso_10/E.
- PNUMA. (2016). Radiación. Efectos y Fuentes. Recuperado de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/Radiation_Effects_and_sources-2016Radiation_-_Effects_and_Sources_SP.pdg.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- RIBSpain. (2020). EDT Estructura de Desglose del Trabajo. Recuperado de <https://www.rib-software.es/pdf/Notas-tecnicas/EDT-Estructura-de-Desglose-del-Trabajo.pdf>
- Real Gallego, A. (2010). Riesgos derivados de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante; risks of low dose ionising radiation exposures. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.D8164E5C&lang=es&site=eds-live>

- Ręba, P. (2019). Effects of ionizing radiation on the human body. *Journal of Education, Health and Sport*, 9(1), 158-164.
- Rühm, W., Woloschak, G. E., Shore, R. E., Azizova, T. V., Grosche, B., Niwa, O., ... & Ban, N. (2015). Dose and dose-rate effects of ionizing radiation: a discussion in the light of radiological protection. *Radiation and environmental biophysics*, 54(4), 379-401.
- Saravia, G. (2013). Protección y seguridad radiológicas. En *Anales de Radiología, México* (Vol. 12, No. 2, pp. 105-110).
- SERIOR. (2020). Catálogo de señales de advertencia de peligro. Recuperado de <https://serior.com/senal-cartel-de-riesgo-de-radiacion>
- Universidad Internacional de Valencia. (2018). ¿Qué es la observación no participante y qué usos tiene?. Recuperado de <https://www.universidadviu.com/la-observacion-no-participante-usos/>
- UNSCEAR. (2016). Informe del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los efectos de las Radiaciones Atómicas. Recuperado de https://www.unscear.org/docs/GAreports/2016/A-71-46_s_V1604699.pdf
- Valenzuela, L. (2000). Diagrama de Ishikawa. Santiago de Chile: UNAB.
- Velandia, J. H. M., & Pinilla, N. A. (2013). De la salud ocupacional a la gestión de la seguridad y salud en el trabajo: más que semántica, una transformación del sistema general de riesgos laborales. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 23(48), 21-31.
- Villarreal, R., Abreu, J. L., & Badii, M. H. (2008). Hacia una nueva cultura de seguridad e higiene industrial en las empresas Mexicanas. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)*, 3(1).

VII. APÉNDICES

Apéndice 1. Entrevista al encargado de la Clínica de Atención Integral en Salud (CAIS) del ITCR

Entrevista para encargado(a) de la clínica de salud

1. Información general

- 1.1 ¿Quién es el funcionario de mayor jerarquía en la clínica de salud?
- 1.2 El funcionario de mayor jerarquía en la clínica, ¿por cuánto tiempo ha ejercido el cargo?
- 1.3 ¿Cuáles son sus responsabilidades dentro de la clínica de salud?
- 1.4 ¿Es informado/a sobre las actividades realizadas en el área de RI en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 1.5 ¿Es informado sobre los accidentes/incidentes que sufren las personas ocupacionalmente expuestas a RI en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 1.6 ¿Conoce quién es el responsable de protección radiológica (RPR) del Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 1.7 ¿Conoce las funciones del RPR del Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 1.8 El personal de la clínica, ¿recibe capacitación para la atención de trabajadores que han sufrido alguna emergencia relacionada a RI en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 1.9 ¿Posee la clínica la infraestructura para atender a un trabajador accidentado por el uso de Radiaciones Ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 1.10 En la clínica, ¿se poseen registros de accidentes/incidentes ocurridos por el uso de RI en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del TEC y hayan sido atendidos en el lugar?

2. Documentación

- 2.1 ¿Existen protocolos establecidos para la atención de pacientes que sufran un accidente producto del uso de Radiaciones Ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del TEC?
- 2.2 En caso de existir, ¿en qué consiste el protocolo? ¿incluye entrenamiento de personal, asignación de responsables y equipos?
- 2.3 En caso de existir, ¿cuándo fue su última actualización?

- 2.4 ¿Quién es el responsable de mantener actualizado y documentado el/los protocolo(s)?
- 2.5 ¿Existe un programa de vigilancia de la salud de trabajadores ocupacionalmente expuesto a RI en el Laboratorio de Aplicaciones con RI que involucre a la clínica del ITCR?
- 2.6 En caso de existir, ¿se poseen registros y documentación de este?
- 2.7 En caso de existir, ¿incluye historial dosimétrico y médico?
- 2.8 ¿Existen registros médicos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a RI del Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 2.9 En caso de existir, ¿qué información contienen dichos registros? ¿Por cuánto tiempo se mantienen?

Apéndice 2. Entrevista al funcionario de la Unidad de Seguridad y Vigilancia (USEVI) del ITCR

Entrevista para funcionario(a) de la Unidad de Seguridad y Vigilancia

1. Información general

- 1.1 ¿Quién es el funcionario de mayor jerarquía en la Unidad de Seguridad y Vigilancia?
- 1.2 El funcionario de mayor jerarquía en la Unidad de Seguridad y Vigilancia, ¿por cuánto tiempo ha ejercido el cargo?
- 1.3 ¿Cuáles son las responsabilidades del funcionario de mayor jerarquía de la Unidad de Seguridad y Vigilancia?
- 1.4 El funcionario de mayor jerarquía en la Unidad de Seguridad y Vigilancia ¿es informado sobre las actividades realizadas en el área de RI en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del TEC?
- 1.5 El personal de la Unidad, ¿recibe capacitación para la atención de emergencias ocurridas en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del TEC?
- 1.6 ¿Cuáles son las responsabilidades del personal de la Unidad de Seguridad y Vigilancia?
- 1.7 ¿Existen canales de comunicación directa para ser informados sobre la ocurrencia de un evento no deseado en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del TEC?

2. Documentación

- 2.1 ¿Existen protocolos de atención de emergencias en caso de ocurrir una eventualidad en el Laboratorio de Radiaciones de Aplicaciones con RI?
- 2.2 En caso de existir, ¿en qué consiste el protocolo? ¿incluye entrenamiento de personal, asignación de responsables y equipos?
- 2.3 En caso de existir ¿cuándo fue su última actualización?
- 2.4 ¿Quién es el responsable de mantener actualizado y documentado el/los protocolos?
- 2.5 ¿Existen registros de la atención de emergencias?
- 2.6 En caso de existir, ¿qué información contienen los registros? ¿por cuánto tiempo se conservan?

Apéndice 3. Entrevista al funcionario de la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad (GASEL) del ITCR

Entrevista al funcionario(a) de la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral del ITCR

1. Información general

- 1.1 ¿Quién es el funcionario de mayor jerarquía en la Unidad Institucional de Gestión Ambiental y Seguridad Laboral (GASEL)?
- 1.2 El funcionario de mayor jerarquía de GASEL, ¿por cuánto tiempo ha ejercido el cargo?
- 1.3 ¿Cuáles son las responsabilidades de GASEL en materia de exposición ocupacional relacionadas a radiaciones ionizantes en la institución?
- 1.4 La GASEL, ¿es informada sobre las actividades que se realizan en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 1.5 La GASEL, ¿ha definido o identificado de alguna forma otras instancias institucionales de interés, en el área de radiaciones ionizantes?
- 1.6 ¿Existen canales de comunicación directa para ser informados sobre la ocurrencia de eventos no deseados en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?

2. Documentación

- 2.1 La GASEL, ¿cuenta con protocolos de atención de emergencias en caso de ocurrir una eventualidad en el Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 2.2 En caso de existir, ¿en qué consiste el protocolo? ¿incluye entrenamiento de personal, asignación de responsables y equipos?
- 2.3 En caso de existir, ¿Cuándo fue su última actualización?
- 2.4 ¿Quién es el responsable de mantener actualizado y documentado los protocolos?
- 2.5 ¿Existen registros de atención de eventos no deseados que se relacionen con el Laboratorio de Aplicaciones con RI del ITCR?
- 2.6 En caso de existir, ¿qué información contienen los registros?, por cuanto tiempo se conservan?

Apéndice 4. Matriz de poder – influencia

		Influencia (Involucramiento activo)	
		Bajo	Alto
Poder (Nivel de autoridad)	Alto		
	Bajo		

Apéndice 5. Lista de verificación basada en el Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes N° 24037-S

Lista de Verificación basada en el Reglamento N° 24037 – S

Área: _____

Aplicador: _____

Fecha: ____/_____/20____

Titular de la licencia de funcionamiento: _____

Responsable de Protección Radiológica (RPR): _____

Ítem	Sí	No	Observaciones
1. Instalaciones			
1.1 ¿El interesado está inscrito en la Dirección de Registros y Controles del Ministerio de Salud?			
1.2 ¿Las fuentes o equipos emisores de RI están inscritos ante la Dirección de Registros y Controles del Ministerio de Salud?			
1.3 Según el tipo de instalación, ¿tienen la autorización previa emitida por la autoridad competente para su operación?			
1.4 ¿Poseen los planos de instalación, que incluyan detalles de calidad y espesores de pisos paredes, sistemas de ventilación, barreras biológicas, blindajes y sistemas de seguridad y control de tipo radiológico y físicos?			
1.5 ¿Existe un Plan de utilización de las fuentes o equipos generadores de radiaciones ionizantes expresado en horas por mes?			
1.6 ¿Poseen un informe escrito que incluya la caracterización técnica de cada uno de los equipos o fuentes asociados a la instalación?			
1.7 ¿Tienen el plano de ubicación de la instalación a escala 1:500?			
2. Solicitud de permiso sanitario			
2.1 ¿Poseen la Lista del personal que trabaja en la instalación, inscritos en el registro nacional de la autoridad competente?			
2.2 Nombre del responsable de la protección radiológica.			
2.3 ¿Tienen un informe escrito conteniendo la descripción de la entidad pública?			
2.4 El Manual de procedimientos de la instalación, contiene			
- ¿Procedimientos de operación?			
- ¿Procedimientos de mantenimiento?			
- ¿Procedimientos de protección radiológica operacional?			
- ¿Procedimiento de manejo de los desechos radiactivos?			
- ¿Procedimientos en emergencias?			
2.5 ¿Tienen el certificado, emitido por una entidad autorizada, de la actividad de las fuentes radiactivas o certificado de calibración del haz de radiación de los equipos generadores de radiaciones ionizantes?			
2.6 Las fuentes radiactivas, ¿poseen su nota certificada por el fabricante donde se compromete a recibir en el país de origen la fuente radioactiva			

cuando se considere desecho radioactivo o deje de ser útil para el solicitante del permiso sanitario de funcionamiento?			
3. Equipos móviles que contienen fuentes radiactivas			
3.1 ¿Poseen la lista del personal que opera el equipo debidamente registrado ante la autoridad competente y con su autorización vigente?			
3.2 ¿Poseen un informe conteniendo la descripción de la instalación de almacenamiento del equipo?			
3.3 El manual de procedimientos contiene			
- ¿Procedimientos de operación?			
- ¿Procedimientos de mantenimiento?			
- ¿Procedimientos de protección radiológica operacional?			
- ¿Procedimiento de manejo de la fuente una vez que sea considerada desecho radioactivo?			
- ¿Procedimientos de emergencia?			
3.4 ¿Tienen la certificación de la actividad de la fuente, otorgada por el fabricante?			
3.5 ¿Tienen la certificación de buen funcionamiento del equipo, emitida por una entidad pública autorizada?			
3.6 ¿Se realiza la renovación del permiso sanitario de funcionamiento cada 5 años?			
4. Titular de la licencia y obligaciones			
4.1 Todas las personas que trabajan con radiaciones ionizantes dentro de la instalación radiactiva operen fuentes o equipos generadores de radiaciones ionizantes o manipule material radiactivo, ¿posee la autorización de operador vigente emitida por la autoridad competente?			
4.2 El titular de la licencia de instalación:			
4.3 ¿Mantiene la cantidad de personal de operación suficiente, debidamente autorizado y con aptitudes físicas y psíquicas compatibles con la función que este debe desempeñar?			
4.4 ¿Nombra al responsable de la Protección Radiológica (RPR)?			
4.5 ¿El RPR mantiene un programa de protección radiológica, que permita verificar que los niveles de radiación, externos o incorporados no exceden los valores autorizados por la autoridad competente?			
4.6 ¿Proporciona al personal, libre de costo los elementos de protección personal, dosimetría, capacitación y demás elemento necesario para cumplir sus funciones en condiciones seguras?			
4.7 ¿Informa a la autoridad competente las acciones, alteraciones del diseño de instalación o cambios de seguridad radiológica de la instalación?			
5. Operador y sus requisitos			
5.1 ¿El personal expuesto cuenta con la autorización de operador, otorgada por la autoridad competente y está vigente?			
5.2 ¿Utiliza correctamente los elementos de protección y control personal?			
5.3 ¿Informa al RPR de la instalación, cualquier anomalía detectada en ella o en la ejecución de las actividades?			
5.4 ¿Utiliza el dosímetro personal, durante toda su jornada de trabajo?			
5.5 ¿Entrega el dosímetro personal al RPR para su recambio oportuno?			
6. RPR y sus requisitos			
6.1 ¿Cuenta el RPR con licencia otorgada por la autoridad competente y vigente?			

