



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Unidad Xochimilco

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN SALUD DE LOS TRABAJADORES

**EVALUACIÓN DE LA SALUD LABORAL Y SEGURIDAD
RADIOLÓGICA EN UN SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR EN
LA CIUDAD DE MÉXICO, 2022.**

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS
QUE PRESENTA

YADIRA IVETH PABLO HERNÁNDEZ

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN SALUD DE LOS TRABAJADORES

Directores:

Dr. Jesús Gabriel Franco Enríquez

Dr. Enrique Gaona

Asesor: M. en C. Edgar Omar Rodríguez Rojas

Febrero, 2024.

A mis padres, por su invaluable apoyo y cariño.

*A mis hermanas, por todo el amor,
la inspiración y la fortaleza que me dan.
por ser mis amigas y mi luz.*

*A Layla y Duque, porque su sola
existencia ilumina mis días,
por su amor y cariño incondicional.*

*A Luis, por tanto amor y acompañarme
en los últimos años; confiando siempre
en mí y alentarme a lograr todo lo que deseo.*

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Metropolitana, por recibirme en sus aulas y ser un espacio de formación académica de gran valor y calidad.

Al Dr. Jesús Gabriel Franco Enríquez, por su interés en formarme en el camino de la investigación y su confianza para desarrollar mi tesis bajo su dirección. Gracias por los conocimientos compartidos.

Al Dr. Enrique Gaona, por compartir su vasto conocimiento y experiencia a través de su asesoría y observaciones, por el tiempo y empeño dedicado a la lectura y revisión de este trabajo. Gracias por facilitarme un espacio para la realización de esta evaluación.

Al M. en C. Edgar Omar Rodríguez Rojas, por el apoyo, la asesoría y la confianza brindadas. Por todo el tiempo y la disposición para compartir sus conocimientos con humildad, siempre dispuesto a resolver dudas y guiarme en esta tesis.

A la Dra. Mireya Zamora, por compartir sus conocimientos y el tiempo dedicado a la lectura de este trabajo.

Al servicio de medicina nuclear, y desde luego a sus trabajadores, que me abrieron las puertas de sus instalaciones y me permitieron conocer su espacio y proceso de trabajo. Su colaboración y disposición es invaluable.

A todos mis compañeros de maestría, porque en ellas y John encontré un gran grupo de apoyo y trabajo. Compartir esta etapa de mi vida con ustedes ha sido una invaluable experiencia. Gracias por su calidez, apoyo y amistad. Agradezco con cariño a: Maru, Joca, Diana, Cintia, Jonathan y, especialmente a Deirler.

A todos los profesores de la maestría, por compartirme su visión y sensibilizarme sobre el valor y la relevancia de la salud de los trabajadores. Expreso también mi agradecimiento a todos los profesores que han aportado a mi formación académica a lo largo de mi vida.

Al CONACYT, por la beca otorgada que hicieron posible mi dedicación de tiempo completo.

Resumen

La medicina nuclear (MN) es una especialidad médica que usa radiofármacos para diagnosticar y tratar enfermedades. Las imágenes de MN aportan información metabólica y funcional que otros estudios no proporcionan. En México hay 145 establecimientos de medicina nuclear y 221 médicos especialistas en MN. Su operación requiere: un médico nuclear, un encargado de seguridad radiológica, personal técnico y de enfermería (en algunos casos). Su trabajo implica diversos riesgos laborales derivados del uso de instrumental, fármacos, radioisótopos y el contacto con los pacientes. Uno de los riesgos predominantes es la exposición a radiaciones ionizantes. Además, conlleva la posibilidad de exponerse a: agentes biológico-infecciosos, factores de riesgo psicosocial, ergonómicos, etc.

El propósito de este trabajo fue evaluar la salud laboral de un servicio de MN en un hospital público mediante una metodología holística para identificar las condiciones generales de trabajo y determinar si se cumplen los lineamientos de seguridad radiológica requeridos por el marco legal mexicano. También se realizó una propuesta con medidas correctivas o preventivas.

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y transversal aplicando una adaptación del modelo PROVERIFICA para el servicio de MN. Este recaba información mediante tres instrumentos: i) Cédula de Información General de la Empresa (CIGE); ii) Diagramas Complejos de Salud en el Trabajo (DCST) y iii) Cuestionario de Verificación (CV). Los resultados se sustentan en la revisión documental y el cálculo de índices y el Porcentaje de Eficacia (PE). Dichos cálculos se realizaron con Excel 2019.

Se aplicaron siete capítulos del CV conformados por 452 preguntas de las cuales 398 obtuvieron una respuesta positiva (88.05%). El establecimiento cumple con la mayoría de los aspectos evaluados, 47 requerimientos se cumplen de manera parcial. Los resultados del CV indicaron de manera global un PE=93.3%, correspondiente a un nivel de eficacia bueno. Los capítulos relacionados con la aplicación de las medidas y disposiciones de seguridad radiológica obtuvieron los PE más altos (> 90 %); sin embargo, en los capítulos relacionados a la salud laboral el cumplimiento fue, en su mayoría, parcial.

El proceso de trabajo está compuesto por 6 fases: inspección inicial, recepción, administración del radiofármaco, estudio, egreso e inspección final. El riesgo predominante es la exposición a radiaciones ionizantes, las fases de mayor exposición son: recepción, administración

y realización del estudio. Pero, no se considera que representen un riesgo para su salud. También se visibilizó la posibilidad de desarrollar trastornos musculoesqueléticos o infecciones virales.

Palabras clave: Medicina nuclear, riesgos laborales, evaluación, salud laboral, seguridad radiológica.

Abstract

Nuclear medicine (NM) is a medical specialty that uses radiopharmaceuticals to diagnose and treat disease. NM images provide metabolic and functional information that other studies do not. In Mexico there are 145 nuclear medicine facilities and 221 doctors specializing in NM. Its operation requires: a nuclear doctor, a radiation safety officer, technical and nursing staff (in some cases). Their work involves various occupational risks derived from the use of instruments, drugs, radioisotopes and contact with patients. The main risk is the exposure to ionizing radiation. In addition, it entails the possibility of exposure to biological-infectious agents, psychosocial risk factors, ergonomics, etc.

The aim of this study was to evaluate the occupational health of a NM service in a public hospital using a holistic methodology to identify the general working conditions and determine whether the radiation safety guidelines required by the Mexican legal framework are met. A proposal for corrective or preventive actions was also made.

An observational, descriptive, and cross-sectional study was carried out applying an adaptation of the PROVERIFICA model for the NM service. The model consists of three information-gathering instruments: (i) General Company Information Card (CIGE); (ii) Complex Occupational Health Diagrams (DCST); and (iii) Verification Questionnaire (CV). The results are based on documentary evidence and the calculation of indices and the percentage of effectiveness (PE). These calculations were performed with Excel 2019.

Seven chapters of the CV were applied, consisting of 452 questions, of which 398 obtained a positive answer (88.05%). The facility meets most of the assessed aspects, 47 requirements are partially met. Overall, the results of the CV indicated a PE=93.3%, corresponding to a good level of effectiveness. Chapters related to the implementation of radiation safety measures and arrangements had the highest PE (> 90 %); however, in the chapters related to occupational health, compliance was mostly partial. The work process consists of 6 phases: initial inspection, reception, administration of the radiopharmaceutical, study, discharge, and final inspection. The predominant risk was exposure to ionizing radiation; the phases of greatest exposure are: reception, administering and performing the imaging study. However, they are not considered to pose a risk to worker's health. The possibility of developing musculoskeletal disorders or acquiring viral infections was also highlighted. **Keywords:** Nuclear medicine, occupational risks, evaluation, occupational health, radiation safety.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES PARA EL ESTUDIO DE LA SALUD EN EL TRABAJO	13
1.1 TRABAJO	13
1.2 PROCESO DE TRABAJO	14
1.3 COMPONENTES DEL PROCESO DE TRABAJO	16
1.4 RIESGOS Y EXIGENCIAS.....	17
1.5 SALUD EN EL TRABAJO	20
CAPÍTULO 2. MEDICINA NUCLEAR Y CONCEPTOS CLAVE DE FÍSICA DE RADIACIONES	22
2.1 ISÓTOPOS RADIATIVOS.....	24
2.2 RADIATIVIDAD.....	25
2.2.1 Radiación α	27
2.2.2 Radiación β	27
2.2.3 Radiaciones Gamma.....	27
2.3 RADIACIÓN IONIZANTE	28
2.4 RADIOFÁRMACOS	28
2.5 MEDICINA NUCLEAR.....	30
2.5.1 Técnicas para la obtención de imágenes.....	31
2.6 MAGNITUDES Y UNIDADES PARA LA MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN IONIZANTE	33
2.6.1 Dosis absorbida [Gy].....	33
2.6.2 Dosis equivalente [Sv].....	33
2.6.3 Dosis efectiva [Sv].....	34
2.7 MECANISMOS DE ACCIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES	34
2.7.1 Efectos biológicos de la radiación	35
2.8 PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA	37
2.8.1 Dosis permitidas.	39
2.8.2 Zonas controladas.....	41
2.8.3 Personal ocupacionalmente expuesto (POE).....	42
2.8.4 Irradiación Externa y Contaminación.	42
CAPÍTULO 3. MARCO LEGAL DE LA PRÁCTICA DE LA MEDICINA NUCLEAR.	44
3.1 INTERNACIONAL	44
3.2 NACIONAL	45
CAPÍTULO 4. CONTEXTO SOCIOHISTÓRICO DEL ESTUDIO.....	50

4.1 APUNTE HISTÓRICO DE LAS RADIACIONES IONIZANTES APLICADAS A LA MEDICINA	50
4.2 SITUACIÓN ACTUAL.....	54
4.2.1 Internacional	54
CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA	59
5.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO PROVERIFICA	59
CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR.....	64
6.1 RESULTADOS.....	64
6.1.1 Cédula de Información General del Hospital	64
6.1.2 Diagramas complejos de salud en el trabajo	68
6.1.3. Cuestionario de Verificación.....	80
6.2. CONCLUSIONES.....	88
6.2.1 CIGE	88
6.2.2 Diagramas complejos de salud en el trabajo.	89
6.2.3. Cuestionario de Verificación.....	93
CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES	94
7.1 DIAGRAMAS COMPLEJOS DE SALUD EN EL TRABAJO.....	94
7.2 CUESTIONARIO DE VERIFICACIÓN.....	98
CONCLUSIONES GENERALES	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS.....	127

Introducción

El trabajo del personal médico, técnico y de enfermería implica diversos riesgos laborales derivados del uso de instrumental, fármacos, radioisótopos y el constante contacto con los pacientes. La naturaleza y el grado de la exposición dependen de muchos factores, por ejemplo: los relacionados con el paciente, carga de trabajo, condiciones ambientales de las áreas de medicina nuclear. Trabajar en el campo de la medicina nuclear (MN) conlleva varios riesgos, como la posibilidad de exponerse a: radiaciones ionizantes, agentes biológico-infecciosos, factores de riesgo psicosocial, ergonómicos, entre otros (Fernández y Vázquez, 2021). De acuerdo con la NOM-030-STPS-2009, es fundamental identificar y evaluar los riesgos presentes en los centros de trabajo, así como establecer medidas y controles apropiados para reducirlos (Secretaría de Trabajo y Previsión Social [STPS], 2009).

En medicina nuclear uno de los riesgos predominantes es la exposición a radiaciones ionizantes debido que se emplean isótopos radiactivos. El aprovechamiento de las radiaciones en el área médica se ha vuelto más frecuente debido a sus aplicaciones. A nivel mundial, se realizan anualmente más de 3600 millones de estudios radiológicos con fines diagnósticos, 37 millones de pruebas de medicina nuclear y 7,5 millones de procedimientos de radioterapia (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2016).

El sector médico representa la fuerza laboral con mayor número de trabajadores expuestos a fuentes artificiales de radiaciones ionizantes, 80% del total. La cifra mundial anual estimada de trabajadores expuestos a estas fuentes que fueron monitoreados incrementó a más de 11.4 millones durante el período comprendido entre 2010 y 2014 comparado a los aproximadamente 10 millones de trabajadores expuestos entre 1995 y 1999 (Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas [UNSCEAR, por su acrónimo en inglés], 2021).

El manejo de materiales radiactivos en medicina nuclear implica varios procedimientos que deben ejecutarse aplicando las mejores prácticas de protección y seguridad radiológica (Organismo Internacional de Energía Atómica [IAEA], 2022). La evaluación periódica de los aspectos que aseguran la calidad de la práctica de la MN ayuda a garantizar que los procedimientos sean seguros y que las dosis recibidas por el personal no superen los límites

establecidos, de manera que no se generen daños en su salud (IAEA, 2016; 2022; Rosas y Daza, 2018).

En México hay 145 establecimientos de medicina nuclear (Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias [CNSNS], 2023) y 221 médicos especialistas en MN (Heinze, et al., 2018). La operación de estos servicios requiere además de un médico nuclear, un encargado de seguridad radiológica, técnicos en MN, personal de enfermería, cuando así se requiera. Las instalaciones que ocupan equipos complejos (PET, SPECT o dispositivos híbridos), deben contar con un físico médico. Además, si en las instalaciones se realizan procesos radioquímicos, se debe contar con especialistas en radioquímica o radiofarmacia (NOM-040-NUCL-2016, 2016).

La legislación mexicana relacionada con la prestación de servicios de atención médica y las condiciones de seguridad y salud que deben cumplir los lugares de trabajo donde se manejen fuentes de radiación ionizante, establece que es obligatorio el reconocimiento y análisis de riesgos durante las evaluaciones a dichas instalaciones. Es necesaria la verificación del cumplimiento de los requisitos y medidas de seguridad.

La medicina nuclear es una especialidad médica que usa fuentes no selladas de radionúclidos, los cuales se combinan con una molécula transportadora para obtener radiofármacos. Estos se administran en pequeñas cantidades a los pacientes por diferentes vías: intravenosa, oral, subcutánea o inhalatoria. Tienen una distribución específica en cada órgano o tejido celular que hace posible la obtención de imágenes para diagnosticar y tratar enfermedades; las imágenes aportan información metabólica y funcional que otros estudios diagnósticos no proporcionan (IAEA, 2014; de Paula et al., 2018).

Aunque esta técnica se usa principalmente con fines diagnósticos, también es útil para tratar diversas enfermedades y afecciones, como el cáncer o el hipertiroidismo. La terapia con medicina nuclear se basa en la capacidad de las células neoplásicas para absorber selectivamente compuestos radiactivos y eliminarlos sin afectar las células sanas (IAEA, s.f.). Por ejemplo, el Yodo-131 se usa para tratar trastornos tiroideos.

Como campo multidisciplinario, esta especialidad incluye múltiples procesos que van desde el marcaje de moléculas en la elaboración de radiofármacos, hasta la evaluación del funcionamiento de equipos para diagnóstico, dosimetría de pacientes y personal, protección radiológica, análisis clínicos, entre otros (de Paula et al., 2018). Se deben adoptar disposiciones para su manejo seguro y diseñar protocolos internos que complementen los lineamientos dados en la normativa nacional vigente.