6.2 ¿Informa a la autoridad competente cualquier situación que ponga en peligro evidente o potencial, la salud del personal y el público general?			
6.3 ¿Envía los dosímetros personales, al servicio de dosimetría personal, con la periodicidad establecida en la autorización?			
6.4 ¿Lleva registros de seguridad radiológica de la instalación?			
6.5 ¿Informa a la autoridad competente movimientos de personal (¿pensiones, vacaciones incapacidades, etc.?)			
6.6 ¿El RPR renueva su licencia cada 2 años ante la autoridad competente?			
7. Áreas de trabajo y actividades realizadas			
7.1 Las áreas de trabajo con material radiactivo, ¿están determinadas como controladas o supervisadas y aprobadas por la autoridad competente?			
7.2 ¿Todas las áreas controladas o supervisadas están demarcadas y señalizadas con el símbolo estandarizado?			
8. Dosimetría personal			
8.1 ¿Todo trabajador ocupacionalmente expuesto y que trabaje en una zona controlada, porta su dosímetro durante toda su jornada laboral?			
8.2 ¿Se brinda el servicio de dosimetría por persona física o jurídica autorizadas por la autoridad competente?			
8.3 ¿El costo de la dosimetría es cubierto por el empleador?			
8.4 ¿Se mantiene un historial dosimétrico de todo el periodo laboral del trabajador?			
8.5 ¿Se informa a los profesionales y técnicos de la instalación de las dosis obtenidas?			
9. Desechos radiactivos			
9.1 En las instalaciones (tipo I y tipo II) donde se emplean fuentes o material radiactivo, ¿existe un lugar diseñado para almacenar temporalmente los desechos radiactivos?			
9.2 ¿Existen procedimientos para la eliminación de desechos?			
9.3 Los desechos de origen industrial, médico o de investigación, ¿se almacenan en un depósito autorizado y en recipientes diseñados para ese fin?			
10. Emergencias radiológicas			
10.1 ¿Se poseen protocolos o procedimientos establecidos para prevenir, mitigar y responder ante emergencias radiológicas en las instalaciones?			
10.2 ¿Se tiene un registro de accidentes ocurridos en las instalaciones?			

Observaciones adicionales:

Fuente: Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes, 1994.

Apéndice 6. Lista de verificación basada en el Código de Seguridad Humana NFPA 101

Lista de verificación basada en NFPA 101

Área: _____

Departamento al que pertenece: _____

Personal Contactado: _____

Aplicador: _____

Fecha: ___/_____/20___

Clasificación de los riesgos de los contenidos:

() Leve () Ordinario () Elevado

Información:

Leve: Aquellos con un nivel de combustibilidad tan bajo que no puede ocurrir una auto propagación del fuego.

Ordinario: Aquellos que tienen la posibilidad de arder con una rapidez moderada o que generan un volumen de humo considerable.

Elevado: Aquellos que tienen la posibilidad de arder con extrema rapidez o hacer explosión.

Ítem	Sí	No	Observaciones
1. Medios de egreso			
1.1 Altura Libre			
1.1.1 Los medios de egreso, se diseñaron para proveer una altura libre no menor de (2285 mm)			
1.1.2 Las proyecciones desde el cielorraso deben dejar una altura libre no menor de 2030 mm			
Superficies de tránsito			
1.2.1 Nivel			
1.2.2 Las superficies de tránsito ¿están niveladas?			
1.2.3 Las superficies de tránsito de los medios de egreso ¿presentan resistencia al resbalamiento?			
1.3 Impedimentos para el egreso			
1.3.1 Los dispositivos o alarmas instalados para restringir el uso inapropiado de un medio de egreso ¿se diseñaron para que, en caso de falla, puedan utilizarse los medios de egreso sin problemas?			
1.4 Confiabilidad de los medios de egreso			
1.4.1 Los medios de egreso ¿se mantienen siempre libres de obstrucciones o impedimentos para su uso en caso de una emergencia?			

1.5 Mobiliario y decoraciones en medios de egreso		
¿Existen barandas, barreras o portones que dividan los medios de egreso en secciones?		
¿Hay presencia de espejos en las salidas o un área adyacente a esta?		
1.6 Componentes de los medios de egreso		
1.6.1 Ancho de hoja de la puerta		
1.6.1.1 ¿Las aberturas de las puertas en los medios de egreso son de al menos 810 mm?		
1.6.2 La dirección de batimiento de la hoja de la puerta ¿es en dirección del recorrido de egreso?		
1.7 Cerraduras operadas mediante llave		
1.7.1 ¿El dispositivo de cierre es de un tipo fácilmente identificable?		
1.7.2 ¿Hay una llave disponible todo el tiempo para cualquier ocupante en el interior del edificio cuando la puerta se encuentre cerrada con llave?		
1.8 Liberación de herraje de puertas con egreso cerrado eléctricamente		
1.8.1 ¿El herraje para la liberación de la traba eléctrica es fácilmente operable en la dirección de egreso?		
1.8.2 ¿El herraje se puede operar con una única mano en la dirección del egreso?		
1.8.3 ¿La pérdida de la energía del herraje de liberación destraba eléctricamente el conjunto de montaje de la puerta en la dirección del egreso?		
1.9 Herrajes antipánico y herrajes para salida de incendio		
1.9.1 ¿El herraje consiste en una barra transversal o en una pieza de empuje?		
1.9.2 ¿Se ubica a no menos de 760 mm y no más de 1120 mm por encima del piso?		
1.9.3 ¿Los herrajes cuentan con certificación ANSI o UL?		
1.9.4 ¿Existe un cartel que indique EN EMERGENCIA, EMPUJE PARA ABRIR en cada abertura de puerta, fácilmente visible y sus caracteres son de no menos de 25 mm y con fondo contrastante?		
2 Salidas horizontales		
2.1 ¿Las salidas horizontales acreditadas como tales se disponen como recorridos continuos que conducen desde la salida a otros medios de egreso que conduzcan hacia el exterior del edificio?		
2.2 ¿El piso es sólido y sin perforaciones?		
3 Cantidad de medios de egreso		
3.1 ¿Existen como mínimo dos medios de egreso en las instalaciones?		
4.1 Descarga desde las salidas		
4.1.1 Las salidas, ¿terminan directamente en una vía pública o en una descarga de salida exterior?		
4.1.2 La descarga de salida interior, ¿conduce a una vía libre y sin obstrucciones hacia el exterior del edificio y es identificable mediante una señalización de salida?		
5 Disposición y señalización de la descarga de salida		
5.1 La descarga de salida ¿está dispuesta y señalizada de modo que la dirección del recorrido de egreso sea fácilmente identificable?		
6. Iluminación		
6.1 La iluminación de los medios de egreso, ¿es continua durante la ocupación del recinto?		

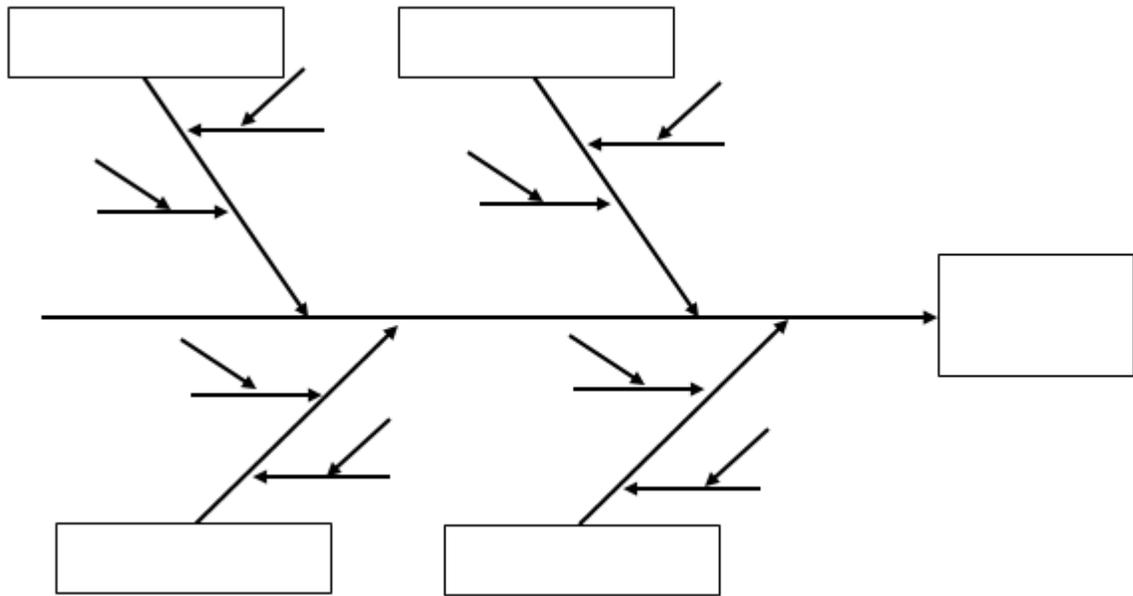
6.2 ¿El sistema de iluminación de emergencia está continuamente funcionando?			
6.3 ¿Se realizan pruebas de funcionamiento mensualmente (cada 30 días) al equipo de iluminación de emergencia?			
6.4 ¿Se mantienen registros escritos de las inspecciones visuales y de las pruebas de inspección realizadas por la autoridad competente?			
7. Señalización de los medios de egreso			
7.1 En aquellas zonas donde la continuidad del recorrido del egreso no es obvia, ¿se utilizan carteles de salida o carteles de salida direccionales aprobados?			
7.2 La ubicación de los carteles, se hace de manera que ningún punto de acceso de salida se encuentre a más de 30 m.			
8. Disposiciones para ocupaciones con contenidos de riesgo elevado			
8.1 Las salidas están dispuestas para permitir que todos los ocupantes escapen del edificio hacia el exterior o un lugar seguro con una distancia de recorrido menor de 23 m.			
8.2 ¿Se proveen al menos dos medios de egreso desde cada área riesgosa del recinto?			
8.3 Las puertas que sirven a áreas con contenidos de riesgo elevado ¿se abren en la dirección del recorrido de egreso?			
9 Sistemas de detección, alarma y comunicaciones de incendio			
9.1 ¿El área se encuentra protegida mediante un sistema aprobado de alarma de incendio?			
9.2 El sistema de alarma de incendio, ¿incluye un sistema de comunicaciones mediante voz y alarma?			

Fuente: NFPA 101 Código de Seguridad Humana, 2018.

Apéndice 7. Bitácora de la observación no participativa de las actividades de radiografía industrial e irradiación gamma del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR

Observación no participativa	
Observador:	
Fecha de observación:	
Actividad	Condiciones y actos inseguros

Apéndice 8. Diagrama de Ishikawa



Apéndice 9. Matriz de valoración de riesgos basada en la INTE 31-06-07:2011

Matriz de valoración de los riesgos del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR										
Peligro		Efectos posibles	Evaluación del riesgo							Valoración del riesgo
Descripción	Clasificación		Nivel de Deficiencia	Nivel de Exposición	Nivel de Probabilidad (NDx NE)	Interpretación del nivel de probabilidad	Nivel de Consecuencia	Nivel de Riesgo (NR) e intervención	Interpretación del NR	Aceptabilidad del riesgo
			Contacto indirecto con radiaciones ionizantes	De seguridad	Daño a órganos internos	6	2	12	Alto	
No portar dosímetro	De seguridad	Recibir una cantidad de dosis no determinada	6	2	12	Alto	25	300	II	Aceptable con controles específicos
Área de irradiación no demarcada completamente	De seguridad	Ingreso de personas al área de irradiación	6	2	12	Alto	25	300	II	Aceptable con controles específicos
Caída de trabajadores.	De seguridad	Fracturas, golpes	2	2	4	Bajo	10	40	III	Aceptable
Golpes con parte del mobiliario	De seguridad	Hematomas	2	1	2	Bajo	10	20	IV	Aceptable
Condiciones de aseo y orden	De seguridad	Golpes o caídas	6	2	12	Alto	10	120	III	Aceptable
Levantamiento cargas pesadas	Biomecánicos	Lesiones a articulaciones o miembros del cuerpo	2	2	4	Bajo	25	100	III	Aceptable
Cortes	De seguridad	Lesiones en miembros del cuerpo	2	2	4	Bajo	25	100	III	Aceptable
Puertas sin bloqueo	De Seguridad	Acceso no autorizado a las instalaciones	6	1	6	Medio	10	60	III	Aceptable
Extravío de llave maestra	De seguridad	Uso no autorizado de los equipos.	6	2	12	Alto	10	120	III	Aceptable

Apéndice 10. Matriz RACI

Tarea(s) / Actividad(es)	Roles				

Apéndice 11. Cuadro de capacitación

Tem a	Objetiv o	Responsabl e	Capacitació n	Contenido s	Materiales	Persona s por capacita r	Duració n
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

Apéndice 12. Cronograma de actividades del Programa de Seguridad Radiológica (PSR)

Semana Actividades	Mes											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre

Apéndice 13. Cálculos de las propuestas de mampara de Plomo y Hierro empleando la ley de atenuación exponencial

Pasos:

1°: Se selecciona aquel equipo que posee la mayor potencia de emisión en kV que corresponde a 270 kV. El valor anterior, debe transformarse a MV, ya que los valores de μ se seleccionan acorde al nivel de potencia del equipo que se desea atenuar y los valores encontrados se encuentran en MV, el cálculo se indica a continuación:

$$270\,000\text{ V} \times \frac{1\text{ MV}}{1\,000\,000\text{ V}} = 0.270\text{ MV}$$

2°: Se tiene un I_0 equivalente a $25 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}}\right)$, que se tomará como la energía crítica de fuga de los equipos que incidirá sobre el material del blindaje tipo mampara propuesto.

3°: Se debe seleccionar el coeficiente de atenuación másico μ para el plomo (ver cuadro VII-1) y el hierro (ver cuadro VII-2) que se obtuvieron del National Institute of Standards and Technology (NIST).

Cuadro VII-1. Valores de coeficientes de atenuación másico rayos X para el plomo (Pb)

Lead
Z = 82

ASCII format

Energy (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)
1.00000E-02	1.306E+02	1.247E+02
1.30352E-02	6.701E+01	6.270E+01
L3 1.30352E-02	1.621E+02	1.291E+02
1.50000E-02	1.116E+02	9.100E+01
1.52000E-02	1.078E+02	8.807E+01
L2 1.52000E-02	1.485E+02	1.131E+02
1.55269E-02	1.416E+02	1.083E+02
1.58608E-02	1.344E+02	1.032E+02
L1 1.58608E-02	1.548E+02	1.180E+02
2.00000E-02	8.636E+01	6.899E+01
3.00000E-02	3.032E+01	2.536E+01
4.00000E-02	1.436E+01	1.211E+01
5.00000E-02	8.041E+00	6.740E+00
6.00000E-02	5.021E+00	4.149E+00
8.00000E-02	2.419E+00	1.916E+00
8.80045E-02	1.910E+00	1.482E+00
K 8.80045E-02	7.683E+00	2.160E+00
1.00000E-01	5.549E+00	1.976E+00
1.50000E-01	2.014E+00	1.056E+00
2.00000E-01	9.985E-01	5.870E-01
3.00000E-01	4.031E-01	2.455E-01
4.00000E-01	2.323E-01	1.370E-01
5.00000E-01	1.614E-01	9.128E-02
6.00000E-01	1.248E-01	6.819E-02
8.00000E-01	8.870E-02	4.644E-02
1.00000E+00	7.102E-02	3.654E-02
1.25000E+00	5.876E-02	2.988E-02
1.50000E+00	5.222E-02	2.640E-02
2.00000E+00	4.606E-02	2.360E-02

Fuente: National Institute of Standards and Technology (NIST), 2019.

Cuadro VII-2. Valores de coeficientes de atenuación másico rayos X para el hierro (Fe)

Iron
Z = 26

ASCII format

Energy (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)
1.00000E-03	9.085E+03	9.052E+03
1.50000E-03	3.399E+03	3.388E+03
2.00000E-03	1.626E+03	1.620E+03
3.00000E-03	5.576E+02	5.535E+02
4.00000E-03	2.567E+02	2.536E+02
5.00000E-03	1.398E+02	1.372E+02
6.00000E-03	8.484E+01	8.265E+01
7.11200E-03	5.319E+01	5.133E+01
K 7.11200E-03	4.076E+02	2.978E+02
8.00000E-03	3.056E+02	2.316E+02
1.00000E-02	1.706E+02	1.369E+02
1.50000E-02	5.708E+01	4.896E+01
2.00000E-02	2.568E+01	2.260E+01
3.00000E-02	8.176E+00	7.251E+00
4.00000E-02	3.629E+00	3.155E+00
5.00000E-02	1.958E+00	1.638E+00
6.00000E-02	1.205E+00	9.555E-01
8.00000E-02	5.952E-01	4.104E-01
1.00000E-01	3.717E-01	2.177E-01
1.50000E-01	1.964E-01	7.961E-02
2.00000E-01	1.460E-01	4.825E-02
3.00000E-01	1.099E-01	3.361E-02
4.00000E-01	9.400E-02	3.039E-02
5.00000E-01	8.414E-02	2.914E-02
6.00000E-01	7.704E-02	2.836E-02
8.00000E-01	6.699E-02	2.714E-02
1.00000E+00	5.995E-02	2.603E-02
1.25000E+00	5.350E-02	2.472E-02

Fuente: National Institute of Standards and Technology (NIST), 2019.

4°: Debido a que no se posee un valor de energía exacto del equipo en las tablas, que corresponde a 0,270 MV. Se deber realizar una interpolación de los valores del cuadro VII-1 y el cuadro VII-2, para obtener el valor del coeficiente de atenuación requerido para el plomo y el hierro; los valores a interpolar se muestran en el cuadro VII-3.

Cuadro VII-3. Valores de μ para interpolar

Material	Energy	μ/ρ
	(MeV)	(cm^2/g)
Plomo (Pb)	2.00000E-01	9.985E-01
	3.00000E-01	4.031E-01
Hierro (Fe)	2.00000E-01	1.460E-01
	3.00000E-01	1.099E-01

Fuente: National Institute of Standards and Technology (NIST), 2019.

5°: Ahora, se debe realizar el proceso de interpolación de los valores que contiene el cuadro VII-3. Lo anterior, se hará haciendo uso de la fórmula mostrada a continuación:

$$y = y_1 + \left[\left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) (y_2 - y_1) \right]$$

- **Interpolación para el plomo (Pb):**

En el cuadro VII-4, se tienen los valores a interpolar y el valor requerido para ser utilizado en los siguientes pasos.

Cuadro VII-4. Valores para interpolar del plomo

Valores x (MV)	Valores y ($\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$)
$x_1 = 2,00000\text{E} - 01$	$y_1 = 9,985\text{E} - 01$
$x = 0,270$	$y = \text{"valor buscado"}$
$x_2 = 3,00000\text{E} - 01$	$y_2 = 4,031\text{E} - 01$

Fuente: National Institute of Standards and Technology (NIST), 2019.

Los valores del cuadro VII-4, se sustituyen en la fórmula de interpolación para obtener el valor requerido.

$$y = (9.985\text{E} - 01) + \left[\left(\frac{0.270 - (2.00000\text{E} - 01)}{(3.00000\text{E} - 01) - (2.00000\text{E} - 01)} \right) ((4.031\text{E} - 01) - (9.985\text{E} - 01)) \right]$$

Se obtiene que, para un valor de $x = 0,270$ MV, el valor de $y = 0,582$ ($\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$)

- **Interpolación para el hierro (Fe):**

En el cuadro VII-5, se tienen los valores a interpolar y el valor requerido para ser utilizado en los siguientes pasos.

Cuadro VII-5. Valores para interpolar del hierro

Valores x (MV)	Valores y ($\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$)
$x_1 = 2,00000\text{E} - 01$	$y_1 = 1,460\text{E} - 01$
$x = 0,270$	$y = \text{"valor buscado"}$
$x_2 = 3,00000\text{E} - 01$	$y_2 = 1,099\text{E} - 01$

Fuente: National Institute of Standards and Technology (NIST), 2019.

Los valores del cuadro VII-5, se sustituyen en la fórmula de interpolación para obtener el valor requerido.

$$y = (1,460\text{E} - 01) + \left[\left(\frac{0,270 - (2,00000\text{E} - 01)}{(3,00000\text{E} - 01) - (2,00000\text{E} - 01)} \right) ((1,099\text{E} - 01) - (1,460\text{E} - 01)) \right]$$

Se obtiene que, para un valor de $x = 0,270$ MV, el valor de $y = 0,121 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right)$

6°: Para obtener los valores de μ en cm^{-1} como lo solicita la ley de atenuación exponencial. Se multiplica cada valor de y obtenido en el paso 5 por la densidad ρ en $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$ (ver cuadro VII-6) de cada uno de los materiales como se muestra a continuación:

Cuadro VII-6. Densidades del plomo y hierro

Elemento	Número atómico (Z)	Densidad ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)
Plomo (Pb)	82	11,35
Hierro (Fe)	26	7,87

Fuente: LENNTECH, 2019.

- **Para el plomo (Pb):**

$$\mu = 0,582 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) \times 11,35 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = 6,606 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

- **Para el hierro (Fe):**

$$\mu = 0,121 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) \times 7,87 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = 0,952 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

7°: Se selecciona un valor de espesor del material de 5 milímetros (mm), el cual se debe transformar a centímetros (cm), para que las unidades coincidan. Lo anterior, se muestra a continuación:

$$5 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 0,5 \text{ cm}$$

Una vez realizados los pasos anteriores, se tienen los valores requeridos con sus respectivas unidades, resumidos en el cuadro VII-7:

Cuadro VII-7. Valores con sus respectivas unidades

Material	$I_0 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right)$	$\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$x \text{ (cm)}$
Plomo (Pb)	25	6,606	0,5
Hierro (Fe)	25	0,952	0,5

8°: Con todos los datos transformados a sus respectivas unidades, se procede a sustituir los valores correspondientes en la ley de atenuación exponencial, como se indica a continuación:

- **Para el plomo (Pb):**

$$I = I_0 * e^{-\mu * x}$$

$$I = 25 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right) * e^{-(6,606 \text{ (cm}^{-1}\text{)}) * (0,5 \text{ cm})}$$

$$I = 0,919 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right)$$

- **Para el hierro (Fe):**

$$I = I_0 * e^{-\mu * x}$$

$$I = 25 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right) * e^{-(0,952 \text{ (cm}^{-1}\text{)}) * (0,5 \text{ cm})}$$

$$I = 15,531 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right)$$

9°: Posteriormente, se divide el valor de energía I_0 entre el valor de I que logra atravesar cada material; para definir la cantidad de veces que el blindaje atenúa la energía de fuga inicial emitida por el equipo.

- **Para el blindaje de plomo (Pb):**

$$\frac{25 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right)}{0,919 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right)} = 27,20 \text{ veces}$$

- **Para el blindaje de hierro (Fe):**

$$\frac{25 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right)}{15,531 \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right)} = 1,61 \text{ veces}$$

Apéndice 15. Seguimiento de responsabilidades del PSR

F-RES-1				
Fecha de aplicación:				
Evaluador:				
Registro				
Cumplimiento de responsabilidades para el seguimiento del programa				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Sí	En proceso	No	
¿Se aprobó el PSR?				
¿El PSR se presentó a los involucrados?				
¿Se aprobó el presupuesto requerido para el PSR?				
¿Se realizaron las capacitaciones requeridas?				
¿La implementación del PSR fue un proceso guiado?				
¿Se implementaron los controles ingenieriles propuestos?				
¿Se implementaron los controles administrativos propuestos?				
¿Se capacitó al personal en los temas propuestos del PSR?				
¿Se establecieron oportunidades de mejora del PSR?				
¿Se han realizado las modificaciones requeridas al PSR?				

Apéndice 17. Evaluación de la efectividad y control de la capacitación

F-ECAP-1		
Fecha de aplicación:		
Evaluador:		
Evaluación de la efectividad y control de la capacitación		
Ítem	Cumplimiento	
	Sí	No
¿Se capacitó a todo el personal involucrado?		
¿Se brindan los procesos de capacitación de manera anual como se indica en el programa?		
¿Los trabajadores aplican las medidas control propuestas en el programa?		
Inspección y verificación de equipos emisores de radiaciones ionizantes		
¿Los trabajadores realizan la inspección del equipo previo a su uso?		
¿Se notifican las anomalías detectadas a los equipos?		
Inspección y verificación de medidores ambientales y medidores portátiles		
¿Los trabajadores realizan la inspección previa a la ejecución de sus labores?		
¿Se siguen los lineamientos del procedimiento?		
¿Se informa al Coordinador del Laboratorio sobre los equipos próximos a vencer su calibración?		
Procedimientos de trabajo seguro		
¿Los trabajadores siguen las indicaciones del procedimiento según el proceso a seguir (radiografiado o irradiación)?		
¿Se utilizan los dispositivos de detección personal en todo momento?		
¿El trabajador realiza las actividades de manera segura y sin prisas?		
Dosimetría personal		
¿El trabajador porta su dosímetro a la altura del pecho siempre?		
¿El RPR informa a los trabajadores los resultados de dosimetría personal?		
¿El RPR mantiene registros de las dosimetrías del personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes?		
Manejo de residuos radiactivos		
¿Los desechos radiactivos se mantienen en el área destinada para ese fin?		
¿Se garantiza el acceso controlado que el área de desechos radiactivos?		

Apéndice 18. Informe de control y seguimiento del programa

I-CySP-1			
Lugar: Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes, ITCR.			
Fecha:			
Evaluador:			
Informe de control y seguimiento del programa			
% de cumplimiento de los instrumentos propuestos para la evaluación del programa			
Control	% de Cumplimiento	% de Incumplimiento	Observaciones
¿Cómo interpretar el % de cumplimiento obtenido del control y seguimiento del programa?			
% de Cumplimiento	Significado	Medidas	
100 %	Se cumple totalmente	Se debe dar seguimiento al programa para mantener este porcentaje de cumplimiento.	
99 % - 80 %	Se cumple parcialmente	Se deben ejecutar controles para aquellos rubros que incumplen	
<80 %	Se incumple	Se debe evaluar el PSR e implementar acciones de mejora urgentemente.	
Alternativas de mejora			
Mejora(s)	Responsables	Fecha de implementación	Observaciones

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Encuesta Higiénica

Encuesta Higiénica para el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)

Nombre de quien aplica la encuesta: _____

Fecha de aplicación: __/_____/20__

Nombre del Representante Legal de la Instalación: _____

Nombre del Encargado o jefe del Laboratorio: _____

Nombre del Responsable de Protección Radiológica (RPR): _____

1. Información General

Jornada Laboral: _____

Turnos: _____

Periodos de descanso: _____

Rotación de las labores de trabajo (frecuencia de rotación y ¿por qué?): _____

Nivel de trabajo actual: _____

2. Procedimientos de trabajo

a. Descripción del puesto de trabajo

Puesto: _____

Descripción (técnicas y procedimientos con los diferentes equipos):

Personal que opera el equipo: _____

b. Detalle de los espacios de trabajo en que se desarrolla la actividad laboral (características generales).

c. Con anterioridad, ¿se han realizado cambios en los procedimientos de trabajo?
¿cuáles?

d. En el corto o mediano plazo, ¿se esperan posibles cambios en los procedimientos?
¿cuáles?

e. En caso de accidente o emergencia, ¿existen procedimientos de actuación? ¿cuál(es)?

3. Trabajadores

a. Información general relacionada a los trabajadores y relacionada a su actividad laboral

Nombre del trabajador	Edad	Sexo	Nivel Académico	Actividad que realiza	Tiempo de laborar en la actividad	Trabajos anteriores

b. Existe personal adicional que ingrese al Laboratorio (para prácticas de mantenimiento y/o limpieza). ¿Cómo? ¿Cuándo? ¿Duración de la actividad?

c. ¿Existe un protocolo para la protección radiológica de mujeres embarazadas?
¿Describa?

4. Fuentes radiactivas y equipos usados

a. Descripción de los equipos

Equipo (marca)	Equipo (modelo)	Serie	Actividad	Isótopo	Fecha de fabricación

En los equipos de Rx convencional indicar:

Marca, modelo y serie del emisor.	Marca, Modelo y serie del colimador	Kilo voltaje máximo del emisor	Mili amperaje máximo del emisor.

En los equipos de Rx portátiles indicar:

Marca, modelo y serie del emisor.	Marca, Modelo y serie del colimador	Kilo voltaje máximo del emisor	Mili amperaje máximo del emisor.

b. Procedimientos de mantenimiento

¿Existen procedimientos de mantenimiento de los equipos y/o implementos? Detalle.

Si los procedimientos se realizan por un ente externo, ¿se indican las condiciones del contrato de mantenimiento (correctivo, preventivo y periodicidad de este). Detalle.