Es imprescindible la colaboración con el resto de las áreas de prevención de riesgos del centro de trabajo, así como apoyar en la identificación y evaluación de los riesgos derivados del uso de fuentes radiactivas. La evaluación de las condiciones laborales, la determinación de la exposición y la aplicación del principio de optimización son herramientas para evitar exposiciones innecesarias a las radiaciones.

El trabajo con fuentes abiertas de radiación requiere un conocimiento previo de las radiaciones y sus efectos en la salud humana para comprender el nivel de riesgo y la eficacia de las medidas preventivas recomendadas (Morales Barrera, 2020). Dichos efectos dependen de varios factores, incluida la cantidad total de radiación absorbida, el tiempo, la tasa de dosis y el órgano específico expuesto. La posibilidad de afectar al cuerpo humano se debe a que la energía que se deposita puede dañar las células o cambiar su equilibrio bioquímico.

En la mayoría de los casos, es poco probable que la exposición a la radiación cause efectos adversos para la salud. En otros escenarios las células irradiadas pueden sobrevivir, pero volverse anormales, temporal o permanente y eventualmente llegar a ser cancerosas (Ministerio de salud del gobierno de Alberta, 2011).

La radiación ionizante es reconocida a dosis altas como un agente cancerígeno. Sin embargo, en el ámbito ocupacional, hay límites de dosis establecidos en la legislación que no se deben exceder (50 miliSievert [mSv]) para disminuir la probabilidad de aparición de efectos estocásticos (como mutaciones genéticas, carcinogénesis, efectos hereditarios etc.). Hasta el momento no hay evidencia experimental contundente acerca de riesgos a dosis bajas, menores a 100 mGy (Tsai et al., 2022; UNSCEAR, 2022; Shore, 2014). Algunos estudios sugieren la posibilidad de que existan efectos biológicos adversos en el rango de 5-50 mSv con indicios de

que la inestabilidad genómica puede incrementar su riesgo (Martínez et al., 2010; Suzuki y Yamashita, 2012; Shore, 2014).

Los efectos genéticos incluyen: producción indirecta de radicales libres, posibles cambios estructurales en los cromosomas y mutaciones genéticas (Bolus, 2008; Abbas, et al., 2021; Ae et al., 2017; IAEA, 2021; Tsai, 2022). Otros datos apoyan una interpretación “sin riesgo” gracias a las respuestas adaptativas, la reparación del ADN y otros sistemas de protección (Shore, 2014). En la mayoría de los casos, para la exposición a dosis bajas de radiación, es probable que se reparen las células dañadas, sin que se produzcan reacciones adversas (Bolus, 2008).

Aún existe incertidumbre sobre el riesgo para la salud, si es que lo hay, de recibir dosis bajas acumulativas (es decir, la dosis total resultante de exposiciones repetidas de un trabajador ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes en la misma parte del cuerpo o en todo el cuerpo durante un período de tiempo) del orden de 5- 50 mSv. Sin embargo, no hay evidencia epidemiológica fehaciente del riesgo cancerígeno a estas dosis, hasta ahora es una hipótesis derivada del modelo lineal sin umbral (Tsai, 2022). Lo cierto es que los estudios indican que se pueden descartar peligros mayores, como los que se asocian a dosis de varios cientos de mSv.

El permisionario de las instalaciones radiactivas tiene la responsabilidad de asegurarse de que se realicen revisiones y análisis regulares de los procedimientos de trabajo y las instalaciones teniendo en cuenta el informe de seguridad radiológica. Además, se debe garantizar que las deficiencias o anomalías detectadas durante las inspecciones, auditorías, verificaciones y reconocimientos sean corregidas. También, debe implementar un sistema de limitación de dosis, evaluar las exposiciones ocupacionales e implementar las disposiciones necesarias para llevar a cabo la vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto [POE], que debe incluir exámenes médicos previos a la contratación y exámenes periódicos (de acuerdo con la NOM-026-NUCL-2011). También es necesario llevar un expediente clínico con dicha información. (Reglamento General de Seguridad Radiológica [RGSR], 1988).

En las instalaciones de medicina nuclear, las evaluaciones ayudan a conocer el nivel de cumplimiento de las Normas y directrices que emite la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias [CNSNS] y las recomendaciones emitidas a nivel internacional por los

Organismos reguladores, como la Comisión Internacional de Protección Radiológica [ICRP] y el Organismo Internacional de Energía Atómica [OIEA].

Otros aspectos importantes por evaluar son la capacitación y entrenamiento del encargado de seguridad radiológica y el POE, según lo solicitan el Reglamento General de Seguridad Radiológica [RGSR] y la NOM-031-NUCL-2016: los titulares de las licencias están obligados a garantizar que su personal reciba entrenamiento (inicial y periódico) apropiado para realizar actividades o prácticas con fuentes de radiación ionizante.

Las evaluaciones pueden detectar posibles desviaciones de los protocolos establecidos e identificar problemas con el manejo seguro y adecuado de los materiales radiactivos. Ayudan a reconocer si algún área requiere mejoras o actualizaciones para garantizar una prestación de servicios segura y eficiente. Facilitan la implementación de medidas de protección y prevención apropiadas para los pacientes, los trabajadores de la salud, y el público en general.

Actualmente se considera necesario evaluar a los sitios donde se manejan fuentes de radiación ionizante. Hay distintas herramientas que se pueden aplicar para llevar a cabo esta actividad, pero todas tienen la intención de ayudar a que la medicina nuclear se practique con apego a los estándares de seguridad establecidos. Por ejemplo:

En 2013 se realizó una evaluación de salud laboral en el servicio de medicina nuclear de un hospital de la Ciudad de México. El establecimiento presentó varias deficiencias operativas y administrativas, por lo que se consideró de alto riesgo para la salud del personal ocupacionalmente expuesto. Las instalaciones estaban deterioradas y la sala de gammagrafía carecía de mantenimiento. No se contaba con políticas de salud en el trabajo ni con un responsable de esta área. Muchos trabajadores no recibían los resultados de su dosimetría, así que desconocían la dosis recibida durante sus labores. Se recomendó: capacitar a los trabajadores en seguridad y protección radiológica; nombrar un responsable de salud laboral para diseñar los planes y programas preventivos, con la finalidad de prevenir accidentes y enfermedades de trabajo (Ortega, 2013).

En otro estudio más reciente, realizado en 2019 por Ortiz Oliveros y Torres Carranza, que incluyó a los servicios de medicina nuclear de todo el país, encontró que el cumplimiento de la

normatividad relacionada a la gestión de los desechos radiactivos es parcial pero no representa un riesgo radiológico para el POE o el ambiente. Dos hospitales indicaron que el personal de intendencia manipulaba tales desechos, a pesar de no incluirse en las licencias y autorizaciones de operación. Sin embargo, se señaló que estos trabajadores recibieron capacitación interna sobre protección radiológica. No obstante, sí implica un incumplimiento a la licencia de operación y a lo dispuesto por el RGSR y es destacable el incremento innecesario de los riesgos de exposición para estos trabajadores, también se hizo evidente la falta de un plan de gestión institucional (Ortiz Oliveros y Torres Carranza, 2019).

En La Habana, Cuba, Amador Balbona y colaboradores (2021) realizaron una estimación de los riesgos radiológicos presentes en una instalación de medicina nuclear para diagnóstico con técnicas híbridas (SPECT/PET-CT). Empleando la metodología de matriz de riesgos establecieron: las fases del proceso, así como los factores que más aportaban al control del riesgo, el nivel de gravedad asociado a los efectos de los sucesos iniciadores para el personal, pacientes, y el público en general. Identificaron 14 fases, 109 sucesos, 105 barreras, 48 reductores de frecuencia y 13 reductores de consecuencias. Además, se hizo una consideración del aporte del error humano y un análisis de incidentes radiológicos previos para retomar las lecciones que dejaron.

También, destacó la necesidad de atender los riesgos asociados a las secuencias accidentales pues aunque su nivel de frecuencia fue bajo, las consecuencias para los pacientes eran graves. Además, se elaboró un plan de mejora de la seguridad y la calidad, así como de un análisis de sensibilidad. Fue posible obtener un nivel de riesgo aceptable e implementar acciones y medidas que disminuyeron el riesgo, algunas de estas fueron: programación de los estudios diagnósticos en días alternos, uso de dispensadores automáticos, capacitación del personal de física médica para la supervisión de controles de calidad, empleo de un calibrador de dosis, entre otras (Amador Balbona, et al., 2021).

Gómez y Melo (2013) analizaron la situación del POE en Colombia, se estudió en un contexto sistemático, con diferentes perspectivas: ambiental, legislativa y técnica. Se identificó que, aunque el uso de radiaciones ionizantes está legislado, los trabajadores ocupacionalmente expuestos en su mayoría la desconocían, lo que contribuye a que algunas instituciones de salud obviarán u omitieran las responsabilidades laborales que se deben cumplir con el personal como:

el establecimiento de un régimen de seguridad, la facilitación y el uso de elementos de protección personal, el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos.

Uno de los instrumentos con mayor uso a nivel mundial para realizar evaluaciones es "QUANUM" (Auditorías de control de calidad en servicios de medicina nuclear, por sus siglas en inglés). Esta herramienta fue diseñada por el OIEA para apoyar las auditorías y facilitar la evaluación de los equipos de medicina nuclear, describe las prácticas recomendadas y los estándares de seguridad para la gestión de estos equipos. Se usa para garantizar que se tomen las medidas adecuadas para proteger la seguridad de los pacientes y de los trabajadores de la salud, minimizando los riesgos de la exposición a las radiaciones (OIEA, 2009).

Sin embargo, el QUANUM fue desarrollado con base en las directrices de la Comunidad europea y para que las auditorías sean adecuadas y mejor aplicadas en un país, es necesario evitar el surgimiento de no conformidades de acuerdo con la normativa nacional a través de un proceso de evaluación que incluya todos los lineamientos. Este programa se ha aplicado en distintos países de Latinoamérica, por ejemplo: en Brasil, se realizó una adaptación del QUANUM con el propósito de integrar un solo modelo para cumplir con los requisitos, estándares y regulaciones nacionales e internacionales. Se hizo un análisis de las normas y reglamentos brasileños, así como de las recomendaciones internacionales y se compararon con los requisitos solicitados por la herramienta del OIEA (de Paula et al., 2018).

En México, desde 2021 está disponible una adaptación del software SEVRRRA (Sistema de Evaluación del Riesgo en Radioterapia) para aplicarse en medicina nuclear. El desarrollo de esta herramienta fue una colaboración de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, con el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares. Su propósito es hacer más sencillo el análisis de riesgo de las unidades de radioterapia (y MN), destacando sus fortalezas y áreas de mejora. Con esto se enfocan los esfuerzos en implementar medidas de seguridad para prevenir y reducir que se susciten eventos adversos, además de mitigar sus consecuencias (CNSNS, 2021).

La herramienta se basa en la metodología de matrices de riesgo y condensa la información del IAEA-TECDOC 1685/S. Posibilita la identificación de sucesos iniciadores, barreras y frecuencias de acuerdo al tipo de instalación para evaluar el riesgo radiológico.

También tiene la opción de agregar fases de evaluación y variables de seguridad para la gestión del riesgo vinculado con las actividades y prácticas que se realicen en el establecimiento.

La metodología aplicada por SEVRRA a la práctica médica en medicina nuclear requiere:

1. Identificar posibles sucesos iniciadores (SI) que pueden ocurrir en cada etapa y las poblaciones a las que afectaría: personal ocupacionalmente expuesto (POE), pacientes o público.

2. Reconocer a la población representativa que estaría expuesta a radiaciones ionizantes si ocurriera un incidente para hacer una clasificación de las consecuencias de la exposición, según el nivel de gravedad.

3. Determinar niveles de frecuencia y reclasificar las ocurrencias de los sucesos iniciadores.

4. Identificar las barreras disponibles que eviten la exposición a radiaciones ionizantes una vez que se ha producido el suceso iniciador.

5. La clasificación del riesgo se realiza combinando los niveles de frecuencia, las consecuencias y la probabilidad de que las barreras fallen. (Parada et al., 2022).

En Ecuador, Novillo (2016) desarrolló un sistema para la gestión de calidad, ambiente y seguridad para un servicio de medicina nuclear. La recolección de datos la hizo a través del QUANUM. Encontró que:

- Se capacitaba medianamente en seguridad y protección radiológica a los trabajadores. No existían programas desarrollados para la capacitación de los técnicos, ni se realizaban periódicamente evaluaciones para conocer si se requería capacitación. El personal de radiofarmacia no tenía a su disposición manuales de capacitación dirigidos a ellos.
- La sala de radiofarmacia no estaba debidamente blindada. Ni se contaba con procedimientos para productos que no cumplían con la normatividad.
- Previamente no se habían llevado a cabo autoevaluaciones ni auditorías de calidad. Tampoco se disponía de programas para garantizar la calidad. Faltaban procedimientos que aseguraran que se evitara el uso de equipos o materiales que no aprobaran las pruebas

de calidad. No se disponía de planes para el mantenimiento, restauración o reemplazo de equipos (Novillo, 2016).

Aunque el uso de materiales radiactivos representa uno de los principales riesgos en medicina nuclear, existen otros que pueden repercutir en la salud del personal. Entre ellos se encuentra la exposición a agentes biológico-infecciosos transportados por el aire, que contiene gotitas con secreciones de pacientes (tos, estornudos, etc.), o por el contacto con superficies contaminadas con patógenos. Los riesgos biológicos también están presentes durante el uso de instrumentos punzocortantes, si la sangre de algún paciente contiene patógenos capaces de producir infecciones como la hepatitis B, C o VIH (Ministerio de salud del gobierno de Alberta, 2011).

Los cambios de postura y el manejo de pacientes al colocarlos debidamente para sus estudios de imagen involucran la biomecánica de levantarlos y moverlos; conllevan riesgos ergonómicos debido a que no siempre se realizan estas tareas con una adecuada posición corporal que ayude a reducir al máximo lesiones por sobreesfuerzo. Otros riesgos ergonómicos están asociados al uso de computadoras o al diseño de estaciones de trabajo. Por otro lado, también es posible que se produzca fatiga visual por el uso de pantallas de visualización de imágenes médicas o datos. (Fernández y Vázquez, 2021; Ministerio de salud del gobierno de Alberta, 2011).

En medicina nuclear es probable encontrar riesgos psicosociales relacionados con la carga emocional, o factores excesivamente estresantes como la carga de trabajo. Estos riesgos se pueden encontrar en todos los centros laborales, como lo señala la NOM-035-STPS-2018. La repercusión en la salud del personal se manifiesta a través de trastornos del sueño, depresión, ansiedad, u otros padecimientos. A menudo los trabajadores de la salud padecen estrés relacionado con el conflicto vida-trabajo, provocado por la carga de trabajo y las demandas laborales. (Ministerio de salud del gobierno de Alberta, 2011; Che et al., 2020). También son factores de riesgo psicosocial importantes: la rotación de turnos, las relaciones interpersonales en el trabajo, el contenido y la satisfacción de esta actividad, su equilibrio con el hogar, o la naturaleza cambiante del mismo (Che et al., 2020).

Se llevó a cabo un estudio cualitativo en el sur de Brasil con el fin de determinar las cargas de trabajo que causan agotamiento en el personal de enfermería en dos establecimientos

MN, uno público y otro privado. El software QualiQuantSoft® se utilizó para analizar los datos y la técnica del análisis del discurso del sujeto colectivo se utilizó para hacer una interpretación. Se observó que los discursos del personal estuvieron fuertemente presentes las cargas de trabajo biológicas, físicas, mecánicas, fisiológicas y psicológicas, lo que resultó en agotamiento que se manifestaba como lumbalgias, padecimientos musculoesqueléticos, fatiga y estrés se relacionaron de manera directa con la naturaleza y magnitud de las cargas de trabajo diarias. La investigación encontró que la medicina nuclear superpone cargas de trabajo que es inherente a la organización y particularidades de sus actividades (Coelho de Melo et al., 2020).

Debido a lo que se ha expuesto anteriormente, surgió el interés de estudiar las condiciones en las cuales el personal que labora en medicina nuclear desempeña su trabajo. Aunque en el marco de la seguridad radiológica ya se han realizado evaluaciones a este tipo de instalaciones, principalmente con el QUANUM, para fines de este trabajo no se aplicó dicha herramienta debido al interés de conocer las condiciones generales presentes en el centro de trabajo. Si bien la seguridad radiológica es primordial, también se deseaba explorar la presencia de otros riesgos.

Las condiciones de trabajo inadecuadas pueden tener efectos negativos en la salud y bienestar de los trabajadores. Al evaluar las condiciones laborales se pueden identificar riesgos en el centro de trabajo, mejorar la seguridad, reducir la incidencia de accidentes y enfermedades de índole laboral, y mejorar la calidad del servicio de atención médica que se proporciona a los pacientes.

El propósito de este trabajo fue evaluar *la salud laboral de un servicio de medicina nuclear de un hospital ubicado al norte de la Ciudad de México mediante el uso de una metodología holística para identificar las condiciones generales de trabajo y determinar si en el sitio de estudio se cumplen los lineamientos de seguridad radiológica que establece el marco legal mexicano.*

La evaluación de este proyecto buscó aportar información útil al área de medicina nuclear, a través del reconocimiento del proceso de trabajo y la identificación de los riesgos y exigencias que podrían afectar la seguridad y salud. También se realizó una propuesta con medidas que permitan prevenir o atender dichos factores.

Con la finalidad de responder a las necesidades e inquietudes expuestas, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Obtener una visión general de la estructura y organización del servicio de medicina nuclear a través del encargado de seguridad radiológica, para conocer datos del personal, como: el puesto de trabajo, antigüedad, jornada laboral, variables sociodemográficas.
- Realizar recorridos para observar las condiciones de seguridad radiológica e higiene presentes en el establecimiento y los procesos que aquí se realizan.
- Reconstruir el proceso de trabajo con la elaboración de diagramas de flujo y cuadros de resumen, para determinar: ¿cómo y con qué? se hacen las diferentes tareas que conforman dicho proceso, los riesgos, exigencias, posibles afectaciones a la salud y las medidas de prevención de las que ya se disponen en cada etapa.
- Aplicar un cuestionario de verificación para corroborar que la práctica de la medicina nuclear se lleva a cabo conforme a los lineamientos establecidos en el marco legal mexicano.
- Analizar la información recabada, calculando los porcentajes e índices obtenidos en los cuestionarios y observando los diagramas para determinar el nivel de riesgo del centro laboral.
- Hacer una propuesta que incluya medidas preventivas o recomendaciones para atender los aspectos identificados que puedan suponer un riesgo, con la finalidad de que exista un ambiente de trabajo saludable y seguro.

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera:

El capítulo 1 inicia abordando un concepto fundamental para esta investigación: el trabajo; se presentará una perspectiva amplia que contempla también una visión social de este concepto y el proceso de trabajo, así como los riesgos y exigencias que están implícitos en el desarrollo de esta actividad.

Capítulo 2: Este apartado empieza introduciendo los conceptos teóricos de la física de radiaciones necesarios para comprender el funcionamiento de los servicios de medicina nuclear, así como los efectos que las radiaciones ionizantes producen en el organismo. Estos elementos

son necesarios para el establecimiento los sistemas de protección radiológica. También se presentan las unidades y magnitudes para la cuantificación de la radiación.

Capítulo 3: Este capítulo se enfoca en mostrar el marco legal vigente que sustenta y regula la práctica de la medicina nuclear en el país. Se incluye la recomendación R114 de la OIT, debido a que fue un referente que México acordó implementar, y contribuyó al desarrollo de medidas de seguridad que posteriormente se establecieron en el marco legal mexicano. Posteriormente se presentan las normas, numerales, o bien, apartados del RGSR que indican los requerimientos que deben cumplir las instalaciones médicas que ofrecen servicios que involucran el uso de fuentes de radiación ionizante. También se habla de las características y medidas de protección que deben implementarse para garantizar la seguridad de los trabajadores.

En el capítulo 4 se expone una breve reseña histórica del desarrollo de la medicina nuclear. En seguida, se da a conocer el panorama socioeconómico de esta especialidad, mostrando una visión global que incluye a los países de otros continentes y niveles de desarrollo distintos al nacional. Se proporcionan algunos datos como el número de recursos con los que se cuentan: humanos, centros y equipos, así como su distribución geográfica. Finalmente se muestra información relevante sobre los recursos que cuenta México para la práctica de la MN.

En el capítulo 5 se detalla la metodología que se utilizó para llevar a cabo la evaluación, así como las particularidades de cada instrumento utilizado para el acopio de información: Cédula de información general del establecimiento (CIGE), cuestionario de verificación (CV) y diagramas complejos de salud en el trabajo (DCST).

En el capítulo 6 se muestran los resultados y observaciones producto de la evaluación. Se presentan los porcentajes de eficacia obtenidos y los diagramas que permiten ilustrar cómo es el proceso de trabajo, así como la identificación de posibles daños a la salud. Finalmente, en el capítulo 7 se muestran las recomendaciones emitidas con base a los resultados de la evaluación.

Por último, se muestran las conclusiones generales producidas durante este proyecto, así como las referencias bibliográficas que ayudaron a la realización de esta.

Capítulo 1. Conceptos fundamentales para el estudio de la salud en el trabajo

Este apartado aborda los conceptos que son imprescindibles para este proyecto. Se inicia introduciendo la definición formal de trabajo que propuesta por la OIT y después se aborda desde una perspectiva más amplia y social. También se mencionan otros elementos relacionados a este concepto como: los objetos, medios y proceso de trabajo, sus riesgos y exigencias.

Posteriormente, se aborda otro término de gran importancia y que ha sido una de las motivaciones para realizar esta investigación: la salud laboral.

1.1 Trabajo

La Organización Internacional del Trabajo [OIT] define al trabajo como “el conjunto de actividades humanas, remuneradas o no, que producen bienes o servicios en una economía, o que satisfacen las necesidades de una comunidad o proveen los medios de sustento necesarios para los individuos” (OIT, 2004).

De manera similar, pero diferente, para esta Organización el empleo también se define como el "trabajo efectuado a cambio de pago (salario, sueldo, comisiones, propinas, pagos a destajo o pagos en especie)" (Levaggi, 2004).

Por otro lado, la Ley Federal del Trabajo propone que es “toda actividad humana, intelectual o material, independientemente del grado de preparación técnica requerido por cada profesión u oficio”. Las condiciones en las que se ejerza deben garantizar la salud y una vida con dignidad para los trabajadores y su familia. Además, esta actividad debe respeto y dignidad para quien la realiza.

En el trabajo, no deben “establecerse condiciones que impliquen discriminación entre los trabajadores por motivo de origen étnico o nacional, género, edad, discapacidad, condición social, condiciones de salud, religión, condición migratoria, opiniones, preferencias sexuales, estado civil o cualquier otro que atente contra la dignidad humana” (H. Congreso de la Unión, 2023).

Sin embargo, no se puede concebir a una actividad fundamental para el ser humano de una manera limitada como lo que proponen las definiciones anteriores. De forma más completa, se puede entender al trabajo como un medio que el hombre usa para producir bienes que satisfagan sus necesidades; mediante esta actividad se crea, se reproduce y produce (Noriega

1989). La unión resultante de una transformación recíproca entre el hombre y la naturaleza es el trabajo (Betancourt, 1995).

El trabajo, es crucial para la vida y existencia de la especie humana y ha posibilitado el florecimiento de la sociedad; es su motor y origen. Esta actividad además le permite desarrollar sus capacidades al ser humano. A través de esta actividad se producen los bienes esenciales para su reproducción, haciendo posible el desarrollo de diversas capacidades mentales y físicas (Betancourt, 1995; Pulido y Noriega, 2003; Noriega, 2005).

A lo largo de la historia, se han modificado las formas de trabajo, esto también ha cambiado el rol del ser humano en el proceso productivo, situación que de la misma manera da pie al surgimiento de diferentes formas de enfermar y morir. Todos los trabajadores tienen la posibilidad de sufrir problemas de salud cuando realizan alguna actividad laboral. Como resultado de determinadas condiciones de trabajo pueden padecer una variedad de lesiones, molestias y enfermedades. (Betancourt, 1995).

Para complementar lo anterior, es preciso mencionar que el trabajo es más que la unión de objetos, medios y formas específicas de organización y división; Además, representa el derecho de toda persona a tener un empleo y recibir un salario justo que le permita satisfacer sus necesidades básicas y las de su familia. el derecho a que sus condiciones laborales promuevan su salud y no la deterioren (Neffa, 1990).

en las formas de producción evolucionan a través del tiempo, repercutiendo en el bienestar del trabajador, por ejemplo, la posibilidad de la realización plena del ser humano a través del trabajo se elimina en el sistema capitalista. El producto, según esta perspectiva, tiene un nivel jerárquico superior y sustituye al ser humano. Ahora los procesos laborales modernos se caracterizan por la producción de mercancías en el menor tiempo posible y el interés de obtener la mayor plusvalía. En estos se oculta la importancia de los mecanismos que causan enfermedades o la salud en diferentes grupos laborales. (Neffa, 1990).

1.2 Proceso de trabajo

Según Marx (1975) el proceso de trabajo es:

Una actividad racional de intercambio de materias entre la naturaleza y el hombre; A través de ésta él se apropia de los elementos que le ofrece y los transforma, con la finalidad de obtener los medios necesarios para su existencia. A la vez, en el mismo proceso, el hombre también se transforma: desarrolla su propia naturaleza, sus músculos, su capacidad de pensar y crear.

Por su parte, Noriega propone que el proceso de trabajo es la interacción de las personas con la naturaleza (sus materiales) para transformarla mediante determinados instrumentos de trabajo con el objetivo de generar bienes para satisfacer las necesidades humanas (Noriega, 1989, p.5).

Ambas definiciones tienen en común que este proceso se da a partir de la transformación de la naturaleza, por lo que es importante añadir que:

La apropiación de la naturaleza y su grado de transformación, están determinadas por las relaciones sociales de producción y las fuerzas productivas. Dichos aspectos repercuten en las condiciones y la calidad de vida. Las formas en las que el hombre entra en contacto con la naturaleza, cómo se la apropia y transforma, pueden entenderse desde una perspectiva biológica individual como las causas de los mecanismos que hacen posible la enfermedad. (Flores y Rodríguez, 1979). Estudiar el proceso de trabajo adquiere mayor relevancia cuando se tiene como propósito identificar la causalidad de la patología laboral (Fassler, 1978, p.5).

Este proceso también es un factor organizador en la vida y las relaciones sociales de los trabajadores (y sus familias) tanto dentro como fuera del centro laboral y, por lo tanto, un determinante en su estado de salud-enfermedad (Flores y Rodríguez, 1979). En este proceso el individuo no es un ser biológico aislado, es parte de un colectivo humano, el cual se organiza para la producción de acuerdo a leyes que no corresponden con el interés individual y que, al contrario, somete a los trabajadores a los intereses de la clase hegemónica de determinado sistema socioeconómico (Fassler, 1978, p.4).

El proceso de trabajo, en el que se generan bienes como resultado de la interacción con la naturaleza está estrechamente relacionado a otro proceso: el de consumo, en el cual se consume lo producido, con esto se cierra el ciclo vital. Esto es, existe una relación de dependencia entre el consumo y la producción de bienes; si no se produjeran, no se podrían consumir. De igual forma, su obtención no tendría sentido si no se consumieran (Noriega, 1989).

Cabe mencionar que este proceso ha evolucionado a través de la historia, desde las formas primitivas de cooperación, hasta los complejos procesos tecnológicos que existen actualmente. Por ejemplo, en el sistema capitalista, el proceso de trabajo está organizado de acuerdo a la ley de la ganancia y, en la búsqueda de obtener la mayor plusvalía surge una relación antagónica con los intereses de los trabajadores. La clase capitalista intensifica los ritmos de producción, alarga las jornadas laborales y no prioriza mejorar las condiciones de trabajo (Fassler, 1978, p.5).

En una sociedad capitalista como la que tenemos hoy, el sentido de este proceso ya no se centra en satisfacer las necesidades humanas sino en la producción de bienes para obtener ganancias. Lo que se produce y se consume, o cómo se obtiene ya no es motivo de preocupación sino sólo el deseo de consumir lo producido. El hombre ya no ejerce control sobre el resultado de su trabajo ni sobre la forma en que se lleva a cabo (Martínez, 2009).

La fuerza de trabajo se constituye como una mercancía, la realidad capitalista reduce a los humanos a una pieza más del complejo sistema productivo, ocasiona la modificación de su condición subjetiva, salud y las formas de morir. Esa situación divide a la sociedad. Sólo algunos pueden apropiarse de los objetos y los medios de trabajo, logrando el control del proceso de producción (Martínez, 2009; Noriega, 1989).

1.3 Componentes del proceso de trabajo

Los cuatro elementos que constituyen el proceso de trabajo, se describen a continuación. Son de gran importancia pues su combinación tiene gran influencia en las características de la salud y la enfermedad de los trabajadores (Noriega, 1989):

- Objeto: es el material sobre el que se actúa o trabaja (materias primas o brutas), el cual se transforma en producto final.
- Instrumentos o medios de trabajo: transforman al objeto en producto. Sin embargo, es importante resaltar que de manera más amplia no solo se considera como medios o instrumentos de trabajo a las maquinas, equipos automatizados, etc., sino también a las instalaciones de cada centro laboral, incluyendo todo el mobiliario, desde pisos hasta techos y escaleras.