¿Se tienen registros de las pruebas y controles que se realizan a los diferentes equipos? Detalle.

El Responsable de Protección Radiológica (RPR), ¿mantiene una bitácora del mantenimiento correctivo? ¿Qué información contiene? Detalle.

5. Condiciones de seguridad

I. Dispositivos de seguridad radiológica

Dispositivo	Descripción	Localización

II. Áreas de señalización (supervisadas/controladas)

Área	Controlada/supervisada	Señalización

III. Equipo de protección personal (EPP)

Vestimenta y/o EPP usado en el trabajo

6. Dosimetría

a. Tipo de dosímetro (Extremidades/Cuerpo entero)

b. ¿Cada cuánto se verifica la dosis recibida por el trabajador?

c. Descripción del uso de dosímetros o monitores de radiación.

d. Describa el servicio de dosimetría con que cuenta el Laboratorio.

e. ¿Se cuenta con registros de vigilancia de la salud (historial médico, exámenes al personal del servicio, periodicidad) de los últimos 5 años? Detalle.

7. Desechos

a. ¿Se genera algún tipo de desecho? ¿Cuál o cuáles?

b. Características de los desechos.

c. ¿Existe algún procedimiento para el manejo de desechos? Detallar.

8. Exigencias del puesto

- a. Preparación especial antes de empezar la actividad laboral (capacitación o inducción).
¿En qué consiste?

- b. ¿Existe un proceso de capacitación del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes? ¿Quién es el responsable de la capacitación? ¿Con qué frecuencia se realiza? Detalle.

- c. ¿Se realizan exámenes de chequeo médico? ¿Con qué frecuencia? ¿Existe un registro de estos?

Fuente: Carpio & Chavarría, 2007.

Anexo 2. Entrevista semiestructurada al Responsable de Protección Radiológica (RPR) del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR, el coordinador del CIEMTEC (Centro de Investigación y Extensión en Ingeniería de los Materiales) y el director de la ECIM (Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales) del ITCR

Entrevista para el Responsable de Protección Radiológica, el coordinador del CIEMTEC y el director de la ECIM del ITCR

1. Información general

- 1.1 ¿Quién es el titular de la licencia de funcionamiento?
- 1.2 ¿Cuáles son las responsabilidades del Responsable Legal de la instalación?
- 1.3 El Responsable Legal de la instalación, ¿es informado sobre las responsabilidades del Responsable de Protección Radiológica (RPR) y del personal ocupacionalmente expuesto a las RI?
- 1.4 ¿Cuáles son las responsabilidades del Responsable de Protección Radiológica (RPR)?
- 1.5 ¿Cuáles son las responsabilidades del Personal ocupacionalmente expuesto a Radiaciones Ionizantes en el área de trabajo?
- 1.6 El personal ocupacionalmente expuesto, ¿es informado sobre las funciones del Responsable de Protección Radiológica?
- 1.7 ¿Qué capacitación recibe el personal para trabajar en el Laboratorio?
- 1.8 ¿Qué previsiones se realizan para garantizar que las dosis de exposición sean menores al límite permitido?
- 1.9 ¿Existe un Comité Local de Seguridad Radiológica?
- 1.10 Si la respuesta anterior es afirmativa, ¿Cuáles son sus responsabilidades?
- 1.11 ¿Poseen la memoria de cálculo del blindaje del área donde se empleen las fuentes emisoras de RI? Incluir: espesores de pisos, paredes, sistemas de ventilación, techo, puerta, sistemas de seguridad y control de tipo radiológico y físicos, señalización.
- 1.12 ¿Poseen la memoria de cálculo del blindaje del área donde se almacenen las fuentes radiactivas? Incluir: espesores de pisos, paredes, sistemas de ventilación, techo, puerta, sistemas de seguridad y control de tipo radiológico y físicos, señalización.
- 1.13 ¿Se dispone de un área de almacenamiento temporal de desechos radiactivos?

- 1.14 Si la respuesta anterior es afirmativa, ¿Poseen la memoria de cálculo del cálculo del blindaje del área de almacenamiento temporal de las fuentes radiactivas? Incluir: espesores de pisos, paredes, sistemas de ventilación, techo, puerta, sistemas de seguridad y control de tipo radiológico y físicos, señalización.

2. Documentación

- 2.1 ¿Existe un manual de procedimientos según lo solicita el Ministerio de Salud?
- 2.2 En caso de existir, ¿cuándo fue su última actualización?
- 2.3 ¿Qué cambios se incluyeron en la última actualización del manual de procedimientos?
- 2.4 ¿Quién es el responsable de mantener actualizado y documentado el manual de procedimientos?
- 2.5 Dentro del manual de procedimientos, ¿están delimitadas las funciones de todos los involucrados en el área de RI?
- 2.6 ¿Quién es el encargado de la documentación de los desechos (bitácora)?
- 2.7 ¿Por cuánto tiempo se guardan los registros?

3. Procedimientos

- 3.1 ¿Qué tipo de fuentes se utilizan en el área o departamento?
- 3.2 Todas las fuentes, ¿están inscritas en la resolución?
- 3.3 ¿Cada cuánto se realiza el cambio de las fuentes?
- 3.4 ¿Cuál es el procedimiento para el recambio y disposición de las fuentes?
- 3.5 ¿Qué tipo de monitoreo se realiza durante la ejecución de las labores.
- 3.6 ¿Cuál(es) equipo(s) se utiliza(n)?
- 3.7 ¿Quién(es) se encarga(n) de las mediciones?
- 3.8 ¿Se verifica la calibración del equipo de medición?
- 3.9 ¿Se tiene el certificado de calibración del equipo de medición?
- 3.10 El RPR, ¿informa los resultados de los reportes dosimétricos a los trabajadores ocupacionalmente expuestos a RI?
- 3.11 ¿Qué medidas de seguridad existen para restringir el acceso a las áreas donde se empleen radiaciones ionizantes?
- 3.12 ¿Existe un protocolo de actuación establecido en el manual de procedimientos, en caso de extravío o pérdida de fuentes emisoras de RI?
- 3.13 ¿Qué equipo se utiliza para el monitoreo de los desechos radiactivos?
- 3.13.1 ¿Quién realiza la medición?

3.13.2 ¿Quiénes se encuentran autorizados para realizarlo?

3.13.3 ¿Se encuentra el/los instrumento/s calibrados?

3.13.4 ¿Cuándo fue su última calibración?

3.14 En caso de determinar un accidente o incidente ¿cómo se procede?

3.15 ¿Existe factibilidad para realizar arreglos urgentes en la infraestructura (grietas, goteras, etc.)? ¿Cómo se procede?

4. Emergencias

4.1 ¿Cuáles emergencias atiende el apartado de atención de emergencias radiológicas?

4.2 ¿Existe algún procedimiento para atención de emergencias causadas por amenazas naturales?

4.3 En caso de existir ¿en qué consiste el procedimiento? ¿incluye entrenamiento de personal, asignación de responsables y equipos?

4.4 ¿Se realiza alguna actualización al procedimiento para atención de emergencias causadas por amenazas naturales?

4.5 ¿Cuándo fue la última actualización del procedimiento para atención de emergencias causadas por amenazas naturales?

4.6 ¿Se ha reportado o conoce de algún accidente/incidente que haya ocurrido en el Laboratorio relacionado al manejo de fuentes o equipos radiológicos? ¿Llevan registros de estos?

4.7 En caso de existir registros de accidentes/incidentes, ¿qué información contiene? ¿cómo los documentan?

Preguntas específicas para el Responsable de Seguridad Radiológica (RPR)

a. ¿Cuántos años de experiencia tiene como RPR?

b. ¿Conoce el Reglamento de Protección contra las radiaciones ionizantes del Ministerio de Salud?

c. ¿Conoce otro(s) reglamento(s) que sean vinculantes para el Laboratorio bajo su responsabilidad? ¿Cuál(es)?

d. En el último año de labores, ¿qué tipo de situaciones (accidentes o incidentes) se le han presentado y atendió con más frecuencia en su labor como RPR? Detalle.

e. ¿Reciben personas ajenas al proceso en las instalaciones y que realicen procedimientos con RI?

- f. Esas personas, ¿están cubiertas por el servicio de dosimetría con que cuenta el Laboratorio?
- g. ¿Existe un plan de recepción de esas personas? que incluya al menos: ¿procedimientos, medidas de seguridad, dosimetría y métodos de identificación de estas?
- h. El laboratorio, ¿está autorizado por el Ministerio de Salud para que las personas realicen procedimientos de RI en las instalaciones?

Fuente: Carpio & Chavarría, 2007.

Anexo 3. Cuestionario aplicado al personal ocupacionalmente expuesto (POE) del Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del ITCR

Cuestionario dirigido al personal que labora en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica

En este trabajo, se está recopilando información sobre trabajadores que realicen tareas o procesos que involucren fuentes emisoras de radiaciones ionizantes o utilicen equipos que generen dichas radiaciones y que se ven ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes con el propósito de optar por el Grado de Bachiller en Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental. La información de sus respuestas será tratada de manera confidencial y para fines académicos solamente. En ninguna circunstancia su información será revelada a terceros, ni para perjudicarlo de alguna manera a usted.

Instrucciones

Marque con una X la respuesta que considere se ajusta a su caso. Deberá seleccionar una opción por ítem a menos que se le pida lo contrario.

Cualquier sugerencia o mejora de redacción o claridad de las preguntas serán bienvenidas.

¡Gracias por su colaboración!

Información Personal

- Nombre: _____
- Sexo: () Masculino
() Femenino
- Edad: _____

Información Laboral

- Lugar en el que labora: _____
- Cargo que desempeña: _____
- Tiempo de laborar en el área de trabajo: _____
- Con anterioridad, ¿realizó otras labores que implicarán el uso de materiales radiactivos o radiaciones ionizantes?
() Sí

() No

- Si su respuesta fue Sí, detalle a continuación:

Actividades de Trabajo

- Describa con detalle, las labores o actividades que realiza en el lugar de trabajo que impliquen el uso de fuentes o equipos emisores de radiaciones ionizantes.

- ¿Puede brindar un aproximado del tiempo que requiere para realizar las labores o actividades descritas anteriormente? _____

- Las labores o actividades indicadas anteriormente las realiza:

() Todos los días

() 1 a 2 veces por semana

() Más de 3 veces por semana

() Cada 15 días

() Mensualmente

() Otro (especifique): _____

- ¿Existen protocolos escritos que especifiquen los procedimientos de trabajo y medidas de seguridad que se debe emplear según la actividad realizada en el uso de radiaciones ionizantes?

() Sí

() No

() No sé

Riesgos de exposición

- ¿Conoce el resultado de su último reporte dosimétrico?

() Sí

() No

- Si responde sí a la pregunta anterior, indíquelo a continuación

- ¿Conoce cuál es su límite de dosis como trabajador ocupacionalmente expuesto?

- En la ejecución de su trabajo (puede marcar varias opciones):
 - () Confía en las medidas de seguridad y protección radiológica implementadas.
 - () Desconfía de las medidas de seguridad y protección radiológica implementadas.
 - () Le preocupa los efectos a su salud asociados a su trabajo.
 - () Conoce los procedimientos o protocolos establecidos y los ejecuta como indican estos.
 - () Otros: _____
- ¿Cuáles actividades cotidianas considera que aumentan su exposición a radiaciones ionizantes? Detalle a continuación:

- ¿Le ha ocurrido alguna situación no rutinaria que haya aumentado su exposición a radiaciones ionizantes?
 - () Sí
 - () No
- Si la respuesta anterior es sí, detalle a continuación:

- ¿Considera importante que las prácticas de trabajo incluyan la seguridad y protección radiológica?
 - () Sí
 - () No
- ¿Conoce medidas de seguridad y protección para reducir la exposición a radiaciones ionizantes?
 - () Sí
 - () No

- Especifique, ¿qué medidas de seguridad y protección radiológica incluye es la realización de sus labores?

- Con el paso de los años, su conocimiento en protección radiológica se caracteriza por:
 - () Actualizarse periódicamente.
 - () Delegarla a otros.
 - () Ser indiferente a los mismos.
 - () Otros: _____

- ¿Conoce los procedimientos específicos para la disposición de desechos generados en sus actividades relacionadas con las radiaciones ionizantes?
 - () Sí
 - () No

- Si la respuesta anterior es Sí, detalle a continuación los procedimientos para la disposición de los desechos:

- ¿Ha recibido alguna capacitación brindada por el Laboratorio relacionada a los riesgos que implica la exposición a radiaciones ionizantes?
 - () Sí
 - () No

- ¿Conoce los posibles efectos que pueden ocasionarle la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes?
 - () Sí
 - () No

- ¿Considera que dosis bajas de radiación ionizante pueden producirle efectos en su organismo?
 - () Sí
 - () No

- ¿Conoce a que se llaman efectos estocásticos?
 - () Sí

No

- Si la respuesta anterior es Sí, detalle a continuación:

- ¿Conoce a que se llaman efectos determinísticos?

Sí

No

- Si la respuesta anterior es Sí, detalle a continuación:

- ¿Considera necesario ampliar el conocimiento que posee sobre radiaciones ionizantes en su lugar de trabajo?

Sí

No

- En caso de ocurrir un accidente o incidente radiológico, ¿conoce los procedimientos específicos que deben aplicarse?

Sí

No

- En caso de ocurrir un accidente o incidente radiológico, ¿conoce los responsables que deben actuar para atender la(s) situación(es)?

Sí

No

- ¿Ha recibido capacitación(es) sobre cómo debe proceder en caso de ocurrir una emergencia radiológica?

Sí

No

- ¿Qué aspectos considera que pueden incorporarse a los protocolos de trabajo o de atención de emergencias en su área de trabajo? Detalle a continuación:

Fuente: Carpio & Chavarría, 2007.