- Trabajo: es la actividad que realiza el trabajador para producir bienes o servicios. Requiere esfuerzo físico y mental.
Además, es una acción que transforma, desde elementos de la naturaleza en productos de consumo, hasta al hombre mismo y le permite incluso crear una identidad (a través de su oficio, profesión, etc.); posibilita el desarrollo de talentos o aptitudes y se convierten en habilidades o capacidades.
- Formas de organización o división del trabajo: hace referencia a la duración de la jornada de trabajo; al ritmo de producción; a la supervisión a la que someten a los trabajadores; los bonos para la productividad, la creatividad, la dificultad y el riesgo asociado con sus actividades entre otros factores (Noriega, 1989).

1.4 Riesgos y exigencias

En todos los espacios de trabajo hay un ambiente físico que rodea a los trabajadores. La interacción entre dicho medio ambiente y las personas puede inducir algún daño si las condiciones no son adecuadas, por ejemplo, si se exceden los niveles permitidos de algunos agentes nocivos como polvo, ruido, calor, radiaciones, etc. Sin embargo, solo algunos riesgos y exigencias producen enfermedades.

Los riesgos y las exigencias se derivan de los cuatro componentes del proceso de trabajo. Según Noriega (1993), los riesgos son factores físicos, químicos o mecánicos presentes en el lugar de trabajo.

Se derivan generalmente de los medios de trabajo, pero son independientes al trabajador. Sin embargo, también se pueden definir como: “la posibilidad o probabilidad de ser lesionado, afectado o dañado por uno de los agentes” (Alvear y Villegas, 1989).

Para la aplicación de esta evaluación se tomó en cuenta la clasificación de riesgos y exigencias propuesta por Noriega (1989) y Alvear y Villegas (1989), que considera cuatro categorías:

- 1) **Riesgos derivados del uso de los medios de trabajo** (ruido, vibraciones, cambios abruptos de temperatura, iluminación escasa o excesiva, humedad excesiva, etc.)
- 2) **Riesgos que los medios de trabajo representan en sí mismos** (instalaciones eléctricas, pisos, rampas, herramientas de mano, etc.).

- 3) **Riesgos derivados del objeto de trabajo y de sus transformaciones** (polvos, humos, gases, vapores líquidos, etc.)

Riesgos por las condiciones insalubres o la falta de higiene (instalaciones sanitarias comedor y alimentos, etc.)

En el ámbito de la protección radiológica, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) aplica el concepto de *riesgo* para referirse a “la probabilidad de que ocurra un efecto perjudicial considerando no solo su probabilidad sino también la gravedad del suceso” (ICRP, 1990).

Por otro lado, Alvear y Villegas (1989) enfatizan que las exigencias son características propias que el proceso laboral asigna a los trabajadores como resultado de las tareas que desempeñan y de las formas de organización y división técnica del trabajo.

Afectan los dominios psicológico y físico de los trabajadores; por ejemplo, las actividades dinámicas o estáticas, la rotación de turnos, el trabajo nocturno, la monotonía, la repetitividad de la tarea, jornadas extensas, el ritmo intenso, etc.

Las exigencias laborales provocan diversas afecciones a la salud de los trabajadores a mediano y largo plazo, como trastornos digestivos, hipertensión arterial, cefaleas, gastritis, etc.

También es común la manifestación de otras alteraciones a la salud como: fatiga, depresión, irritabilidad, ansiedad, trastornos del sueño, entre otras (Alvear y Villegas, 1989).

Las exigencias se clasifican en función de:

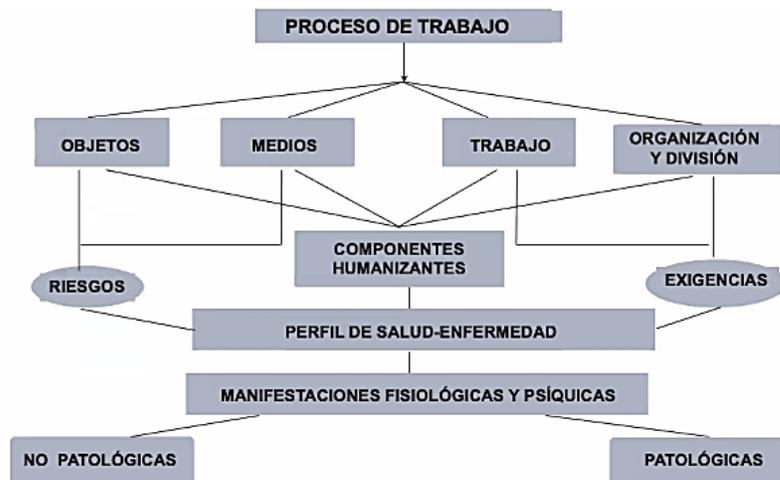
- 1) **El tiempo de trabajo** (tiempo extra, guardias, rotación de turnos, duración de la jornada)
- 2) **La cantidad e intensidad del trabajo** (repetitividad de las tareas, nivel de atención cuotas de producción establecidas, entre otras.)
- 3) **Las formas de vigilancia** (supervisión estricta, mal trato y control de calidad).
- 4) **Los tipos de actividades y tareas** (esfuerzo físico intenso, levantamiento de objetos y cargas pesadas, movimientos repetitivos, etc.)
- 5) **La calidad del trabajo** (minuciosidad de la tare, órdenes confusas o poco claras, falta de satisfacción en el trabajo, dificultad de comunicación, etc.).

Los riesgos y las exigencias son resultados de los componentes esenciales del proceso laboral. Sin embargo, las exigencias y los riesgos son partes del proceso de trabajo, pero independientes del trabajador. (ver figura 1), pero solo existen en relación con los trabajadores y no pueden aislarse de ellos (Noriega, 1993). Algunos procesos de trabajo requieren que los trabajadores utilicen no sólo sus capacidades físicas sino también mentales e intelectuales (Neffa, 2016).

El perfil salud-enfermedad se establecerá en función de las características que integren el grupo de riesgos y exigencias, así como de la presencia o falta de elementos humanizantes del trabajo (elementos que permiten la relación trabajador-objeto de trabajo, como la libertad para crear o la participación en el diseño del proceso de trabajo).

Figura 1

Esquema explicativo de la relación entre el proceso de trabajo, los riesgos, las exigencias y la salud.



Nota. El trabajo, sus riesgos y la salud (p.12), Noriega y Villegas, 1989. SITUAM.

Los riesgos y exigencias surgen bajo condiciones históricas específicas y son susceptibles a cambios, mismos que en varios casos inducirán daños a la salud (Noriega, 1989). Por ejemplo, los avances tecnológicos, las actuales condiciones de precariedad laboral, y la exposición del trabajador a estos elementos, promoverán un nuevo conjunto de riesgos para la salud, nuevas formas de enfermar y morir (Noriega, et al., 2011).

1.5 Salud en el trabajo

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define a la salud ocupacional (o salud en el trabajo) como: “una actividad necesariamente multidisciplinaria, dirigida a promover y proteger la salud de los trabajadores mediante la prevención y el control de enfermedades y accidentes”. Esta se logra controlando los factores y condiciones que vulneran la salud y la seguridad laboral, reduciendo el riesgo a niveles aceptables o, idealmente, eliminándolos completamente.

La OIT y la OMS establecen que los propósitos de la salud laboral consisten en:

“Promover y mantener el más alto grado posible de bienestar físico, psíquico (mental) y social de los trabajadores en todas las profesiones; prevenir todo daño causado a la salud de estos por las condiciones de trabajo; protegerlos en su empleo contra los riesgos resultantes de la presencia de agentes perjudiciales a su salud; procurando la adaptación del trabajo a las capacidades de los trabajadores habida cuenta de su estado de salud física y mental” (OIT, 1985).

Los conceptos anteriores contemplan los daños a la salud, accidentes y enfermedades profesionales, como aspectos necesarios, pero para preservar la utilidad y productividad de los individuos. Por ellos su estudio se atribuye a la medicina del trabajo. Aunque es común que se confunda la salud laboral con la medicina del trabajo, es preciso enfatizar sus diferencias. Esta última se encarga de establecer una relación (causa -efecto) entre la exposición laboral y la enfermedad; su visión es medicinal (curar los daños), ignorando la historia, la sociedad o la política del trabajador. (Franco, 2017). Por su parte, la salud laboral se materializa en un entorno en el cual el individuo se desempeña con dignidad y capacidad de intervención para mejorar las condiciones de seguridad y salud de su ambiente (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud [ISTAS], 2018).

Por su parte, Franco (2003) propone que la salud en el trabajo es: “un área compleja del conocimiento que se encarga del estudio integral del proceso de trabajo y su relación con la salud de los trabajadores. Para ello utiliza algunas disciplinas como la seguridad, higiene, ecología, protección civil, psicología, ergonomía, medicina del trabajo, entre otras, para cuantificar los fenómenos en estudio; cuyo fundamento y marco explicativo se ubican en el ámbito económico, político e histórico de los grupos sociales involucrados.”

La salud laboral se considera integral porque emplea una perspectiva amplia, que no se reduce a conocer solo la relación causa-efecto de los problemas de salud. Dicha perspectiva considera el contexto de los trabajadores, no sólo las condiciones y el medio ambiente laboral. Deja de lado el antiguo paradigma de reducir al trabajador a un elemento más del proceso de producción al que se debe mantener sano para aprovechar sus capacidades y productividad. Otra característica de suma importancia es su carácter preventivo; sus medidas y acciones se enfocan a evitar los accidentes y enfermedades de trabajo (Franco, 2003).

De acuerdo con Betancourt (1999) Esta área de estudio concibe y estudia al individuo desde su perspectiva social, colectiva e histórico; tiene en cuenta los contextos espacial, temporal y económico, así como las características técnicas, las expresiones subjetivas, culturales y étnicas, así como los motivos de dichas particularidades. Con estas bases, las iniciativas destinadas a investigar e intentar solucionar los problemas de salud de los empleados cobran mayor firmeza y coherencia.

Aunque en sus orígenes, este campo de estudio nació con la intención de ayudar y proteger a los trabajadores que tenían una gran exposición al riesgo físico, actualmente incluye a las personas de cualquier ocupación. Por esta razón, la salud laboral no solo se ocupa de la seguridad y la salud física del empleado, sino también de su salud mental. cuya visibilización ha ido en aumento, y su estudio se ha dado a través de los factores psicosociales¹.

¹ Los factores psicosociales en el trabajo son condiciones organizacionales que pueden tener un carácter positivo o negativo. Existe una amplia gama de estos factores, y la forma en que se organizan y clasifican depende del enfoque elegido. Las condiciones adecuadas facilitan el trabajo y el desarrollo de las competencias personales en el trabajo, lo que resulta en altos niveles de satisfacción laboral, productividad y estados de motivación que mejoran la experiencia y competencia en el trabajo.

Cuando tales factores son disfuncionales, producen respuestas de inadaptación, estrés laboral, entre otras, se convierten en factores de riesgo psicosocial porque conllevan la posibilidad de producir efectos negativos sobre la salud. Por ejemplo: la falta de variedad y contenido en el trabajo, un elevado ritmo de trabajo, la rotación de turnos de turnos o laborar en jornadas nocturnas, horarios inflexibles, escaso mantenimiento a los equipos de trabajo, mala comunicación interna, tareas que conllevan una elevada responsabilidad, conflictos entre el trabajo y la familia, inestabilidad laboral, inseguridad contractual, entre otros (Moreno y Báez, 2010, pp. 8-9).

Capítulo 2. Medicina nuclear y conceptos clave de física de radiaciones

Los conceptos presentados en este capítulo son fundamentales para introducirse al campo de la medicina nuclear; conocerlos ayuda a, posteriormente, comprender parte del proceso de trabajo y los aspectos que se evaluaron como parte de este proyecto. La medicina nuclear es la especialidad que utiliza sustancias radiactivas, conocidas como radiofármacos, para aplicarlas al diagnóstico, tratamiento e investigación médica. El capítulo aborda lo necesario para entender, en primer lugar, lo que es una sustancia radiactiva, por ello inicia con el concepto de isótopo radiactivo.

Los radioisótopos son elementos químicos que tienen un núcleo atómico inestable. La radiactividad de los isótopos se debe a un desequilibrio entre los neutrones y protones en su núcleo atómico. Para lograr una configuración estable llevan a cabo procesos de desintegración radiactiva, emitiendo radiaciones ionizantes de manera espontánea, las cuales consisten en partículas subatómicas (alfa o beta) o radiación gamma. Esta emisión de radiación se conoce como radiactividad.

Un radiofármaco está compuesto por un radioisótopo y una molécula transportadora con afinidad por un tejido o función específica de un órgano humano. También se puede usar el isótopo radiactivo si presenta propiedades biológicas adecuadas, aunque no es muy común. La radiación emitida por los radiofármacos se utiliza en medicina nuclear para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades; en el ámbito terapéutico se encarga de destruir las células anormales o cancerosas isótopos que emiten partículas beta (como el ^{131}I utilizado para tratar cáncer de tiroides).

Además, la radiación en forma de energía, como los rayos gamma, se puede detectar mediante equipos especializados y capturar sus ubicaciones en una región relevante para una interpretación médica, sin causar alteraciones tisulares ni funcionales. La gammagrafía, la tomografía por emisión de fotón único [SPECT] o la tomografía por emisión de positrones [PET] son algunas de las muchas técnicas que se pueden utilizar para obtener imágenes diagnósticas.

Es importante resaltar que el uso de radiaciones ionizantes en medicina nuclear se realiza de manera controlada, acorde a los estándares de seguridad radiológica para minimizar riesgos y efectos biológicos. Por ello también es necesario introducir otros conceptos, como dosis, antes de hablar de dichos efectos y de protección radiológica. La dosis indica la cantidad de energía que

se deposita o absorbe en la materia; ayuda a cuantificar el riesgo de padecer algún efecto biológico estocástico en el organismo. Este concepto también es clave en la protección radiológica ya que permite establecer límites de dosis para evitar daños a la salud.

La seguridad y protección radiológica son fundamentales para el bienestar de quienes ocupan fuentes de radiación en su trabajo. Se encargan de la regulación y el control de dichas fuentes, la vigilancia y el monitoreo de la exposición, la implementación de medidas de protección personal, así como del diseño y construcción de instalaciones seguras, entre otros aspectos.

La materia está constituida por átomos, cuya estructura la conforman el núcleo y la corteza. El primero se ubica en el centro del átomo y tiene carga eléctrica positiva (lo integran neutrones y protones, también llamados nucleones). La corteza es la parte más externa, posee carga eléctrica negativa porque aquí se ubican los electrones (Khan, 2014, p.1).

Un conjunto de átomos con la misma cantidad de protones (número atómico) en el núcleo constituyen un elemento. Cuando los átomos de un elemento se encuentran en un estado neutro, el núcleo tiene la misma cantidad de protones y de electrones, por lo que la carga neta es igual a cero. El número atómico indica cuántos protones hay en su núcleo.

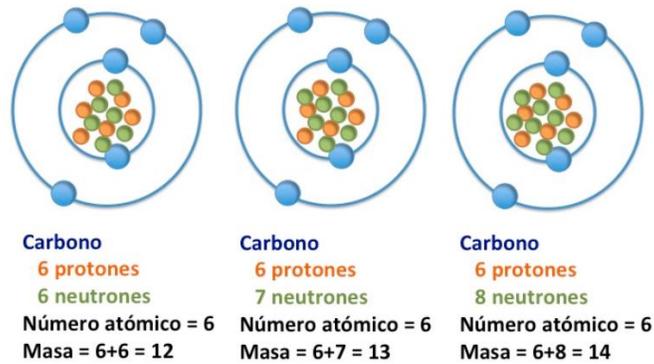
2.1 Isótopos radiactivos

A los átomos de un mismo elemento que poseen igual número de protones, pero una cantidad distinta de neutrones, se les conoce como isótopos, tienen el mismo número atómico pero diferente número de masa. Según el tiempo que tarde en desintegrarse un isótopo, pueden clasificarse como estables y radiactivos (Soler et al., 2015).

. Los elementos que carecen de la proporción adecuada de protones y neutrones para mantenerse estables se conocen como isótopos radiactivos. cuando el átomo tiene un desequilibrio de protones y neutrones, libera energía con la intención de volverse estable. El término "decaimiento radiactivo" se refiere a esta transición a la estabilidad que implica la liberación de energía del átomo en forma de radiación. En la Figura 2, se muestran los isótopos de carbono. A la izquierda se encuentra un átomo de carbono estable con seis protones y seis neutrones. El isótopo radiactivo del carbono, que contiene seis protones y ocho neutrones, es el ^{14}C .

Figura 2

Isótopos del carbono



Nota. Tomado de: *Tema 1. Conceptos básicos* [imagen], por Soler et al., 2015, Universitat de Barcelona (<http://www.ub.edu/minegeo/index.php/2-uncategorised/25-tema-1-conceptos-basicos>)

La radiación proviene del núcleo y puede ser corpuscular o en forma de ondas electromagnéticas. Estas partículas interactúan con los tejidos y pueden causar alteraciones físicas en ellos, haciendo posible que se aprovechen para proporcionar tratamientos de medicina nuclear. Por otro lado, las radiaciones electromagnéticas generadas en el decaimiento radiactivo, como la radiación gamma, se emplean con fines diagnósticos pues es posible detectarlas, cuantificarlas y transformarlas en imágenes mediante el uso de equipos o escáneres especiales (Castro Ulloa et al., 2018).

2.2 Radiactividad

La radiactividad se produce porque el núcleo atómico del radioisótopo (o radionúclido) es inestable, por lo que se reestructura o desintegra liberando el exceso de energía en forma de partículas alfa, beta, o radiaciones gamma para lograr su estabilidad.

Actividad [Bq]

Esta magnitud muestra la velocidad a la que se desintegra una muestra de una sustancia radiactiva específica. Indica la cantidad de desintegraciones que ocurren en una muestra radiactiva por unidad de tiempo. En el sistema internacional, su unidad de medición es el Becquerelio [Bq], en honor a Henry Becquerel, quien lo descubrió. Un Bq es la tasa de desintegración de un átomo por segundo, o sea, la tasa de desintegración de los núcleos de una muestra. (Khan, 2014, p. 13).

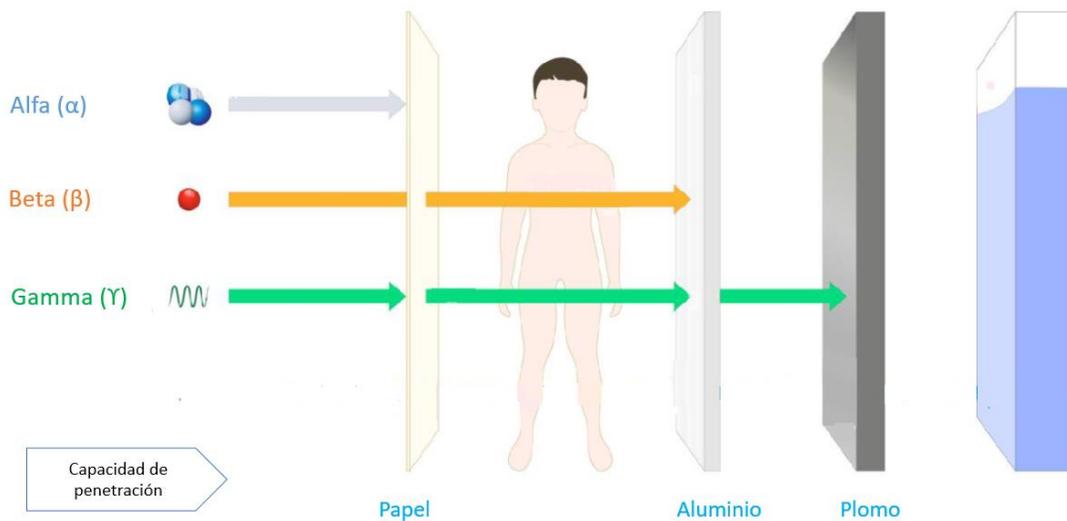
Vida media o Periodo de Desintegración

La vida media ($T_{1/2}$) o periodo de semidesintegración es el tiempo que toma que la mitad de los átomos radiactivos inicialmente presentes en una muestra se desintegren. También se puede entender como el tiempo requerido para reducir la actividad de un radionúclido a la mitad. Se utiliza como indicador de que la actividad decayó lo necesario para no representar un peligro potencial para el ser humano. Por lo tanto, un isótopo radiactivo es más peligroso cuando su vida media sea mayor. Este período es característico de cada radioisótopo, y por lo tanto difiere. Puede ir desde segundos hasta miles de años (Gomar, 2018).

Durante el proceso de desintegración del núcleo de un isótopo radiactivo se emiten partículas α o β , neutrones, radiación electromagnética como, radiación γ . Cada uno de estos mecanismos tiene características diferentes que son resultado de su naturaleza; las más importantes son: la capacidad de ionización y el poder de penetración, como se muestra en la figura 3. El poder de penetración depende principalmente de la longitud de onda, a menor longitud de onda, mayor poder de penetración (Consejo de Seguridad Nuclear [CSN] 2012; Villalobos et al., 2015).

Figura 3

Capacidad de ionización y poder de penetración de los diferentes mecanismos de desintegración nuclear.



Nota. Adaptado de: *Types of radiation* [ilustración], por Zhabska, 2019, Alamy (<https://www.alamy.com/types-of-radiation-penetrating-power-through-paper-human-aluminum-lead-and-water-alpha-beta-gamma-x-rays-and-neutrons-vector-illustration-image389827382.html>)

2.2.1 Radiación α

Las partículas alfa se constituyen de dos protones y dos neutrones, lo que equivale al núcleo de un átomo de helio. Tienen una gran capacidad de ionización en una distancia pequeña, debido a que su poder de penetración es menor; estas características hacen que la interacción con el cuerpo humano no sea peligrosa si provienen desde el exterior pues no son capaces de atravesar el espesor de la piel, ni una capa de aluminio de 0.1 mm. Sin embargo, si estas partículas se incorporan al organismo (por ingestión o inhalación) pueden representar un riesgo grave para la salud debido a su gran poder de ionización (Gomar, 2018).

2.2.2 Radiación β

Los isótopos radiactivos que son emisores de radiación beta, como el ^{131}I , se usan en medicina nuclear principalmente con fines terapéuticos. A diferencia de las partículas alfa, su capacidad de ionización es menor pero el poder de penetración es mayor; pueden atravesar la epidermis, pero no el tejido subcutáneo, una lámina de aluminio de 5 mm de espesor o una lámina de plomo de 0.1 mm pueden frenar este tipo de energía. Por lo anterior, las radiaciones beta implican los riesgos de irradiación y contaminación, éste último es el de mayor importancia. Hay dos tipos de radiación beta, las formadas por electrones negativos: β^- o positivos: β^+ (Gomar, 2018).

Radiación beta positiva (β^+): se produce al transformarse un protón en un neutrón, se emite un positrón (β^+), como resultando se obtiene el elemento inmediatamente anterior de la tabla periódica pero que posee la misma masa que el elemento que se transformó.

Radiación beta negativa (β^-): Se emite con la transformación de un neutrón en un protón y se obtiene el siguiente elemento de la tabla periódica, conservando la masa atómica. (Gomar, 2018).

2.2.3 Radiaciones Gamma

Los materiales radiactivos que contienen emisores gamma tienen un uso muy extenso en medicina nuclear, especialmente para diagnóstico. Esta radiación es de tipo electromagnética y

no tiene masa. Se origina en el núcleo excitado de un elemento principalmente después de liberar una partícula alfa o beta buscando la estabilidad; sin embargo, al no lograr deshacerse de toda la energía mediante ese mecanismo, emite radiación gamma para deshacerse de la energía remanente. Tiene un gran poder de penetración y es capaz de atravesar cientos de metros de aire, materiales de baja densidad y el cuerpo humano; se pueden frenar con láminas de plomo. Su uso también implica riesgos, en especial de irradiación, aunque su capacidad de ionización sea menor que el de las α y β (Gomar, 2018).

La radiación gamma, se puede detectar con escáneres o equipos especializados (como la gammacámara) que se encargan de captar y registrar los rayos gamma emitidos por los radiofármacos utilizados en los procedimientos de medicina nuclear. La gammacámara posee un detector de cristal que puede detectar y transformar la radiación gamma en señales eléctricas. Estas señales se procesan por un sistema de adquisición de datos y se utilizan para generar imágenes detalladas de la distribución de los radiofármacos emisores de radiación gamma en un órgano o región de interés con utilidad médica.

2.3 Radiación ionizante

Es energía que se propaga por el espacio, tanto en forma de partícula como de onda electromagnética. Incluye a las partículas alfa, beta, neutrones y rayos gama que emiten los átomos con núcleos inestables para alcanzar la estabilidad. Estas emisiones se denominan radiación, Sin embargo, también puede producirse mediante dispositivos de alto voltaje (por ejemplo, máquinas de rayos X). y por elementos combustibles en reactores nucleares (IAEA, 2016; Millar et al., 1990)

La radiación ionizante tiene energía suficiente para penetrar en la materia y cambiar su estructura mediante la ionización de los átomos que la conforman; esto puede ser a través de la ruptura de enlaces moleculares, para expulsar a un electrón, o más, fuera del átomo; pero también puede aportar un electrón, o más (IAEA, 2016).

2.4 Radiofármacos

Un radiofármaco es: “*un compuesto radiactivo utilizado para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades*”. El compuesto se utiliza con frecuencia como precursor de rutas bioquímicas o similares. Tiene dos partes: el radionúclido, que emitirá radiación detectable desde el órgano o

estructura de interés (actúa como un marcador) y el fármaco, o vehículo, que dará orientación y especificidad para distribuirse en el tejido blanco u objetivo después de su administración (funciona como un trazador). Este proceso de unir radioisótopos con moléculas es principalmente utilizado para fines diagnósticos, pero existen otros procedimientos en los que el radionúclido se usa en forma de compuesto orgánico (por ejemplo, sales), como es el caso del ^{131}I (Castro Ulloa et al., 2018).

Se pueden producir radionúclidos mediante dos formas: por la obtención de productos de la fisión nuclear (en reactores nucleares) o con el uso de un acelerador de partículas (ciclotrón). Hay diversos radioisótopos que se emplean en medicina nuclear, ya sea para tratamiento o para la obtención de imágenes; el más usado es el Tecnecio-99 metaestable ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) debido a sus propiedades físicas, como: vida media corta (6 hrs.) y su energía (140 KeV). Otros radioisótopos comúnmente utilizados se muestran en la tabla 2.

Tabla 1

Radionúclidos más usados en medicina nuclear.

Radionúclido	Usos
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Marcación de radiofármacos, gammagrafías de tiroides, glándulas salivales, mucosa gástrica
^{131}I	Diagnóstico y tratamiento, en particular para tiroides (hipertiroidismo y ablación tiroidea)
^{67}Ga	Detección de osteomielitis y linfomas
^{153}Sm	Tratamiento para el dolor en metástasis óseas.
^{90}Y , ^{186}Re , ^{169}Er	Tratamiento de artritis
^{201}Tl	Imagenología de tumores, miocardio y paratiroides
^{223}Ra	Tratamiento de metástasis óseas en cáncer de próstata.
^{18}F	Marcación de radiofármacos en PET.

Tomado y modificado de: Castro Ulloa et al., (2018). *Revisión de los principios básicos de medicina nuclear y radiofarmacia*. Rev. Colegio de Microb. Quim. Clin. de Costa Rica 3(24).

La radiación que emiten los isótopos empleados en medicina nuclear debe cumplir con una serie de características, entre ellas destacan: una vida media adecuada (de minutos o unas cuantas horas), el tipo de radiación (gamma o partículas alfa y beta) debe ser acorde al examen o

procedimiento, producción o adquisición sencilla, y características químicas que propicien la adhesión de la molécula que guía al compuesto. Con estos requisitos se busca que el radiofármaco sea seguro, efectivo y posea las siguientes características (Castro Ulloa et al., 2018):

- Biodistribución dirigida y enfocada al tejido de interés
- Excreción rápida y período de semidesintegración corto
- Detección rápida por los escáneres.
- Bajo riesgo de reacciones adversas
- Acceso y disponibilidad fáciles.

El radiofármaco se administra al paciente por diferentes vías, la más utilizada es la intravenosa (aunque también puede ser por inhalación o vía oral, entre otras). Antes de que se pueda detectar la radiación emitida por el radiofármaco, debe transcurrir un lapso de aproximadamente una hora para que se biodistribuya² y se concentre en el tejido de interés.

Posteriormente, es posible detectarse con algún escáner especializado como PET/CT o por SPECT, los cuales hacen posible la obtención de imágenes (Villalobos et al., 2015; Castro Ulloa et al., 2018). Después de algunas horas o días, el radiofármaco se elimina por la vía renal hasta alcanzar niveles indetectables y desaparecer por completo del cuerpo.

El radiofármaco que se utiliza con mayor frecuencia para estudios PET/CT es la flúorodesoxiglucosa ([¹⁸F] FDG), un análogo de la glucosa que normalmente está presente en el organismo humano (IAEA, 2014; Castro Ulloa et al., 2018).

2.5 Medicina nuclear

La OMS y el OIEA definen a la medicina nuclear como “la especialidad que se ocupa del diagnóstico, tratamiento e investigación médica, mediante el uso de radioisótopos como fuentes

² La biodistribución de un radiofármaco se refiere a la forma en que se distribuye y se acumula en el cuerpo después de su administración. Las diferentes características físicas y propiedades biológicas de los radiofármacos hacen que interactúen con algunas proteínas o azúcares (o se unan a ellos). Dicha interacción propicia que los fármacos se concentren en ciertas partes del cuerpo, según las características biológicas de cada zona. La detección externa de la radiación emitida por el radioisótopo hace posible la obtención de imágenes diagnósticas.