Anexo 4. Lista de verificación de la Guía de Inspección sobre Condiciones de Salud Ocupacional del Consejo de Salud Ocupacional (CSO)

Lista de verificación de la Guía de Inspección General del CSO

Lugar: _____

Encargado: _____

Fecha: _____

Aplicador: _____

Ítem	Sí	No	Observaciones
1. Área y volumen			
1.1 ¿La superficie del piso del local es de al menos dos metros cuadrados libres para cada trabajador?			
1.2 ¿El piso es de material resistente, parejo, no resbaladizo y fácil de asear?			
1.3 En áreas de trabajo a diferente nivel, ¿utilizan rampas de pendiente no mayor a quince grados para salvar las diferencias de nivel en la misma planta?			
1.4 ¿Las paredes y pisos son de fácil limpieza?			
1.5 ¿Las paredes y pisos se encuentran en buen estado de conservación sin grietas o agujeros?			
2. Señalización			
2.1 ¿Existen señales y avisos de salud ocupacional en áreas de tránsito, salidas de emergencia, maquinaria, tuberías entre otros?			
2.2 El trabajador, ¿ha sido capacitado para la correcta interpretación de señales o avisos?			
2.3 ¿Existen avisos para identificar peligros como alto voltaje, explosivos, materiales peligrosos y equipos para incendio (avisos deben ser de color rojo)?			
2.4 ¿Están las partes peligrosas de las máquinas y de los equipos eléctricos debidamente identificados (Las partes deben ser identificadas con el color anaranjado)?			
2.5 ¿Están las áreas de tránsito peatonal, de vehículos, vigas bajas, columnas, postes, equipo en movimiento, partes de la huella y de la contrahuella de una escalera debidamente demarcados y señalizados (deben estar pintados con amarillo)?			
3. De los pasillos			
3.1 Los pasillos generales y los de uso común, ¿tienen un ancho mínimo de 1,20? m y ¿los pasillos interiores un ancho mínimo de 0,90m?			
4. Puertas			
4.1 ¿El espacio libre de las puertas es de un ancho mínimo de 0,90 m y son fáciles de abrir?			
5. Salidas al exterior			
5.1 ¿El local cuenta con la cantidad mínima de salidas al exterior, cumpliendo con los requisitos del Manual de Disposiciones Técnicas de seguridad humana y protección contra incendios vigente?			

6. Salidas de emergencia		
6.1 ¿Las salidas de emergencia, poseen mecanismos que faciliten su apertura y se encuentran libres de obstáculos?		
7. De la ventilación		
7.1 En locales cerrados, ¿el aire se renueva mediante ventilación natural (ventanas, tragaluces abiertos) o forzada?		
8. De la temperatura y humedad		
8.1 ¿Se cuentan con medidores de temperatura y humedad en el local o área de trabajo?		
8.2 ¿Se revisan con frecuencia las condiciones de temperatura y humedad en el local o área de trabajo?		
8.3 ¿Se mantienen registros de las condiciones de temperatura y humedad en el local o área de trabajo?		
9. De la iluminación		
9.1 ¿Se cuenta con iluminación natural en el local o área de trabajo?		
9.2 ¿Se cuenta con iluminación artificial en el local o área de trabajo?		
9.3 ¿Se han realizado estudios que midan condiciones de las fuentes de luz, distribución e intensidad del local o áreas de trabajo?		
9.4 ¿Se realiza mantenimiento a las luminarias del local o área de trabajo?		
10. Limpieza		
10.1 ¿Se realizan actividades de limpieza del local y equipos frecuentemente?		
10.2 ¿Se realizan actividades de limpieza que generen polvo o partículas en el ambiente de trabajo?		
10.3 ¿La limpieza se hace al terminar la jornada laboral?		
10.4 ¿Quiénes realizan la limpieza requieren de equipo de protección personal para realizar sus labores en el local o área de trabajo?		
10.5 ¿Los instrumentos y materiales de limpieza se conservan en lugares adecuadamente designados para su almacenamiento?		
11. Electricidad		
11.1 Todas las líneas conductoras de energía eléctrica en el local de trabajo, ¿se encuentran protegidas y aisladas para ofrecer la mayor seguridad?		
11.2 Las líneas conductoras de energía eléctrica en el local de trabajo, ¿están colocadas fuera del alcance o contacto inmediato del personal?		
11.3 Las celdas o compartimentos donde se instalen transformadores, interruptores, aparatos de medidas o protección, cuadros de distribución o transformación de energía, ¿Están dispuestos y protegidos, para evitar cualquier contacto peligroso con los mismos?		
11.4 Las actividades de reparación o trabajo alguno en las líneas conductoras de energía eléctrica, ¿se realizan por personal competente?		
11.5 En las máquinas, aparatos o líneas, que conduzcan energía eléctrica y ofrecen riesgos graves para la seguridad de las personas, ¿están demarcadas mediante leyendas que adviertan el peligro y en lugares visibles?		
12. Extinción de incendios		
12.1 ¿Al personal se le brindan las instrucciones adecuadas sobre salvamento en caso de incendio?		
12.2 ¿Se capacita a los trabajadores en el manejo del extintor o sustancias extintoras de incendios?		
12.3 ¿El local cuenta con equipo de combate de incendio (rociadores) en perfecto estado de conservación y funcionamiento?		

12.4 ¿Se cuentan con extintores de incendio?			
12.5 ¿Los extintores se encuentran cargados, en condición de ser operados y ubicados en el lugar designado?			
12.6 Los extintores, ¿se localizan en un lugar accesible, sin obstrucciones u ocultos a la vista y disponibles para su operación?			
12.7 Las instrucciones de manejo, ¿están colocadas sobre la parte delantera del extintor y se destaca de otras rotulaciones?			
12.8 ¿Se dispone de alarmas contra incendio?			
12.9 ¿Se realiza mantenimiento a las alarmas o dispositivos de combate de incendio?			
13. Protección para los trabajadores			
13.1 El patrono, ¿brinda equipo de protección personal, en buen estado y según la actividad que se realice en el local de trabajo?			
13.2 ¿Qué tipo de protección personal se brinda a los trabajadores?			
13.3 Los equipos de protección personal al trabajador, ¿se cambian cuando presentan daños o deterioro?			
13.4 El trabajador, ¿hace uso y cuida del equipo de protección personal otorgado?			
13.5 ¿Se capacita al trabajador en el uso y mantenimiento del equipo de protección personal?			
13.6 ¿Se realiza mantenimiento a los equipos de protección al trabajador? ¿Cuál?			
14. De los servicios sanitarios			
14.1 ¿Se cuenta con inodoros o urinarios separados para cada sexo?			
14.2 Los servicios sanitarios, ¿cuentan con agua y papel higiénico?			
14.3 ¿Se dispone de un inodoro por cada veinte trabajadores y uno por cada quince trabajadoras cuando el total de trabajadores sea menor de 100?			
14.4 ¿Existe un lavamanos en buenas condiciones por cada quince trabajadores?			
14.5 El equipo de aseo (jabón, toallas, cepillos y materiales necesarios), ¿son otorgados por el patrono?			
14.6 ¿Los pisos y paredes son continuos, lisos e impermeables?			
14.7 ¿Los materiales permiten el lavado con líquidos desinfectantes?			
14.8 ¿El aseo se realiza de manera frecuente?			
15. Vestidores y duchas			
15.1 Si el tipo de actividad realizada lo amerita, ¿se disponen de instalaciones apropiadas para que los trabajadores se cambien de ropa, la guarden y en caso de ser requerido la sequen?			
15.2 ¿Se cuentan con duchas, vestidores y casilleros, separadas según el sexo del trabajador?			
15.3 Las áreas de aseo personal, ¿se limpian y desinfectan con frecuencia?			
16. Atención médica			
16.1 Los trabajadores que se accidentan en el lugar de trabajo, ¿se les brinda la asistencia médica (enfermería, dispensario médico o es remitido al INS)?			
16.2 ¿Se cuenta con botiquín de primeros auxilios?			
16.3 El contenido del botiquín, ¿se revisa periódicamente para determinar productos vencidos o dañados?			

16.4 El contenido del botiquín, ¿se repone inmediatamente cada vez que se agote o se dañe por cualquier causa?			
17. Fumado en el área de trabajo			
17.1 En el centro de trabajo, ¿se encuentran rótulos de “Prohibido Fumar ambiente libre de humo de tabaco”?			

Fuente: Consejo de Salud Ocupacional, (s.f.).

Anexo 5. Lista de verificación del estándar AS 2243.3:1998

Lista de verificación según el estándar australiano AS 2243.3:1998

Área: _____

Departamento al que pertenece: _____

Responsable del Laboratorio: _____

Responsable de Protección Radiológica (RPR): _____

Aplicador: _____

Fecha: ___/___/20___

Resumen

Si el laboratorio contiene la(s) siguiente(s) fuente(s) de radiación ionizante:

Sustancia(s) radiactiva(s) sellada(s) – Completar listas de verificación 1, 2, 3, 4, 5 y 6
Unidad(es) de rayos X para radiografía industrial: Completar listas de verificación 1, 2, 3, 4 y 11.

LISTA DE VERIFICACIÓN 1: ASPECTOS GENERALES PARA LA PROTECCION DE RADIACIONES IONIZANTES

Artículo	C	NC	NA	Comentario
Sólo el personal autorizado tendrá acceso a fuentes de radiación.				
Se nombrará un oficial de seguridad radiológica para supervisar las actividades de seguridad radiológica.				
Se mantendrá informado al oficial de seguridad de la radiación de la naturaleza del trabajo de radiación que se está realizando en el laboratorio.				
Se llevará un registro de la recepción, ubicación, uso, transferencia y eliminación de fuentes de radiación.				

Artículo	C	NC	NA	Comentario
Se mostrará un letrero de advertencia de radiación en las entradas de la zona de radiación designada. El signo de advertencia mostrará el símbolo de trefoil de radiación en negro sobre un fondo amarillo. Deberá elegirse una redacción adecuada para advertir adecuadamente el peligro de que se trate.				
Deberán tomarse precauciones para proteger a las personas expuestas ocupacionalmente y no expuestas profesionalmente de las radiaciones ionizantes directas y dispersas. Esto puede incluir consideraciones de tiempo, distancia y blindaje, y/o monitoreo personal y de área.				
La zona de radiación designada y las zonas que puedan tener un riesgo de radiación ionizante se controlarán con los instrumentos adecuados a intervalos regulares y se registrarán los resultados.				
Las sustancias radiactivas se utilizarán y almacenarán de manera que no presenten un peligro para las personas cercanas y estén seguras contra el robo o la manipulación no autorizada.				
Las unidades de análisis de rayos X y las unidades de rayos X de radiografía industrial deberán estar equipadas con enclavamientos adecuados para evitar que el personal acceda al haz de rayos X primario.				
El personal que trabaje con fuentes de radiación recibirá formación e instrucción sobre los riesgos de radiación asociados con su trabajo y los procedimientos de trabajo seguros que se emplearán para evitar o minimizar el peligro.				

LISTA DE VERIFICACIÓN 2: PROCEDIMIENTOS, FORMACIÓN E INSTRUCCIÓN

Artículo	C	NC	NA	Comentario
En el laboratorio se mostrarán las normas de procedimientos de trabajo seguros para hacer frente a los peligros potenciales.				
Los procedimientos de emergencia para hacer frente a posibles accidentes e incidentes se mostrarán en el laboratorio.				
El personal recibirá formación e instrucción sobre los riesgos de radiación asociados a su trabajo.				
El personal recibirá formación e instrucción sobre métodos y técnicas de trabajo seguros.				
El personal recibirá formación e instrucción sobre las precauciones que deben tomarse y las razones para tomarlas.				
El personal recibirá capacitación e instrucción sobre los procedimientos de emergencia.				
El personal recibirá formación e instrucción sobre la notificación de cualquier incidente pertinente para la salud y la seguridad de las personas y la protección del medio ambiente.				
El personal recibirá formación e instrucción sobre los requisitos reglamentarios relativos a la fuente de radiación en particular.				
Los registros de formación serán mantenidos por el usuario, supervisor, oficial de seguridad radiológica o una persona responsable.				

LISTA DE VERIFICACIÓN 3: MONITOREO PERSONAL

Artículo	C	NC	NA	Comentario
Todas las personas que estén expuestas profesionalmente a la radiación ionizante recibirán un dispositivo dosímetro personal.				
Se tomarán precauciones para garantizar que los dispositivos dosímetros personales estén expuestos únicamente a las radiaciones ionizantes que afecten al usuario durante el curso normal de trabajo.				
Los dispositivos de dosímetro personal serán procesados a intervalos regulares por un proveedor de servicios acreditado.				
El oficial de seguridad radiológica o una persona responsable conservarán los registros de todas las dosis de radiación ocupacional recibidas por personas expuestas en el trabajo.				
El oficial de seguridad radiológica revisará periódicamente los registros de dosis de radiación.				
El oficial de seguridad radiológica informará a las personas expuestas en el trabajo de cualquier dosis excesiva o de resultados de supervisión inusuales.				
Los registros de todas las dosis de radiación ocupacional recibidas por una persona expuesta en el trabajo se pondrán a disposición de dicha persona previa solicitud.				
Los registros de dosis personales de radiación se conservarán <i>durante la vida útil de la persona y después durante no menos de 30 años después de la última evaluación de la dosis y al menos hasta que la persona alcance o hubiera alcanzado la edad de 75 años.</i>				

LISTA DE VERIFICACIÓN 4: MONITORES DE RADIACIÓN

Artículo	C	NC	NA	Comentario
El personal de los laboratorios en los que se utilicen fuentes de radiación ionizante deberá tener acceso a los equipos de control de la radiación.				
Si las fuentes de alta actividad (selladas o no selladas) o los aparatos irradiadores pueden dar lugar a un riesgo de radiación externa, se dispondrá de un monitor de dosis.				
Todos los instrumentos de control se calibrarán cuando se utilicen por primera vez y después de reparaciones o servicios importantes.				
Los monitores de dosis se calibrarán a intervalos anuales. La calibración debe ser trazable a un estándar nacional para la radiación ionizante.				
Los monitores de tasa de recuento se calibrarán a intervalos de cinco años. La calibración debe ser trazable a un estándar nacional para la radiación ionizante.				
La eficacia de los monitores de tasa de recuento se probará con una fuente de control estándar a intervalos anuales.				
Se mantendrán los registros de la fecha y los resultados de todas las calibraciones del monitor y las pruebas de eficiencia.				