Puede variar por factores, como: la estructura química del compuesto, la afinidad por ciertos tejidos u órganos, y la velocidad de eliminación del radiofármaco del cuerpo.

abiertas”. Pero de manera más extensa: es el estudio y la aplicación de compuestos radiactivos al área médica para obtener imágenes diagnósticas y el tratamiento de enfermedades humanas (IAEA, 2014).

Las imágenes que se obtienen con MN, a diferencia de las obtenidas en radiología mediante rayos X, aportan información metabólica y funcional. Se basa en el "principio del trazador/marcador” el cual consiste en estudiar *in vivo* el camino (o destino) de los compuestos usando cantidades pequeñas de marcadores radiactivos. Estos estudios suelen reflejar cómo se distribuye el radiofármaco en el organismo, la información se adquiere como una secuencia de imágenes e indica cómo se distribuye el radiotrazador (IAEA, 2014; de Paula, 2018).

También se emplean radionúclidos con actividades mayores a 30 mCi para proporcionar tratamientos, especialmente en padecimientos oncológicos metastásicos avanzados, gracias a la capacidad que tienen para dirigirse a las células anormales y tratar la enfermedad en cualquier parte del cuerpo. La MN ofrece una serie de ventajas que explican por qué es tan frecuentemente usada, entre ellas se encuentran que: sus procedimientos son mínimamente invasivos, se utilizan pequeñas dosis de radiación, son indoloros, no hay restricciones en la edad de los pacientes, el costo no es muy elevado; sin embargo, varía de acuerdo al tipo de procedimiento, la probabilidad de que el paciente presente reacciones adversas es muy baja y permite la evaluación funcional o metabólica del organismo (Villalobos, et al. 2015; IAEA, 2014).

2.5.1 Técnicas para la obtención de imágenes

El médico elige un radiofármaco cuyo radioisótopo emite rayos gamma o partículas llamadas positrones, que se pueden detectar con un escáner llamado gammacámara para obtener imágenes. Este aparato detecta la región donde los radiofármacos se concentran y emiten radiación, luego convierte esta información en imágenes que muestran la ubicación y el tamaño del órgano o tejido de interés (incluidas las lesiones cancerosas).

Las imágenes se ocupan con frecuencia en cardiología y trastornos de la tiroides, u otras regiones del cuerpo (como los huesos, el hígado, los riñones, el cerebro). Además de utilidad para proporcionar datos precisos acerca del tamaño, la forma y ubicación de varios órganos y tumores, los radiofármacos y las imágenes diagnósticas también se usan para conseguir información de las capacidades funcionales de diferentes sistemas del cuerpo. Por ejemplo, las

imágenes cardíacas pueden evaluar las funciones y capacidades del corazón, observar cómo bombea la sangre a través del corazón y analizar los órganos en busca de tejido muerto o dañado. El dispositivo elemental para conseguir los estudios funcionales y anatómicos es la gammacámara, además de esta, dos tecnologías de imagen ocupadas principalmente en el diagnóstico con radionúclidos son la Tomografía Computarizada por Emisión de Fotón Único, (SPECT, por sus siglas en inglés) para la detección de radiación gamma y la tomografía por emisión de positrones (PET) para la detección de positrones. PET y SPECT se combinan junto con la tomografía computarizada convencional, por lo que la radiación que emiten los radiofármacos se puede detectar con extrema precisión, consiguiendo imágenes de cualquier tejido u órgano en 3D.

SPECT

Esta técnica de obtención de imágenes consiste en una tomografía computarizada por emisión de fotón único, más conocida como SPECT (por sus siglas en inglés). Su base es la detección de un fotón único, mismo que se produce durante el proceso de decaimiento radiactivo. Utiliza una cámara giratoria para detectar la radiación gamma emitida por el radioisótopo emisor de rayos gamma que se proporcionó al paciente; una computadora reconstruye la información detectada y forma una imagen. Las imágenes en 3D muestran la distribución del radiofármaco en el organismo, proporcionando información funcional sobre los procesos que acontecen a nivel celular o tisular (Castro Ulloa et al., 2018).

PET-CT

El PET-CT es un estudio de imagen molecular de alta sensibilidad, especificidad y exactitud diagnóstica mediante el que se consigue información de la función y anatomía de un área determinada del organismo; según el radiofármaco empleado, será la ruta metabólica que se evaluará (Villalobos, et al., 2015). Los radionúclidos usados en PET/CT emiten positrones β^+ de vida media corta (el periodo de su vida es de minutos) que se desintegran aún más rápido que los de SPECT, producen dos rayos gamma que se mueven en direcciones contrarias. Esto posibilita una visión desde varios ángulos, proporcionando una imagen en 3D de la región u órgano afectado.

Las imágenes que se obtienen con esta técnica tienen mayor calidad y detalle en comparación con el SPECT o la tomografía simple, permitiendo que la información metabólica sea más minuciosa y precisa (Castro Ulloa et al., 2018).

2.6 Magnitudes y unidades para la medición de la radiación ionizante

El término "dosis" se utiliza a menudo para describir una dosis absorbida o una dosis equivalente, según el contexto.

2.6.1 Dosis absorbida [Gy]

La unidad de medida de la radiación en el Sistema Internacional es el Gray (Gy) y se refiere a la dosis de radiación absorbida por el tejido (masa), 1 Gray=1 Joule/ kg) (IAEA, 2016). El Gray (Gy), indica el depósito real de un Joule de energía en un kilogramo de materia. Dado que el Gray es una unidad grande, es más común que en el ámbito de la protección radiológica se utilice el miliGray (mGy).

Esta magnitud indica la cantidad de energía que las radiaciones ionizantes ceden al medio (materia) con el que interaccionan. Sin embargo, no alcanza a expresar el daño que genera la radiación en los tejidos y órgano, pues este efecto depende de: la naturaleza, el tipo y la energía de la radiación y, de la sensibilidad de cada órgano o tejido expuesto. Para considerar estos aspectos se usan dos magnitudes adicionales: la dosis equivalente y la dosis efectiva; estas dos magnitudes se usan en la normatividad y regulación actuales para determinar los límites de dosis del POE y el público en general (ICRP, 2007, p.20).

2.6.2 Dosis equivalente [Sv]

La dosis equivalente es “la dosis absorbida en un órgano o tejido ponderada en función del tipo y calidad de la radiación” (ICRP, 2007, p.20).

El Sievert es una unidad que ayuda a cuantificar el riesgo de padecer algún efecto biológico estocástico, considerando el tipo de radiación y la sensibilidad de los órganos y tejidos; es decir, es una forma de estimar la radiación ionizante en términos de su capacidad para causar daño. Es más conveniente expresarlo en unidades más pequeñas, como el milisievert (mSv) o el microsievert (μ Sv), ya que es una unidad muy grande (OMS, 2016).

El Sievert no mide un depósito real de energía en el tejido, se usa para estimar una dosis equivalente, que se calcula utilizando la dosis real depositada multiplicada por un factor de ponderación que depende del tipo de radiación ionizante a la que se tuvo exposición (González, 2004).

2.6.3 Dosis efectiva [Sv]

La dosis efectiva (E) es la suma ponderada de las dosis equivalentes de las radiaciones internas y externas en los diferentes órganos y tejidos del cuerpo. Su unidad es el Sievert (Sv). Proporciona información general sobre el riesgo estocástico en el organismo humano.

2.7 Mecanismos de acción de las radiaciones ionizantes

Al penetrar en un medio, el haz de radiación cede su energía progresivamente mediante ionizaciones y excitaciones de los átomos que la constituyen. Las moléculas blanco en las células, son fundamentalmente el ADN y el agua (Goset, 2015).

La energía promedio depositada por unidad de longitud de trayectoria se mide mediante la transferencia de energía lineal LET. Por lo tanto, la radiación de baja LET es la que produce pocos eventos de ionización por unidad de longitud de trayectoria. Por su parte, las partículas con mayor carga y masa, que producen una gran densidad de ionizaciones en su recorrido se consideran de alta LET (partículas α , protones, iones pesados, etc).

La LET depende del tipo de radiación, las hay más y menos ionizantes y tiene una relación directamente proporcional con el efecto biológico obtenido (Goset, 2015).

La exposición de las células a la radiación ionizante de alta LET provoca la detención del ciclo celular antes de la reparación del ADN, la inducción de mutaciones, la transformación y la muerte celular (Jeggio y Lavin, 2009).

Cuando las lesiones producidas sobre el genoma son consecuencia directa de la ionización radioinducida sobre alguno de sus componentes moleculares, se dice que el mecanismo de acción de la radiación es directo y, es indirecto cuando este daño se produce por radicales libres, formados principalmente a partir de la radiólisis del agua (Goset, 2015), Los radicales libres generados por la radiación también pueden alterar las proteínas y los lípidos de la membrana (Jeggio y Lavin, 2009). Así, el oxígeno y todas las sustancias con alto poder oxidativo tienen propiedades radiosensibilizantes (Ballesteros-Zebadúa et al., 2012; Goset, 2015).

Los efectos genotóxicos aparecen dependiendo de la dosis absorbida, después de una exposición prolongada a dosis bajas (< 100 mGy). El núcleo, incluido su material genético, es más radiosensible que las estructuras citoplasmáticas de la célula. Los cambios nucleares después de la exposición a la radiación generalmente incluyen la inflamación de la membrana nuclear y la

alteración de los materiales de cromatina. Algunos efectos genéticos se manifiestan como cambios en el número y estructura de los cromosomas y mutaciones genéticas (Shore, 2014).

En resumen, la respuesta de los tejidos a la radiación depende de: el tipo de tejido y volumen irradiado; la dosis total administrada y el tiempo en el que se proporcionó; la presencia de agentes oxidantes (Goset, 2015). En general, el tiempo de desarrollo de la lesión inducida por radiación está directamente relacionado con la tasa de recambio de los tipos de células en un tejido. Por ejemplo, para tejidos de proliferación lenta, esto puede llevar meses o años (Nagayama, 2005).

2.7.1 Efectos biológicos de la radiación

Uno de los efectos que pueden ocurrir en la materia viva cuando se expone a la radiación es la destrucción celular. Para dosis relativamente bajas (<100 mGy), solo mueren pocas células, y el resultado para la salud generalmente no es grave. En este caso los mecanismos de reparación celular actúan reemplazando a las células dañadas y no se producen reacciones tisulares. Pero, si la dosis es alta, es posible que las células dañadas mueran o se vea impedida su reproducción (Gisone y Perez, 2001). Si un gran número de células mueren, pueden producirse reacciones como: pérdida de la funcionalidad del tejido, ampollas, quemaduras, lesiones tisulares, fallas orgánicas y, en casos severos la muerte. (González, 2004).

Los efectos se pueden clasificar de acuerdo a la dosis, en:

- *Efectos estocásticos*: son aleatorios, probabilísticos; se pueden manifestar después de la exposición a dosis bajas de radiación (menores a 100 mSv³). No requieren un umbral determinado de dosis para producirse. Aunque la probabilidad de aparición aumenta con la magnitud de la dosis, los efectos que se generan suelen ser tardíos; ocurren principalmente en células madre y germinales debido a que tienen una mayor tasa de división celular y sensibilidad a la radiación. Los principales ejemplos son el cáncer radioinducido o las mutaciones genéticas (Saravia-Rivera, 2013; Güerci y Córdoba, 2015).

El riesgo de presentar efectos estocásticos implica también que su probabilidad de aparición incrementa con la dosis absorbida, depende de otros factores como el tipo de radiación, el tipo de tejido u órgano irradiado.

³ Según la convención de la ICRP, las dosis que generan reacciones tisulares (efectos deterministas) deben indicarse en Gy o dosis ponderada de efectividad biológica relativa (RBE) RBED (Gy), en lugar de Sv, que se reserva para efectos estocásticos (ICRP, 2012).

- *Efectos deterministas*: se requiere una dosis umbral para producir reacciones clínicamente detectables; por debajo de esta la probabilidad de que aparezcan es muy baja. En la tabla 2 se muestran las dosis umbrales para diferentes reacciones. Generalmente aparecen de forma temprana, la severidad de la reacción aumenta conforme lo hace también la dosis. Por lo general, la cantidad de células afectadas es grande, como en el eritema cutáneo (Saravia-Rivera, 2013; Núñez 2008). Los efectos deterministas (o reacciones tisulares) también pueden afectar la funcionalidad de los tejidos u órganos, por ejemplo, alteraciones neurológicas como cambios.

Tabla 2

Estimaciones de las dosis umbral que causan incidencia de morbilidad en tejidos y órganos en el ~1% de adultos expuestos a irradiación aguda y crónica.

Efecto	Órgano/ tejido	Tiempo para desarrollar el efecto	Exposición aguda (Gy)	Tasa de dosis anual (Crónica) durante muchos años (Gy/año)
Esterilidad temporal	Testículos	3-9 semanas	~ 0.1	0.4
Esterilidad permanente	Testículos	3 semanas	~ 6	2.0
Esterilidad permanente	Ovarios	< 1 semana	~ 3	> 0.2
Disminución de la hematopoyesis	Médula ósea	3-7 días	~ 0.5	> 0.4
Catarata (deterioro visual)	ojo	> 20 años	~ 0.5	~ 0.5 dividido por años de duración

Fuente: ICRP. (2012). *Publicación 118*.

La probabilidad de que se manifiesten efectos estocásticos es muy baja para dosis anuales inferiores a ~100 mSv. Aunque todavía hay incertidumbre sobre la magnitud del riesgo, si lo hay, de bajas dosis acumulativas del orden de 5- 50 mSv. Hasta ahora no hay evidencia experimental contundente acerca de los riesgos a dosis bajas (Tsai,2022; UNSCEAR, 2022; Shore, 2014). Algunos estudios sugieren la posibilidad de que existan efectos biológicos adversos en el rango de 5-50 mSv con indicios de que la inestabilidad genómica puede incrementar el riesgo (Martínez et al., 2010; Suzuki y Yamashita, 2012; Shore, 2014). Los

efectos genéticos incluyen cambios en el número y estructura de los cromosomas y mutaciones genéticas. Otros datos apoyan una interpretación “sin riesgo” gracias a las respuestas adaptativas, la reparación del ADN en dosis bajas y otros sistemas de protección (Shore, 2014).

Sin embargo, no hay evidencia epidemiológica fehaciente de riesgo cancerígeno a dosis bajas, es hasta ahora un riesgo hipotético derivado del modelo lineal sin umbral. Este modelo postula que no existe un umbral de dosis por debajo del cual la exposición a la radiación no tenga efectos perjudiciales. Se basa en una relación lineal entre la dosis de radiación y el riesgo de efectos adversos (Tsai, 2022).

Es muy difícil detectar epidemiológicamente efectos estocásticos producidos por la exposición a dosis bajas de radiación, por debajo de 100 mSv, debido a que la probabilidad de que ocurran estos efectos aumenta con la dosis, pero su manifestación o gravedad no. Por ejemplo, la aparición de tumores y cánceres son algunas afecciones, pero determinar si un cáncer fue radioinducido es complicado debido a: la aparición tardía de los signos clínicos (pueden manifestarse después de un largo período de latencia, dificultando la asociación directa entre la exposición a la radiación y la aparición del cáncer), la presencia de otros factores de riesgo (como la genética, el estilo de vida) y la variabilidad en la respuesta de los tejidos a la radiación.

Los tumores radioinducidos pueden aparecer en la misma área irradiada, pero también se pueden desarrollar en una zona distinta, alejada.

Debido a que el trabajo con radiaciones entraña el riesgo de padecer efectos biológicos es esencial implementar medidas de protección para minimizar la exposición a la radiación y reducir los riesgos asociados. Por ejemplo, en un servicio de medicina nuclear es necesario que el POE use dosímetros para el monitoreo de la dosis y se debe supervisar que no se superen los límites de dosis establecidos (50 mSv), por lo que se descartaría la aparición de efectos deterministas. La ICRP especifica los estándares de protección radiológica.

2.8 Protección y seguridad radiológica

La protección radiológica es “una disciplina enfocada en prevenir o disminuir la frecuencia de los efectos nocivos de la radiación a un nivel en el que el impacto sobre el medio ambiente (la conservación de las especies, los estados de hábitats naturales, comunidades, ecosistemas, etc.) sea despreciable, es decir, mínimo o insignificante; además de proteger la salud humana

reduciendo la probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos y evitando la aparición de efectos determinísticos” (ICRP, 2007). Se ocupa de dictar las medidas requeridas para limitar la exposición a la radiación ionizante.

Por su parte, otra disciplina fundamental para el uso apropiado de las radiaciones es la seguridad radiológica, esta abarca el control de las fuentes de radiación y la prevención de la exposición innecesaria, así como la protección contra la exposición accidental o intencionada (OIEA et al., 1997). Esto incluye la regulación y el control de las fuentes de radiación, la vigilancia y monitoreo de la exposición, el diseño y construcción de instalaciones radiológicas seguras y la implementación de medidas de protección personal y colectiva, entre otros aspectos.

La protección radiológica se basa en tres factores principales (ICRP, 2007):

- ✚ Tiempo: La dosis recibida depende del tiempo de exposición. Cuanto menos tiempo se esté expuesto a la fuente radiactiva, menos dosis se recibirá.
- ✚ Distancia: A mayor distancia entre la fuente radiactiva y las personas (trabajadores o pacientes), la exposición disminuirá de manera inversa al cuadrado de la distancia, ley del inverso al cuadrado⁴.
- ✚ Blindaje: los blindajes son un recurso para reducir los niveles de radiación en un punto deseado. Un ejemplo de blindajes son las paredes emplomadas de las salas de tratamiento o imagenología.

A nivel internacional existen principalmente tres organizaciones que se encargan de emitir recomendaciones y normas importantes para la protección radiológica: el Organismo Internacional de Energía Atómica [OIEA] que prescribe los estándares de seguridad y se encarga de su aplicación, el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los efectos de la Radiación Atómica [UNSCEAR] que estudia los efectos de la radiación y la Comisión Internacional de Protección Radiológica [ICRP] (Saravia, 2013).

La protección radiológica posee tres principios básicos: justificación, optimización y limitación de dosis (ICRP, 1990):

- La justificación evalúa los beneficios y riesgos del uso de la radiación para procedimientos y tratamientos. Comúnmente, los procedimientos que requieren que los

⁴ La ley del inverso al cuadrado dice que la intensidad de la radiación disminuye conforme incrementa la distancia entre la fuente y el punto de interés. Es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, según esta ley. Por lo tanto, la intensidad de la radiación disminuye rápidamente al alejarnos de la fuente.

pacientes se expongan a radiación son médicamente necesarios y, por lo tanto, los beneficios superan los riesgos.

- La optimización establece que la magnitud de las dosis individuales, la cantidad de personas expuestas y la probabilidad de que se generen exposiciones diferentes a las que se prevén regularmente, se deben mantener tan bajas como sea posible lograr (principio ALARA, As Low As Reasonably Achievable, por sus siglas en inglés) considerando los factores económicos y sociales. Esto, debido a que cualquier exposición implica un riesgo.
- Limitación: es el requisito necesario para garantizar una protección adecuada. Los límites que se recomiendan indican los valores de dosis efectiva y equivalente que no deben excederse en las circunstancias de exposición de las personas a las radiaciones ya sea con motivo de su trabajo o con fines médicos (ICRP, 1990; 2007).

Para alcanzar parte de los objetivos de la protección radiológica, la limitación de la dosis es fundamental; contribuye a garantizar la seguridad de las personas expuestas, ya sean pacientes, trabajadores o el público en general. La dosis es un factor clave debido a su relación directa con los efectos biológicos de la radiación. Es importante controlar y limitar la dosis de radiación para evitar efectos perjudiciales en la salud.

Además, la dosis también se utiliza como referencia para evaluar los riesgos asociados con la radiación y establecer directrices y protocolos de protección radiológica. Se instauran niveles de referencia para garantizar que los procedimientos de diagnóstico y tratamiento sean seguros y efectivos.

2.8.1 Dosis permitidas.

La dosis es la cantidad de energía absorbida por un tejido o persona expuesta a la radiación durante un determinado periodo de tiempo (Hernández Piñero y Pernalet Ruiz, 2017). La magnitud de los efectos biológicos guarda una estrecha relación con la dosis impartida en los tejidos.

En situaciones en las que las personas se vean involucradas en diferentes prácticas con radiaciones, se recomiendan límites para las dosis efectivas y equivalentes. Es fundamental comprender que estos valores representan las exposiciones a un riesgo aceptable (ICRP, 2007; 2012).

Hay autoridades internacionales encargadas de, entre otras cosas, emitir valores recomendados; pero, la mayoría de países posee sus límites anuales de dosis. En México están dispuestos en los artículos 20, 21, 27 y 28 del Reglamento General de Seguridad Radiológica:

- Para efectos estocásticos: 50 mSv para el POE y 5 mSv para el público.
- Para efectos no estocásticos: es de 500 mSv para el POE, independientemente de si los tejidos se irradian de manera aislada o con otros órganos. Para el cristalino se establece un valor de 150 mSv.

Los límites de dosis ocupacional dictados por la ICRP para efectos deterministas y el cristalino son iguales a los nacionales. Sin embargo, para efectos estocásticos es de 20 mSv por año, promediada en períodos de 5 años consecutivos (100 mSv en 5 años), con la condición adicional de que la dosis efectiva no deberá exceder 50 mSv en cualquier año (ICRP, 2007, p.86).

La dosis recibida depende de la duración de la exposición, la cantidad y tipo de radiación emitida por la fuente de radiación, la distancia entre la fuente y la persona, y el grado y tipo de protección existente en el lugar. (IAEA, 2016; UNSCEAR, 2018).

En general, un trabajador tiene mayor riesgo de recibir dosis altas de radiación si está:

- Muy cerca de una fuente de radiación sin blindaje o parcialmente blindada.
- Sin protección al manipular materiales radiactivos.
- En las proximidades de superficies o áreas contaminadas con materiales radiactivos (p. ej., por pequeños derrames o fugas).

Las Normas Básicas de Seguridad del OIEA establecen que debe existir un programa de protección radiológica ocupacional, gestionado en coordinación con otras disciplinas de salud y seguridad en todos los lugares de trabajo relacionados con la radiación ionizante (IAEA, 2016). Se aplican a actividades e instalaciones que dan lugar a riesgos radiológicos. Se utilizan, de acuerdo con la situación, durante la vida útil de todas las instalaciones y actividades, y se incluyen en las medidas preventivas destinadas a disminuir los riesgos asociados con las radiaciones.

2.8.2 Zonas controladas

El Reglamento General de Seguridad Radiológica (1988), indica que todas las instalaciones radiactivas deben establecerse zonas controladas, en las cuales el permisionario tiene que ejercer supervisión y control para brindar adecuada protección radiológica.

En estas áreas, se pueden requerir medidas específicas de protección y equipo de seguridad para controlar las exposiciones normales o prevenir la propagación de la contaminación en condiciones normales de trabajo (ICRP, 2007).

Deben cumplir con requisitos en su diseño y construcción con el fin de que el equivalente de dosis efectivo anual que reciba el POE, no exceda los límites de dosis establecidos. La NOM-040-NUCL-2016 contiene las características que deben tener estas áreas, entre ellas:

- El acabado de todas las paredes debe ser liso y revestido con pintura lavable y no porosa;
- Todos los pisos deben tener un acabado plano, impermeable, sin juntas ni uniones;
- El acabado entre el piso y la pared deben estar sellados y tener una curva sanitaria sellada;
- La(s) salida(s) del área controlada deben señalizarse y contar con un equipo para determinar la no contaminación del POE y su vestuario al salir del área controlada;
- Cuando haya ventanas de transferencia, su superficie se debe recubrir con una pintura lavable no porosa;
- Los muebles deben ser los mínimos necesarios, fácilmente descontaminables en toda su superficie. No se permiten cubiertas de tela o materiales absorbentes;
- Además, el acceso a las zonas controladas se debe señalizar, indicando lo siguiente:
 - Nombre del área, sala o cuarto al que se ingrese.
 - Símbolo internacional de advertencia por la presencia de radiaciones ionizantes según lo prescrito por la NOM-026-STPS-2008
 - Las leyendas: “PELIGRO – ZONA CONTROLADA – MATERIALES RADIATIVOS – PROHIBIDO EL PASO A TODAS LAS PERSONAS NO AUTORIZADAS”; y
 - En las salas de espera de pacientes a los que se les administró material radiactivo y el cuarto de hospitalización las leyendas serán "ZONA CONTROLADA - PARA USO

EXCLUSIVO DE PACIENTES A QUIENES SE LES HA ADMINISTRADO MATERIAL RADIATIVO".

2.8.3 Personal ocupacionalmente expuesto (POE)

Se refiere a las personas que se exponen a radiaciones ionizantes o a material radiactivo durante el ejercicio de su ocupación o con motivo de esta. Los empleados que puedan exponerse ocasionalmente a este tipo de radiación durante su trabajo están excluidos, siempre y cuando su dosis efectiva anual no exceda los siguientes límites.: 5 mSv/año para efectos estocásticos; 50 mSv para efectos no estocásticos (RGSR, 1988, pp. 9 y 11). De manera complementaria, la ICRP (2007) en su publicación 103, señala que se excluyen (de la categoría ocupacional) las exposiciones médicas y las debidas al fondo natural.

2.8.4 Irradiación Externa y Contaminación.

La irradiación es el proceso mediante el cual la energía producida por alguna fuente de radiación se deposita en la materia con la que interacciona. En la irradiación externa la fuente se encuentra a cierta distancia del área irradiada, como ocurre en las radiografías y algunas modalidades o tipos de tratamientos como la teleterapia. La severidad del riesgo está en función del tipo, la energía y la dosis de radiación que recibe el medio o tejido (Villalobos, et al., 2015).

La contaminación es la presencia de radionúclidos en el organismo humano (contaminación personal) o en el ambiente (contaminación ambiental). En el primer caso, hay dos tipos de contaminación; interna y externa. La contaminación interna se da cuando la fuente (radionúclido) se incorpora al organismo, puede ser mediante los alimentos, el aire, etc. Mientras que la contaminación externa ocurre cuando se depositan en la piel (CSN, 2012; Villalobos et al., 2015).

Los riesgos que puede generar la contaminación están determinados por diversos factores como: el tipo de emisión y la energía que tiene asociada, la cantidad del material radiactivo que produjo la contaminación (interna o externa), el periodo de semidesintegración. De igual forma se tiene que considerar al tejido que recibirá la mayor dosis de radiación , y por lo tanto podría ser el más afectado (CSN 2012).

La exposición, la dosis absorbida y la dosis equivalente se relacionan con la irradiación externa, mientras que la actividad está relacionada con la contaminación.

Irradiación externa

A la transferencia de energía de un material radiactivo a otro material sin contacto físico entre ellos se le conoce como riesgo de irradiación externa. La exposición ocurre solo cuando la fuente de radiación está activa; esta situación se da, por ejemplo, con los aceleradores de partículas, los generadores de rayos X y la manipulación de fuentes selladas.

Cuando la sustancia radiactiva entra en contacto con el cuerpo y puede ingresar por cualquier vía (respiratoria, dérmica, digestiva o parenteral), existe el peligro de contaminación radiactiva.

En este capítulo se abordaron, entre otras cosas, los efectos biológicos, la importancia de seguir los principios de protección radiológica y respetar los límites de dosis para preservar el bienestar de los trabajadores. Cumplir cabalmente los objetivos de la protección radiológica requiere la regulación con leyes y normas. Estas permiten controlar y regular el uso de las fuentes de radiación, tales como equipos médicos, materiales radiactivos, etc.; contribuyendo a garantizar que se utilicen de manera segura y se minimice la exposición innecesaria.

Las regulaciones establecen requisitos de seguridad y medidas de prevención para accidentes y emergencias radiológicas. Incluye la capacitación del personal, la planificación de respuestas en caso de incidentes radiológicos, entre otras cosas. Además, obliga a aplicar controles de calidad, asegurando que los equipos estén calibrados correctamente y se utilicen técnicas adecuadas para garantizar resultados precisos.

Capítulo 3. Marco legal de la práctica de la medicina nuclear.

Este capítulo inicia presentando la recomendación R114 de la OIT, debido a que es un referente que México acordó implementar y, contribuyó al desarrollo de medidas de seguridad que posteriormente se establecieron en el marco legal mexicano. Después se presentan las Normas Oficiales Mexicanas, o bien, apartados del RGSR que indican los requerimientos que deben cumplir las instalaciones médicas que ofrecen servicios que involucran el uso de fuentes de radiación ionizante. Posteriormente, se habla de las Normas Oficiales Mexicanas que están enfocadas específicamente a la medicina nuclear.

Adicionalmente, se habla de las Normas o reglamentos relacionados a la seguridad e higiene que tienen aplicabilidad en todos los centros de trabajo del país y deben cumplirse.

3.1 Internacional

Desde 1960, la OIT decidió adoptar diversas recomendaciones relacionadas a la protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes. La recomendación 144 (**R-114**) sobre la protección contra las radiaciones, 1960, reúne estas recomendaciones. Se decidió que se debería aplicar mediante la legislación de los países que la ratificaran a través de una recopilación de recomendaciones prácticas. Para el efecto de la R-114, cada país debería acordar consultar con su autoridad competente a los empleadores y trabajadores.

La R-114 es aplicable a todas las actividades que impliquen la exposición de los trabajadores a las radiaciones ionizantes con motivo del desempeño de su trabajo.