LISTA DE VERIFICACIÓN 5: ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS RADIATIVAS

Artículo	C	NC	NA	Comentario
Las sustancias radiactivas se almacenarán por separado de las sustancias no radiactivas.				
El almacén se mantendrá bloqueado, excepto cuando las sustancias radiactivas se transfieran dentro o fuera de la tienda.				
El almacén se ubicará para minimizar el riesgo de inundaciones y otros peligros naturales o artificiales. Si existe alguna posibilidad de inundación accidental, se prevé que todas las sustancias se almacenen por encima del nivel del suelo y que se drene el agua.				
El almacén estará construido con materiales duraderos y resistentes al fuego.				
Las superficies interiores del almacén se construirán con materiales que puedan descontaminarse fácilmente.				
El almacén estará adecuadamente protegido para garantizar que los niveles de radiación fuera de la tienda en lugares accesibles para las personas de la exposición profesional no excedan de 20 μ Sv/h.				
Se mostrará una señal de advertencia de radiación en la entrada del almacén. El signo de advertencia mostrará el símbolo de trefoil de radiación en negro sobre un fondo amarillo. Deberá elegirse una redacción adecuada para advertir adecuadamente el peligro de que se trate.				
El almacén estará provisto de bandejas de vertidos en las que se colocarán los recipientes de sustancias radiactivas líquidas. Cada bandeja deberá tener volumen suficiente para conservar la totalidad del contenido de los contenedores de la bandeja y permitir su recuperación.				
Artículo	C	NC	NA	Comentario
El almacén estará provisto de un sistema de extracción de aire si se emiten gases o vapores radiactivos de las sustancias que se encuentran en el almacén.				
Todos los recipientes de sustancias radiactivas (incluidos los residuos) se etiquetarán con los siguientes detalles: radionúclidos, actividad y descripción del contenido, forma física, forma química y material encapsulante.				
Se tendrán en cuenta cualquier otro requisito de almacenamiento físico, químico o biológico de la sustancia.				

LISTA 6: SUSTANCIAS RADIATIVAS SELLADAS

Artículo	C	NC	NA	Comentario
Cuando no estén en uso, las fuentes selladas se almacenarán en una contención segura y adecuadamente blindada, que llevará el símbolo de la lámina de radiación.				
Cada fuente sellada o su contención estarán claramente etiquetadas para mostrar la actividad de la fuente y la naturaleza, y se numerarán en serie o se identificarán de otro modo para distinguirla de otras en el mismo laboratorio.				

Artículo	C	NC	NA	Comentario
Un registro de cada fuente sellada será guardado por una persona responsable y estos registros se revisarán al menos anualmente o cuando se realicen cambios. El expediente incluirá lo siguiente: (a) El número de serie u otra identificación de cada fuente. (b) La naturaleza física de la fuente, el radionúclido, la fecha de recepción y la actividad en el momento de la recepción. (c) Todos los movimientos o transferencias de la fuente. (d) La fecha y la forma de eliminación de la fuente.				
El oficial de seguridad radiológica o la persona responsable estará convencido de que cada fuente sellada se contabiliza satisfactoriamente mediante una auditoría periódica y se llevará un registro de la auditoría.				
Cada fuente sellada o su carcasa se examinarán en busca de contaminación y la integridad de su sellado, es decir, mediante pruebas de barrido o frotis de cada fuente a intervalos anuales.				
Las pruebas de fugas se realizarán a intervalos de 10 años y siempre que se sospeche una fuga. Las pruebas de fugas se realizarán de acuerdo con la norma ISO 9978.				
Las fuentes selladas se manipularán por medios remotos, como fórceps, pinzas largas, cables de accionamiento o dispositivos similares.				

LISTA 11: UNIDADES DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL DE RAYOS-X

Artículo	C	NC	NA	Comentario
El tubo de rayos X deberá estar contenido en una carcasa que proporcione protección contra la radiación en todas las direcciones que no sean la dirección del haz.				
Se instalará un interruptor de llave en el panel de control de rayos X para evitar el uso no autorizado. La llave sólo será desmontable cuando el interruptor esté en posición de apagado. La función del interruptor de teclas y las posiciones de encendido y apagado se marcarán claramente en el panel de control.				
Los controles de encendido y apagado de los rayos X se separarán físicamente del interruptor de llave. Su función, así como las posiciones de encendido y apagado, estarán claramente marcadas en el panel de control.				
En el panel de control se instalará una lámpara indicadora roja o ámbar que se iluminará automáticamente cuando se energicen el tubo de rayos X. Esta lámpara se duplicará en la carcasa del tubo de rayos X y funcionará en paralelo con su contraparte en el panel de control.				
Deberá facilitarse un enclavamiento de modo que, si falla cualquiera de las luces indicadoras de «viga encendida», no se puede energizar el tubo de rayos X y la sustitución de la lámpara no reactivará automáticamente el tubo de rayos X.				
El panel de control estará equipado con un dispositivo o dispositivos que indiquen la energía y la salida del haz de rayos X en términos de la diferencia potencial del tubo de rayos X (kV(pico)) y la corriente (mA) o la energía y la tasa de dosis de electrones, según proceda.				

Los equipos de rayos X que se utilicen para la fluoroscopia de visualización directa estarán protegidos de modo que en ningún momento durante la exposición la tasa de dosis en cualquier posición accesible supere los 25 μ Sv/h.				
Los dispositivos de imagen fluoroscópica se colocarán de manera que el haz de rayos X primario esté totalmente interceptado y la configuración de exposición esté dispuesta de manera que no sea posible insertar ninguna parte del cuerpo de ninguna persona en el haz.				
Las unidades de radiografía industrial de rayos X se inspeccionarán a intervalos regulares y se probarán para garantizar que todos los enclavamientos, persianas y mecanismos de control funcionen eficazmente y que ningún componente esté inaceptablemente desgastado o dañado.				
Artículo	C	NC	NA	Comentario
Se mantendrá un registro de todos los informes de inspección y los detalles de las reparaciones de la unidad.				
El personal designado para operar unidades de radiografía industrial recibirá una formación adecuada y tendrá un conocimiento adecuado de los peligros asociados con el equipo.				
Los dosímetros de la placa de película o los dosímetros luminiscentes térmicos (TLD) se utilizarán para determinar la exposición a la radiación personal.				
Se utilizará un monitor de radiación, de respuesta energética adecuada, para controlar los niveles de radiación en las proximidades de una unidad de rayos X de radiografía industrial siempre que la unidad esté energizada.				
El monitor de radiación deberá disponer de un rango de medición suficiente para medir los niveles de radiación al menos en los intervalos de 1 Sv/h o su equivalente a 10 mSv/h o su equivalente.				
Los sitios de radiografía se identificarán claramente como cerrados total o parcialmente mediante el uso de avisos de advertencia en el perímetro y en los puntos de acceso. Deberá proporcionarse una luz de advertencia que se ilumine durante la exposición y que sea claramente visible desde el exterior del recinto.				
Deberá construirse un sitio de radiografía totalmente cerrado de modo que, con las puertas de acceso o los puertos cerrados, las paredes, el suelo y el techo que rodean el emplazamiento formen un cerramiento de blindaje completo.				
Se proporcionará un sitio de radiografía totalmente cerrado con dispositivos de advertencia visibles y audibles dentro de la carcasa que se activarán durante la exposición.				
Se construirá un sitio de radiografía X parcialmente cerrado con muros de al menos 2,1 m de altura.				
Artículo	C	NC	NA	Comentario
Se proporcionará un sitio de radiografía parcialmente cerrado con dispositivos de advertencia visibles y audibles que se activarán durante la exposición y que puedan verse y oírse tanto dentro como fuera del recinto.				
Se proporcionará un sitio de radiografía parcialmente cerrado con un medio de salida adecuado para permitir que cualquier persona que se encierre accidentalmente abandone el recinto sin demora.				
El blindaje asociado a un sitio de radiografía total o parcialmente cerrado será suficiente para garantizar que en ningún momento durante la exposición la tasa de dosis fuera de la carcasa supere los 20 μ Sv/h medidos 5 cm de cualquier superficie accesible.				

Las puertas y paneles que cubran las aberturas de acceso a un sitio de radiografía-X total o parcialmente encerrado deberán superponerse a dichas aberturas con un margen suficiente para evitar fugas de radiación dispersa del recinto.				
Los conductos para alimentar el cableado, la energía eléctrica u otros servicios a través de las paredes de un sitio de radiografía total o parcialmente cerrado, incorporarán una pata de perro o deflector que no deje ninguna abertura de línea de visión a través de las paredes a la fuente de radiación, de modo que la integridad del blindaje contra la radiación de las paredes no se ve afectada.				
Los enclavamientos se instalarán en todos los puntos de acceso para activar una alarma visible y audible si se abre algún enclavamiento durante la exposición. La apertura de un enclavamiento durante la exposición provocará automáticamente la interrupción de la fuente de alimentación del equipo de rayos X o del tubo de rayos X, y el posterior cierre de este enclavamiento no reactivará automáticamente el tubo de rayos X.				

Fuente: AS 2243.3, 1998.

Anexo 6. Lista de verificación del TECDOC-1526 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para radiografía industrial

Lista de verificación del TECDOC-1526 del OIEA

Área: _____

Departamento al que pertenece: _____

Personal Contactado: _____

Aplicador: _____

Fecha: ____/_____/20____

Radiografía Industrial

Historial de incidentes/sucesos

Incumplimientos y otras cuestiones de seguridad (qué, cuándo, dónde y quién)

Ítem	Sí	No	Observaciones
1. Formación e instrucción de los trabajadores.			
1.1 ¿Tienen todos los radiógrafos industriales un nivel apropiado de formación?			
1.2 ¿Tienen todos los ayudantes de radiografía industrial un nivel apropiado de formación?			
1.3 ¿Se imparte periódicamente formación actualizada en seguridad radiológica?			
1.4 ¿Están supervisados en todo momento los ayudantes de radiografía por una persona competente?			
1.5 ¿Se llevan registros de la formación de todos los trabajadores?			
1.6 ¿Demuestran las entrevistas con los radiógrafos industriales y sus ayudantes que poseen un nivel adecuado de comprensión de las normas			

del trabajo en seguridad y los procedimientos de emergencia (por ejemplo, de la recuperación de las fuentes)?			
1.7 ¿Demuestra la conversación con el OPR que éste tiene conocimientos suficientes del órgano regulador, el certificado de autorización, la legislación, las condiciones, los procedimientos del trabajo en seguridad, etc.?			
1.8 ¿Tiene el OPR suficientes recursos (tiempo, personal) y facultades (para adoptar con independencia medidas que solucionen problemas de seguridad urgentes) para desempeñar correctamente sus funciones?			
2. Auditorías y exámenes internos.	Sí	No	Observaciones
2.1 ¿Examina el explotador el programa de protección radiológica a los intervalos apropiados?			
2.2 ¿Se llevan a cabo, a los intervalos apropiados, auditorías de las instalaciones, el inventario de las fuentes, las normas de trabajo y los procedimientos de emergencia?			
Frecuencia			
2.3 ¿Realiza regularmente el explotador auditorías de los empleados que trabajan en emplazamientos sobre el terreno?			
Auditorías realizadas por			
2.4 ¿Se llevan registros de los exámenes y las auditorías del programa?			
3. Instalaciones y equipo.	Sí	No	Observaciones
En los principales locales autorizados,			
3.1 ¿Son las instalaciones tal y como se describen en la solicitud de autorización?			
3.2 ¿Está limitado el acceso a las fuentes de radiación solo a las personas autorizadas?			
3.3 ¿Están protegidas correctamente las fuentes de radiación para impedir su remoción no autorizada?			
3.4 ¿Se lleva y se mantiene al día un registro de las fuentes (x y gamma) y de sus desplazamientos?			
3.5 ¿Es seguro el almacén de fuentes de radiación (de todos los tipos)?			
3.6 ¿Tiene el almacén de fuentes radiactivas las pertinentes señales de advertencia (en el idioma del lugar)?			
3.7 ¿Son suficientes las medidas de protección contra incendios?			
3.8 ¿Se emplean métodos adecuados para impedir que personas no autorizadas penetren en los recintos destinados a la radiografía?			
3.9 ¿Se dispone de equipo de emergencia apropiado para recuperar las fuentes atoradas, etc.?			
En el emplazamiento sobre el terreno inspeccionado,			
3.10 ¿Se utilizan métodos suficientes para impedir que personas no autorizadas penetren en las zonas de irradiación?			
3.11 ¿Está limitado el acceso a la zona de irradiación solo a las personas autorizadas?			
3.12 ¿Están protegidas correctamente las fuentes de radiación para impedir su remoción no autorizada?			
3.13 ¿Es seguro el almacén transitorio de fuentes de radiación?			
3.14 ¿Tiene el almacén de fuentes radiactivas las pertinentes señales de advertencia (en el idioma del lugar)?			
3.15 ¿Son suficientes las medidas de protección contra incendios?			
3.16 ¿Se dispone de equipo de emergencia apropiado para recuperar las fuentes atoradas, etc.?			
4. Fuentes de radiación.	Sí	No	Observaciones

4.1 ¿Son las fuentes de radiación y sus utilizaciones conformes a la autorización?			
4.2 ¿Se realizan periódicamente pruebas de detección de fugas en las fuentes selladas (que no sean las que se sustituyen frecuentemente, como las de Ir 192)? Por ejemplo, ¿las fuentes de control de tipo "crawler" de Cs 137, Co 60, etc.?			
4.3 ¿Se lleva un inventario de las fuentes selladas?			
4.4 ¿Dónde se envían para su disposición final las fuentes de radiación desintegradas (por ejemplo, Ir 192)?			
4.5 ¿Se llevan registros de las pruebas de detección de fugas y del inventario?			
4.6 ¿Se somete los contenedores de las fuentes, el equipo de rayos X y las fuentes de control tipo "crawler" a pruebas periódicas para asegurarse de que las características del diseño y de funcionamiento cumplen los requisitos de la CEI y la ISO u otros requisitos del órgano regulador?			
4.7 ¿Se proporcionan dispositivos de colimación con cada fuente de radiación (x y γ) y se utilizan siempre que es posible?			
Si la respuesta es positiva, ¿con qué frecuencia; por quién; fecha de la prueba más reciente?			
Contenedores de fuentes radiactivas:			
4.8 ¿están etiquetados correctamente (como radiactivos, con los detalles de la fuente que contienen, instrucciones para contactos)?			
4.9 ¿Tienen cerraduras de llave y, si no se van a utilizar inmediatamente, están cerrados con llave?			
4.10 ¿Cumplen los requisitos sobre longitud mínima de los cables de enrollado y entrega?			
4.11 ¿Se los somete a pruebas de desgaste, desconexión de las fuentes y a procedimientos de mantenimiento de conformidad con los requisitos del fabricante?			
Equipo de rayos X,			
4.12 ¿Se maneja con un conmutador?			
4.13 ¿Cumple los requisitos sobre longitud mínima de los cables de conexión?			
4.14 ¿Está equipado con un sistema de filtrado adecuado para la tarea?			
4.15 Para el equipo tipo "crawler", ¿está equipado con el pertinente dispositivo de alerta de exposición (por ejemplo, una bocina)?			
4.16 Para el equipo tipo "crawler", ¿está equipado con un interruptor de seguridad que se active antes de retirar el equipo de la tubería?			
4.17 ¿Lleva el OPR registros de las pruebas, la conformidad y el mantenimiento?			
5. Recepción y transferencia de las fuentes de radiación	Sí	No	Observaciones
5.1 ¿Existen y se aplican procedimientos para la apertura de los bultos radiactivos?			
5.2 ¿Se examinan antes de abrirlos los bultos radiactivos que llegan para verificar si están dañados, las tasas de las dosis y su posible contaminación radiactiva?			
5.3 ¿Existen procedimientos satisfactorios para la disposición final de las fuentes de radiación que ya no se necesitan? Por ejemplo, ¿la disposición final solo a las personas autorizadas; la notificación al órgano regulador, ¿etc.?			

5.4 ¿Se llevan registros de los exámenes de los bultos, la recepción y la transferencia de las fuentes?			
6. Estudios radiológicos de una zona	Sí	No	Observaciones
6.1 ¿Posee el explotador instrumento(s) de examen apropiado(s) y que funciona(n), adecuado(s) para la detección y la medición de radiación x y/o gamma, según proceda?			
6.2 ¿Realiza el explotador controles del funcionamiento correcto de los instrumentos antes de utilizarlos?			
6.3 ¿Se efectúan de modo habitual calibraciones de los medidores de reconocimiento?			
6.4 ¿Realiza la calibración de los medidores de reconocimiento un servicio aprobado?			
Nombre del servicio			
6.5 ¿Hay suficientes medidores de reconocimiento en estado de funcionar para cada operación de radiografía? (es decir, para cada equipo de radiógrafo industrial y su ayudante)			
6.6 ¿Se controla a los intervalos adecuados el comportamiento de los dosímetros de bolsillo de lectura directa?			
6.7 ¿Hay bastantes dosímetros de bolsillo de lectura directa en estado de funcionar para todos los trabajadores de radiografía?			
6.8 ¿Se efectúan estudios de las tasas de exposición de la zona con los intervalos adecuados?			
6.9 ¿Es patente que los trabajadores utilizan siempre un medidor de reconocimiento al concluir cada exposición para confirmar que se ha devuelto la fuente radiactiva a su contenedor?			
6.10 ¿Se efectúan los reconocimientos obligatorios de la contaminación removible?			
6.11 ¿Se llevan registros de las calibraciones, los reconocimientos de la contaminación, etc.?			
7. Monitorización radiológica del personal	Sí	No	Observaciones
7.1 ¿Proporciona el explotador dosímetros personales a todos los trabajadores con radiación?			
7.2 ¿Es el suministrador de los dosímetros un proveedor autorizado?			
Nombre del proveedor			
7.3 ¿Son los dosímetros que se proporcionan adecuados para el tipo y la energía de la radiación?			
7.4 ¿Se cambian los dosímetros en el plazo prescrito?			
7.5 ¿Examina con prontitud el OPR los informes de dosimetría?			
7.6 ¿Es patente que los trabajadores llevan los dosímetros personales?			
7.7 ¿Se informa a cada trabajador de los resultados de su monitoreo cuando se reciben los informes de monitoreo (sea cual fuere la dosis medida)?			
7.8 ¿Aplica el explotador el principio de optimización (ALARA) a la exposición ocupacional?			
7.9 ¿Se llevan registros del monitoreo del personal (dosímetros de bolsillo de lectura directa y dosímetros personales)?			
7.10 ¿Es aceptable la concordancia de los resultados dosimétricos de ambos sistemas?			
8. Transporte de las fuentes radiactivas	Sí	No	Observaciones
8.1 ¿Cumple el transporte de los materiales radiactivos (del proveedor, por el explotador) el reglamento del OIEA?			
8.2 ¿Se utilizan bultos aprobados?			

8.3 ¿Están los bultos etiquetados y marcados correctamente?			
8.4 Los vehículos del proveedor, si se utilizan para el transporte, ¿cumplen los reglamentos?			
8.5 ¿Contiene el formulario de declaración del remitente los pormenores correctos y se utiliza cuando se envían fuentes?			
9. Notificaciones e informes	Sí	No	Observaciones
9.1 ¿Se ha realizado algún cambio en el programa para el que fuese necesaria (pero no se haya recibido) la aprobación del órgano regulador?			
9.2 ¿Se ha producido desde la inspección anterior algún incidente o accidente del que hubiese habido que dar parte?			
Si la respuesta es afirmativa, ¿se ha notificado al órgano regulador? (<i>Si no, anótense los incidentes o accidentes en Observaciones</i>)			
9.3 ¿Se ha efectuado algún cambio estructural, o de otro tipo, relacionado con la seguridad de importancia en las instalaciones principales o en los dispositivos radiológicos sin aprobación del órgano regulador?			
Si la respuesta es afirmativa, ¿efectuó un experto cualificado una evaluación de la seguridad?			
10. Señales de advertencia y etiquetado	Sí	No	Observaciones
10.1 ¿Tienen las zonas controladas, comprendidos los emplazamientos sobre el terreno (si proceden en la presente inspección), las oportunas barreras y señales de advertencia (en el idioma del lugar)?			
10.2 ¿Están etiquetados correctamente los dispositivos que contienen fuentes de radiación?			
10.3 ¿Están los avisos a los trabajadores (en el idioma local) expuestos conforme a los reglamentos?			
10.4 ¿Están señaladas correctamente las zonas de alta radiación?			

Fuente: IAEA-TECDOC-1526, 2010.

Anexo 7. Lista de verificación del TECDOC-1526 del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para el irradiador gamma

Lista de verificación del TECDOC-1526 del OIEA

Área: _____

Departamento al que pertenece: _____

Personal Contactado: _____

Aplicador: _____

Fecha: ____/_____/20____

Irradiador

Historial de incidentes/sucesos

Incumplimientos y otras cuestiones de seguridad (qué, cuándo, dónde y quién)

Ítem	Sí	No	Observaciones
1. Formación e instrucción de los trabajadores			
1.1 ¿Se ha impartido formación inicial en seguridad a todo el personal sometido a exposición ocupacional?			
1.2 ¿Se imparte periódicamente formación actualizada en seguridad radiológica?			
1.3 ¿Supervisan correctamente a los trabajadores personas formadas adecuadamente?			
1.4 ¿Se llevan registros de la formación de todos los trabajadores?			
1.5 ¿Demuestran las entrevistas con los trabajadores que éstos poseen un nivel suficiente de comprensión de los procedimientos del trabajo en seguridad y de los procedimientos de emergencia?			
1.6 ¿Demuestra la conversación con el OPR que éste tiene conocimientos suficientes del órgano regulador, el certificado de			

autorización, la legislación, las condiciones de la autorización, los procedimientos del trabajo en seguridad, etc.?			
1.7 ¿Tiene el OPR suficientes recursos (tiempo, personal) y facultades (para adoptar con independencia medidas que solucionen problemas de seguridad urgentes) para desempeñar correctamente sus funciones?			
2. Auditorías y exámenes internos	Sí	No	Observaciones
2.1 ¿Examina el explotador el programa de protección radiológica a los intervalos apropiados?			
2.2 ¿Se llevan a cabo a los intervalos apropiados auditorías de las instalaciones, el inventario de las fuentes, las normas de trabajo, los procedimientos de emergencia?			
Auditorías realizadas por:			
Frecuencia:			
2.3 ¿Se llevan registros de los exámenes y las auditorías del programa?			
3. Instalaciones y equipo	Sí	No	Observaciones
3.1 ¿Son las instalaciones tal y como se describen en la solicitud de autorización?			
3.2 ¿Se somete el irradiador a pruebas periódicas para asegurar que las características de su diseño y su funcionamiento cumplen los requisitos de la CEI y la ISO u otros requisitos del órgano regulador?			
Si la respuesta es positiva, ¿por quién; fecha de la prueba más reciente?			
¿Abarcan esas pruebas?:			
- todos los aspectos del sistema que controla el acceso a la sala de irradiación y la salida de emergencia de ella (por ejemplo, un sistema de vida salva)			
- la indicación de la ubicación de las fuentes (o de haz "ACTIVADO")			
- el control de retorno de emergencia de la fuente (o haz "DESACTIVADO")			
- los detectores de calor/humo, el sistema de extinción de incendios			
- la evaluación de los posibles daños de la radiación al cableado eléctrico			
- la medición de la concentración del ozono, si hace falta?			
Para las fuentes radiactivas,			
- ¿la confirmación de que el sistema de circulación del agua es estanco?			
- ¿los indicadores de agua alta y agua baja del sistema de sustitución del agua de la piscina?			
- ¿la evaluación de los volúmenes de agua añadidos a la piscina para determinar si tiene fugas?			
- ¿la conductividad y el análisis del agua?			
3.3 ¿Realizan periódicamente operaciones de reparación y mantenimiento del irradiador el fabricante u otras personas autorizadas específicamente a hacerlo por el órgano regulador?			
Si la respuesta es afirmativa, nombre de organización, fecha de la operación de mantenimiento más reciente:			
3.4 ¿Se reparan sin demora los funcionamientos defectuosos y los defectos detectados durante las pruebas de inspección y mantenimiento?			
3.5 ¿Se controla adecuadamente el acceso a la(s) fuente(s) de radiación?			
3.6 ¿Están protegidas las fuentes radiactivas para impedir su remoción no autorizada?			

3.7 ¿Existen procedimientos adecuados para impedir que las personas no autorizadas penetren en las zonas controladas?			
3.8 ¿Es seguro el almacén de las fuentes radiactivas?			
3.9 ¿Tiene el almacén las pertinentes señales de advertencia (en el idioma del lugar)?			
3.10 ¿Es satisfactorio el nivel de protección contra incendios del almacén?			
3.11 ¿Lleva el OPR registros de las medidas de control, mantenimiento y seguimiento?			
4. Fuentes de radiación	Sí	No	Observaciones
4.1 ¿Se ajustan a la autorización las fuentes radiactivas de la instalación (radionucleidos, actividades y utilizaciones)?			
4.2 ¿Se ajustan a la autorización los demás irradiadores de la instalación (por ejemplo, aceleradores lineales, etc.)?			
4.3 ¿Se efectúan pruebas de detección de fugas de las fuentes selladas radiactivas en los intervalos prescritos?			
4.4 ¿Se realizan las pruebas de detección de fugas de conformidad con los procedimientos aprobados?			
4.5 ¿Se han detectado fugas en alguna fuente sellada radiactiva?			
Si la respuesta es afirmativa, ¿se adoptaron las medidas oportunas y se advirtió al órgano regulador?			
4.6 ¿Se llevan registros de las pruebas de detección de fugas y del inventario?			
5. Recepción y transferencia de las fuentes de radiación	Sí	No	Observaciones
5.1 ¿Existen y se aplican procedimientos para la apertura de los bultos radiactivos?			
5.2 ¿Se examinan antes de abrirlos los bultos radiactivos que llegan para verificar si están dañados, las tasas de las dosis y su posible contaminación radiactiva?			
5.3 ¿Existen procedimientos satisfactorios, si vienen al caso, para la disposición final de las fuentes de radiación que ya no se necesitan (por ejemplo, se confía la disposición final solo a las personas autorizadas; notificación al órgano regulador, ¿etc.)?			
5.4 ¿Se llevan registros de los exámenes de los bultos, la recepción de las fuentes y su transferencia?			
6. Estudios radiológicos de una zona y control de la contaminación.	Sí	No	Observaciones
6.1 ¿Posee el explotador, medidores de reconocimiento apropiados y que funcionan?			
6.2 ¿Se realizan los apropiados controles del funcionamiento de los medidores de reconocimiento antes de utilizarlos?			
6.3 ¿Se efectúan de modo habitual calibraciones de los medidores de reconocimiento?			
6.4 ¿Realiza la calibración de los medidores de reconocimiento un servicio aprobado?			
Nombre del servicio			
Fecha de la calibración más reciente			
6.5 ¿Se efectúan estudios de las tasas de exposición de la zona con los intervalos adecuados?			
6.6 ¿Se tienen y utilizan medidores de conductividad apropiados y que funcionan?			

6.7 ¿Se calibran los medidores de conductividad a los intervalos apropiados?			
6.8 ¿Son la ubicación, la sensibilidad y el funcionamiento del monitor de radiación fijo satisfactorios para detectar fuentes que pueda llevar el sistema transportador de productos?			
6.9 ¿Son satisfactorios la ubicación, la sensibilidad y el funcionamiento del monitor (o monitores) fijo(s) utilizado(s) para detectar la presencia de niveles elevados de radiación en la sala de irradiación?			
6.10 ¿Son satisfactorios el funcionamiento y la sensibilidad del monitor (o monitores) utilizado(s) para detectar la contaminación del agua de la piscina a causa de una fuente que tiene fugas?			
6.11 ¿Se controla ordinariamente y a los intervalos prescritos el funcionamiento de todos los monitores?			
6.12 ¿Se llevan registros de las calibraciones, las pruebas, los estudios y reconocimientos, las mediciones de conductividad, etc.?			
7. Monitorización radiológica del personal	Sí	No	Observaciones
7.1 ¿Proporciona el explotador dosímetros personales a todos los trabajadores con radiación?			
7.2 ¿Es el suministrador de los dosímetros un proveedor autorizado?			
Nombre del proveedor			
7.3 ¿Son los dosímetros que se proporcionan adecuados para el tipo y la energía de la radiación?			
7.4 ¿Se cambian los dosímetros en el plazo prescrito?			
7.5 ¿Examina con prontitud el OPR los informes de dosimetría?			
7.6 ¿Es patente que los trabajadores llevan los dosímetros personales?			
7.7 ¿Se informa a cada trabajador de los resultados de su monitoreo cuando se reciben los informes de monitoreo (sea cual fuere la dosis medida)?			
7.8 ¿Aplica el explotador el principio de optimización (ALARA) a la exposición ocupacional			
7.9 ¿Se llevan registros del monitoreo del personal?			
8. Transporte de las fuentes radiactivas	Sí	No	Observaciones
8.1 ¿Cumple el transporte de los materiales radiactivos (del proveedor, por el explotador) el reglamento del OIEA?			
8.2 ¿Se utilizan bultos aprobados?			
8.3 ¿Están los bultos etiquetados y marcados correctamente?			
8.4 Los vehículos del proveedor, si se utilizan para el transporte, ¿cumplen los reglamentos?			
8.5 ¿Contiene el formulario de declaración del remitente los pormenores correctos y se utiliza cuando se envían fuentes?			
9. Notificaciones e informes	Sí	No	Observaciones
9.1 ¿Se ha realizado algún cambio en el programa para el que fuese necesaria (pero no se haya recibido) la aprobación del órgano regulador?			
9.2 ¿Se ha efectuado algún cambio estructural, o de otro tipo, relacionado con la seguridad de importancia en las instalaciones o el equipo de rayos X sin aprobación del órgano regulador?			
Si la respuesta es afirmativa, ¿efectuó un experto cualificado una evaluación de la seguridad?			
10. Señales de advertencia y etiquetado	Sí	No	Observaciones

10.1 ¿Tienen las zonas controladas las oportunas señales de advertencia (en el idioma del lugar)?			
10.2 ¿Están etiquetados convenientemente los contenedores de material radiactivo (con advertencias de peligro en el idioma local)?			
10.3 ¿Están expuestos conforme a la reglamentación los avisos a los trabajadores?			
10.4 ¿Están señaladas correctamente las zonas de alta radiación?			

Fuente: IAEA-TECDOC-1526, 2010.

Anexo 8. Lista de verificación de la OSHA 3132: Gestión de la seguridad en los procesos

Lista de verificación de la OSHA 3132

Área: _____

Departamento al que pertenece: _____

Aplicador: _____

Fecha: ___/___/20___

Condición General de cumplimiento	Si	No	Observaciones
A. Información de Seguridad del Proceso			
A.1 ¿La empresa ha compilado por escrito la información de seguridad de los procesos?			
A.2 ¿Se usa esa información en los procesos de análisis de riesgos?			
A.3 ¿Se cuenta con los datos físicos de las sustancias químicas?			
A.4 ¿Se cuenta con información de las sustancias químicas peligrosas?			
A.5 ¿Cumplen las hojas MSDS con lo requerido por OSHA?			
A.6 ¿Se cuenta con diagramas de flujo del proceso?			
A.7 ¿Está disponible la información sobre los sistemas de seguridad?			
B. Procedimientos de Operación	Sí	No	Observaciones
B.1 ¿Cuenta la empresa con procedimientos de operación escritos?			
B.2 ¿Se proporcionan instrucciones claras para la realización de actividades?			
B.3 ¿Los procedimientos abordan al menos los siguientes elementos:			
Primera puesta en marcha			
Operaciones normales			
Operaciones temporales			
Operaciones de emergencia			
Puesta en marcha después de una parada de emergencia o por otra causa			
Consideraciones de seguridad y salud asociados a las sustancias y equipo			
Precauciones que deben seguirse para evitar exposición			
Medidas de control ingenieril, administrativas y de protección personal			
Control de residuos peligrosos			
Sistemas de seguridad (enclavamiento, detección, supresión)			
B.4 ¿Los procedimientos de operación son fácilmente accesibles a los empleados?			
B.5 ¿Los procedimientos de operación son revisados frecuentemente?			

B.6 ¿Se certifica anualmente que los procedimientos de operación están actualizados?			
B.7 ¿Estos procedimientos los aplican los empleados y contratistas?			
C. Participación y entrenamiento de empleados	Sí	No	Observaciones
C.1 ¿Cuentan los empleados con facilidades para el control de los riesgos a los que exponen?			
C.2 ¿Cuenta la empresa con capacitaciones para inducir al nuevo empleado sobre los procedimientos de trabajo y normas de seguridad?			
C.3 ¿Se realizan capacitaciones cuando hay cambios en el proceso?			
C.4 ¿Se realizan capacitaciones de refrescamiento de los procesos de la empresa?			
C.5 ¿Las capacitaciones de repaso se realizan cada tres años o menos?			
C.6 ¿Se mantiene un control por escrito sobre las capacitaciones realizadas?			
C.7 ¿Se cuenta con un expediente que contenga la identificación del empleado, la fecha del adiestramiento y los medios usados para verificar que el empleado entendió?			
D. Contratistas	Sí	No	Observaciones
D.1 ¿Se establecen requisitos de seguridad para la selección de contratistas?			
D.2 ¿Se solicita a los contratistas un programa de seguridad escrito y personal competente?			
D.3 ¿Se asegura la empresa de que las empresas contratista:			
Entrenen a su personal en las prácticas de seguridad requeridas			
Aseguren que sus empleados aseguran de que conocen los riesgos de incendios y explosión			
Cuenten con un plan de emergencia			
Muestren un documento donde sus empleados han comprendido el entrenamiento			
D.4 ¿Se comunica a los contratistas los principales peligros de las áreas donde trabajarán?			
D.5 ¿Se comunica a los contratistas las principales normas de seguridad que deben cumplir?			
E. Integridad mecánica	Sí	No	Observaciones
E.1 ¿Están establecidos, implementados y escritos los procedimientos para mantener la integridad de los equipos críticos para el proceso?			
E.2 ¿Se realiza el mantenimiento periódico de bombas, tuberías, sistemas de alarma?			
E.3 ¿Se verifica que el equipo esté instalado correctamente?			
E.4 ¿El personal es entrenado con una visión general del proceso?			
E.5 ¿La frecuencia de las inspecciones y pruebas están acorde con lo recomendado por el fabricante?			
E.6 ¿Se corrigen las deficiencias detectadas antes de que usen los equipos nuevamente?			
E.7 ¿Cuentan con especificaciones mínimas de calidad para los equipos a adquirir?			
E.8 ¿Cuentan con especificaciones mínimas de calidad para la construcción de nuevas instalaciones			

E.9 ¿Se cuenta con procedimientos para verificar que los equipos e instalaciones cumplen con las especificaciones de diseño e instalación?			
F. Administración de Cambios	Sí	No	Observaciones
F.1 ¿La salud y seguridad de los trabajadores es evaluada profundamente cuando se hace un cambio en un proceso?			
F.2 ¿Se cuenta con un procedimiento escrito para la gestión de cambios en los procesos?			
F.3 ¿Estos procedimientos aseguran que antes de cualquier modificación se contemple?:			
La base técnica de la modificación propuesta			
Impacto del cambio sobre la salud y seguridad del trabajador			
Modificaciones en los procedimientos de operación			
Período de tiempo necesario para el cambio			
Requisitos de autorización para el cambio propuesto			
F.4 ¿Los cambios realizados en el proceso son debidamente informados a los trabajadores?			
F.5 ¿Se realizan los entrenamientos necesarios para que los trabajadores conozcan y realicen correctamente el nuevo procedimiento?			
G. Investigación de incidentes.	Sí	No	Observaciones
G.1 ¿Se investiga a profundidad todos los incidentes?			
G.2 ¿Las investigaciones de incidentes se realizan dentro de las 48 horas posteriores a su ocurrencia?			
G.3 ¿En el equipo de investigación de incidentes debe haber al menos una persona con conocimiento pleno del proceso?			
G.4 ¿Cuándo el incidente es de un contratista se incorpora al equipo un representante?			
G.5 ¿El informe de accidente incluye fecha del incidente y de la investigación, descripción de hechos, factores que contribuyeron y recomendaciones?			
G.6 ¿Se cuenta con un sistema de seguimiento de las recomendaciones?			
G.7 ¿Los trabajadores involucrados en el proceso del incidente tiene acceso a las conclusiones y recomendaciones del informe de investigación?			
G.8 ¿Se cuenta con un registro documental de las investigaciones de incidentes?			
H. Planificación y respuesta de emergencia.	Sí	No	Observaciones
H.1 ¿Se cuenta con plan de emergencias acorde con la normativa nacional?			
H.2 ¿Son entrenados los trabajadores para cumplir su función dentro del plan?			
H.3 ¿El plan contempla incidentes por pequeños derrames de químicos?			
H.4 ¿El plan contempla a los contratistas?			

Fuente: OSHA 3132, 2000.

Anexo 9. Guía para avalar una propuesta de capacitación ITCR

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Departamento de Recursos Humanos
Programa de Capacitación Interna

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Departamento de Recursos Humanos
Programa de Capacitación Interna

GUÍA PARA AVALAR UNA PROPUESTA DE CAPACITACIÓN

El Programa de Capacitación Interna, como parte de la Unidad de Desarrollo de Personal, es el ente encargado de otorgar o denegar el aval a un curso propuesto por un ente interno o funcionario activo, diferente de éste, para lo cual se analizará la pertinencia de la actividad, el programa y duración del mismo, las cualidades del facilitador entre otros aspectos.

De acuerdo con la reglamentación vigente para el reconocimiento de puntos en el Régimen de Carrera Profesional y Carrera de Apoyo a la Academia, en los reglamentos correspondientes, se establece que las actividades aceptadas a nivel de capacitación, deben ser promovidas, organizadas y/o avaladas por el Departamento de Recursos Humanos, lo cual hace necesaria la determinación del procedimiento a seguir, que fije las pautas y ayude a determinar si es posible ofrecer tal reconocimiento al proponente, o denegarla por ausencia de requisitos o por ser contradictoria a los intereses de la Institución.

REQUISITOS

1. El ente proponente de un evento de capacitación, presenta al Programa de Capacitación Interna, la solicitud formal de aval, previo al inicio de la misma con al menos **30 días hábiles**, cuando dicha solicitud no implique un proceso de contratación ante el Departamento de Aprovisionamiento. De existir la necesidad de hacer algún tipo de contratación: facilitador, tiquetes aéreos, hospedaje, libros, etc., la solicitud debe ser realizada con al menos **30 días hábiles**, esto con el fin de realizar los trámites necesarios ante el Departamento de Aprovisionamiento y otros entes involucrados.
2. La naturaleza de la capacitación deberá **ser afín al puesto que desempeñan los funcionarios** a quienes se dirige de manera que contribuya al crecimiento profesional. De igual forma, podrán ser inscritas propuestas que permitan el crecimiento personal de los funcionarios.
3. Con base en la información suministrada, el Programa de Capacitación Interna podrá ofrecer una respuesta positiva o negativa, de acuerdo con los intereses institucionales y objetivos de la capacitación al personal.
4. Si el Instructor propuesto es funcionario del ITCR, y desea que esta actividad le sea reconocida posteriormente para efectos de paso de categoría, debe impartirlo fuera de jornada laboral, o bien, presentar el correspondiente arreglo de horario en el cual se contemplen las horas que dedicará a la capacitación. El mismo debe contener el visto bueno del vicerrector respectivo y ser presentado previo al inicio de la capacitación.

Objetivo del curso:

< utilice este espacio para escribir >

5. La solicitud del aval debe acompañarse de:

GUÍA PARA AVALAR UNA PROPUESTA DE CAPACITACIÓN

a. Responsable de la actividad y Dependencia solicitante:

< utilice este espacio para escribir >

b. Tema o título de la actividad.

< utilice este espacio para escribir >

c. Descripción detallada de los contenidos del evento propuesto que permita al interesado definir si éstos son de su interés.

< utilice este espacio para escribir >

d. Nombre del Instructor designado (en caso de que no implique un proceso de contratación ante el Departamento de Aprovisionamiento):

- **Profesión del Instructor:**
- **Grado Académico:**
- **Experiencia certificada en ¿qué área?**
- **¿Cuántos años de experiencia?**

< utilice este espacio para escribir >

e. Duración en número de horas.

< utilice este espacio para escribir >

f. Período (especificar fechas), horario, tipo de aula.

< utilice este espacio para escribir >

g. Evaluación del curso, se debe detallar cada uno de los rubros a evaluar, o bien indicar si es de participación únicamente.

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Departamento de Recursos Humanos
Programa de Capacitación Interna

< utilice este espacio para escribir >

h. Población meta, por ejemplo: Investigadores, Personal de Apoyo a la Academia, Personal Secretarial, Directores, entre otros:

Indicar cantidad de participantes:

< utilice este espacio para escribir >

i. Requisitos del participante:

< utilice este espacio para escribir >

j. Requerimiento solicitado al Programa de Capacitación Interna. Indique lo necesario.

I. Contratación del facilitador

<Indique el monto >

k. Rubros asumidos por otros entes diferentes al Programa de Capacitación Interna

< utilice este espacio para escribir >

l. Aporte económico / humano asumido por el ente organizador proponente.

< utilice este espacio para escribir >

Fuente: Departamento de Recursos Humanos ITCR, 2020.