También establece niveles de dosis máximos admisibles con base a las recomendaciones hechas por la ICRP. Estipula, además que se deben adoptar medidas y métodos para la protección colectiva e individual con el fin de no exceder los límites establecidos.

En un apartado especifica que se deben utilizar métodos y dispositivos de protección colectiva, y cuando no sean suficientes, deberán complementarse con dispositivos de protección individuales. En otra sección habla de la necesidad de un responsable que se encargue de vigilar la operación de los centros que usan RI, esta persona debe ser designada por el empleador y tendrá por obligación atender los aspectos referentes a la protección radiológica.

Otro aspecto relevante para la salud de los trabajadores que se aborda en esta recomendación es la solicitud de exámenes médicos periódicos (mismo aspecto que también requieren la NOM-

026-NUCL-2011 y la NOM-012-STPS-2012) al personal ocupacionalmente expuesto, y se estipula que: si como resultado de un dictamen médico, se considera inoportuno continuar exponiendo a algún trabajador a radiaciones ionizantes en el curso de su empleo normal, se debe reubicarlo a otra área (OIT, 1960).

3.2 Nacional

En el país el uso de las radiaciones ionizantes está regulado (en orden de importancia) por el artículo 27 constitucional en materia nuclear, el Reglamento General de Seguridad Radiológica y diversas normas. Además, existe una Comisión especial encargada de vigilar y regular el uso de la energía nuclear y, por ende, de las radiaciones ionizantes; todos establecimientos que emplean fuentes radiactivas, en cualquiera de sus aplicaciones, están reguladas por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS)

El artículo 27, regula la explotación y el beneficio de minerales radiactivos, así como el aprovechamiento de los combustibles nucleares, los usos de este tipo de energía, la investigación de la ciencia y técnicas nucleares, así como la industria nuclear y todo lo relacionado con la misma.

El Reglamento General de Seguridad Radiológica (RGSR), posee relevancia legal en México, ya que establece las condiciones y requisitos necesarios para garantizar la seguridad radiológica en las diferentes aplicaciones de la radiación ionizantes. Es aplicado por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) en cumplimiento con la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en materia nuclear.

El RGSR faculta a la CNSNS para expedir apéndices, normas técnicas, manuales e instructivos necesarios para desarrollar, hacer explícitas y estipular la forma en que deben cumplirse las disposiciones del Reglamento. En este se contemplan aspectos como los equivalentes de dosis, las fuentes de radiaciones, los requerimientos de las instalaciones radiactivas, los trámites ante las autoridades y las responsabilidades de los establecimientos. Este reglamento consta de once títulos, 270 artículos y diversos apartados en los cuales se asientan los lineamientos necesarios para la implementación y la práctica de la seguridad radiológica. Cuenta con las disposiciones para establecer: un sistema de limitación de dosis y su respectiva aplicación; además, señala los límites de equivalente de dosis (para el público y para el POE); las condiciones bajo las cuales una persona se puede exponer a la radiación; los sistemas de seguridad adecuados que deben tener las fuentes de radiación ionizante tanto abiertas

como selladas; las características de las instalaciones radiactivas y las condiciones para su uso; los equipos necesarios para la implementación y el cumplimiento del programa de protección radiológica; las obligaciones y lineamientos que deben cumplir el permisionario, el encargado de seguridad radiológica y el personal ocupacionalmente expuesto; los requisitos que deben cumplir las aplicaciones médicas, ya sean terapéuticas o de diagnóstico; las medidas preventivas y de seguridad para evitar accidentes radiológicos, así como los procedimientos que se deben seguir en caso de que se suscitara alguno; las autorizaciones, permisos y licencias con las cuales deben contar los establecimientos que utilizan radiaciones ionizantes; así como los procedimientos administrativos que deben seguirse para garantizar el funcionamiento adecuado y seguro de estos establecimientos, como las inspecciones, auditorías, verificaciones y reconocimientos.

En la NOM-012-STPS-2012, *Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, usen, manejen, almacenen o transporten fuentes de radiaciones ionizantes*, también se especifican las condiciones de seguridad radiológica que deben cumplir estos espacios de trabajo. Indica que se debe contar con un programa de seguridad y protección radiológica, un plan de atención a emergencias radiológicas, y que se debe efectuar un reconocimiento en las áreas donde existan fuentes de radiación, así como una evaluación de los riesgos. La aplicación de medidas de control para situaciones de emergencia, así como los aspectos que se deben cumplir para brindar capacitación y entrenamiento al personal, y para efectuar una vigilancia médica efectiva del POE, tanto al ingreso como durante el tiempo que trabaje en estas instalaciones.

Por su parte, las diferentes Normas Oficiales Mexicanas en materia nuclear, especifican cómo deben realizarse las actividades que implican equipo y sustancias radiactivas. Tanto el reglamento como las normas deben aplicarse en las instalaciones para su operación y su cumplimiento es vigilado por la Comisión reguladora del país. En estas normas se ofrece información como parámetros, procedimientos y anexos que guían y facilitan el cumplimiento del RGSR.

De manera particular, los servicios de medicina nuclear tienen que implementar los requisitos especificados en la NOM-040-NUCL-2016, *Requisitos de seguridad radiológica para la práctica de medicina nuclear*. Aquí se puntualizan varios aspectos del RGSR pero de manera específica para este tipo de establecimientos. Se estipulan los requisitos generales de las instalaciones de MN; los requisitos para los equipos de protección radiológica (como detectores

de radiación ionizante, activímetro, etc.); las características del POE; los procedimientos de control para el uso y disposición del material radiactivo; y, se incluyen apéndices referentes a la verificación del activímetro, al registro de la contabilidad del material radiactivo, así como una evaluación de conformidad.

Según lo dispuesto en esta norma, es requisito que un servicio de medicina nuclear cuente con una zona controlada, dentro de la cual se localicen las siguientes áreas: un cuarto caliente equipado con un área para la apertura de bultos y una para la preparación de radiofármacos. La zona controlada también debe contar con almacenes para: material radiactivo, desechos radiactivos y objetos contaminados además de otros espacios para la descontaminación personal, la administración del material radiactivo al paciente; salas de espera para los pacientes que recibieron material radiactivo como parte de su estudio diagnóstico y salas para la toma de estudios conformada por un área de control de los equipos de adquisición de imágenes y un cuarto donde se ubiquen los equipos de adquisición de imágenes.

Estas instalaciones requieren de un sanitario para uso exclusivo de pacientes. Según el tipo de isótopos radiactivos que se tengan autorizados, también se requiere de un cuarto de hospitalización para quienes no cumplan con los requisitos de egreso.

La NOM-040 es esencial para la práctica de la MN porque también indica los requisitos de diseño, construcción, acabados, materiales y mobiliario que deben considerarse en los departamentos de medicina nuclear. Establece los requerimientos de las instalaciones como: que las paredes y el techo se deben cubrir con pintura lavable y no porosa, además se debe evitar el uso de azulejos convencionales en las paredes y el piso debido a las uniones entre cada pieza, o bien, estas se deben sellar y redondear con el fin de facilitar la descontaminación del lugar.

Menciona cómo debe ser la señalización de las zonas controladas y el mensaje de las leyendas. Además, dispone los requisitos con los que deben contar los equipos para protección radiológica, el personal necesario, y sus obligaciones, para la operación de estos servicios, de acuerdo con las actividades y tipo de estudios (por ejemplo, de alta complejidad como: PET) que se realicen.

Para la evaluación del presente estudio se tomaron en cuenta en el contenido del cuestionario de verificación: el RGSR, la NOM-012-STPS-2012, la NOM-040-NUCL-2016, la NOM-26-NUCL-2011 y la NOM-031-NUCL-2011, pues los aspectos que evalúan son indispensables para la práctica de la medicina nuclear y la seguridad radiológica en esta área.

A continuación, se menciona de manera general el contenido de estas Normas:

- NOM-013-NUCL-2009, “requerimientos de seguridad radiológica para egresar a pacientes a quienes se les ha administrado material radiactivo”, contempla los procedimientos y requisitos necesarios para poder autorizar la salida segura de pacientes a los que se realizó algún procedimiento de MN, con el fin de evitar que las personas con las que puede interactuar sufran exposiciones a la radiación.
- NOM-026-NUCL-2011, “Vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes”. Detalla las medidas para el monitoreo de la salud del POE, estableciendo que es necesaria la realización de estudios de gabinete y exploraciones físicas para los trabajadores desde que son candidatos para un puesto de POE y que se deben repetir de manera periódica por un profesional médico especialista en los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, con la finalidad de detectar de manera oportuna alguna desviación en la salud, en caso de que esto ocurriera. También indica que se debe conformar un expediente médico para cada trabajador y emitir un certificado médico de aptitud.
 - NOM-031-NUCL-2011, “Requisitos para el entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes”. En esta Norma se dispone no solo que se debe proporcionar capacitación al inicio de la relación laboral, sino también de manera anual. Además, se mencionan los temas que se deben cubrir teóricamente y de manera práctica para asegurar que los procedimientos se realicen teniendo en cuenta los estándares de seguridad.

Existen otras normas que se relacionan con el manejo de las radiaciones ionizantes en la MN, entre ellas se encuentran: NOM-013-NUCL-2009 “Requerimientos de seguridad radiológica para egresar a pacientes a quienes se les ha administrado material radiactivo”; NOM-004-NUCL-1994, “Clasificación de los desechos radiactivos”; NOM-041-NUCL-2013 “Límites anuales de incorporación y concentraciones en liberaciones” la NOM-008-NUCL-2011, “Control de la contaminación radiactiva” y, la NOM-028-NUCL-2009 referente al manejo de desechos radiactivos en instalaciones que utilizan fuentes abiertas.

Sin embargo, en un espacio de trabajo de medicina nuclear no se puede reducir la seguridad e higiene a la atención del riesgo físico derivado de las radiaciones ionizantes, por lo que se tomaron en consideración otras Normas de aplicación obligatoria para todos los centros de trabajo mexicano, como: el Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo, Este

reglamento tiene el propósito de prevenir de accidentes y enfermedades en el lugar de trabajo, así como promover una cultura de seguridad y protección para los trabajadores mexicanos. Establece los derechos y obligaciones de los empleadores y trabajadores en materia de seguridad y salud laboral.

Este Reglamento se complementa con otras Normas Oficiales Mexicanas que ayudan a que su propósito se cumpla, entre ellas se encuentran: la NOM-030-STPS-2009 "Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo", la NOM-019-STPS "Constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo" y la NOM-035-STPS-2018 "Factores de riesgo psicosocial en el trabajo -Identificación análisis y prevención". A través de ellas se solicita que se hagan reconocimientos de los distintos tipos de riesgos en los espacios de trabajo, que se brinden servicios a los trabajadores, vigilancia médica, que se designe a una figura encargada de atender y gestionar la seguridad e higiene, que se realicen recorridos de verificación y se propongan medidas preventivas o correctivas, entre otras.

Otras Normas de la Secretaría del Trabajo y Previsión social (STPS) que no son propias de estos servicios, pero resultan relevantes debido a que su contenido está presente en los ambientes de trabajo, son:

- NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tubería
- NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad, prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo.
- NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal, selección uso y manejo en los centros de trabajo.
- NOM-022-STPS-2008, Electricidad estática en los centros de trabajo, condiciones de seguridad.
- NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

En la mayoría de estas normas se proporciona información útil, en forma de guía que describe las características que debe cumplir cada aspecto, por ejemplo, las señales y avisos; o proporcionando límites/valores de referencia (como de iluminación) para los distintos espacios de trabajo.

Capítulo 4. Contexto sociohistórico del estudio

Este apartado inicia presentado una breve reseña del desarrollo de la medicina nuclear y su incursión a nuestro país en la década de los 50's hasta llegar a su contexto actual, se mencionan los recursos con los que se cuenta (humanos y de infraestructura) para su práctica

4.1 Apunte histórico de las radiaciones ionizantes aplicadas a la medicina

Desde finales del siglo XIX, se marcó el inicio de una nueva era en la medicina; a partir de entonces gracias a la aplicación de las radiaciones ionizantes se han producido grandes avances científicos en el área médica. La noche del 8 de noviembre de 1896 Wilhelm Roentgen, observó un nuevo tipo de radiación que tenía la capacidad de penetrar casi todo, excepto los huesos humanos, a este descubrimiento lo nombró rayos X, y no tardaron en adquirir gran popularidad y diversas aplicaciones (Busch, 2016).

Los rayos X se empezaron a utilizar para la realización de estudios médicos, pero, debido a su reciente descubrimiento, en ese entonces se desconocían los efectos biológicos que pueden generar en el organismo humano, y por ende sus efectos nocivos; además sus peligros se subestimaron al no poder percibirse con los sentidos.

Fue hasta la década de 1920 cuando se identificaron y relacionaron algunos casos de radiólogos que padecían cáncer en las manos, o leucemia, a partir de estos eventos se empezaron a estudiar los efectos de la radiación y se establecieron los primeros límites para su uso. Los resultados de estas investigaciones permitieron recabar una gran cantidad de información sobre los efectos biológicos de las radiaciones y fundamentar medidas, recomendaciones y normas de seguridad internacionales para utilizar de forma segura las radiaciones y proteger a los pacientes, público general o trabajadores expuestos (Fundora Sarraf et al., 2014).

Otro hito que posteriormente traería grandes avances al desarrollo de la medicina y el surgimiento de una especialidad (la medicina nuclear), fue el descubrimiento de la radiactividad del Uranio por Henry Becquerel, en 1896. Hace 126 años, Becquerel realizaba investigaciones sobre la fluorescencia, pero descubrió una propiedad nueva de la materia al observar que ciertas sales de Uranio emitían radiaciones espontáneas y, al colocarlas en una placa fotográfica esta se velaba. El valor de sus observaciones fue tal que en 1903 lo galardonaron con el Premio Nobel, por el descubrimiento de lo que posteriormente se denominaría radiactividad.

Durante el siglo XX continuaron los avances científicos que han posibilitado conocer el funcionamiento de diferentes tejidos y sistemas, pero también ofrecer tratamientos para diversos padecimientos mediante el uso de radioisótopos. A partir de 1930 comenzó el uso de radionúclidos en la medicina, tanto para diagnóstico como tratamiento. Estas aplicaciones contribuyeron a la atención de la salud a través del diagnóstico con técnicas *in vivo* e *in vitro* y la radioterapia metabólica (Fundora Sarraf et al., 2014).

Si bien es ampliamente conocido y reconocido el descubrimiento de la radiactividad natural por Pierre y Marie Curie, el descubrimiento de la radiactividad artificial por el matrimonio Joliot-Curie, en 1934, se considera como el inicio real de la medicina nuclear, pues con este hallazgo se empezaron a producir radionúclidos artificialmente (Mendoza y Valero, 2016).

En 1937 se descubrió el tecnecio-99 (^{99m}Tc) y, al siguiente año el yodo-131 (^{131}I) el cual se utilizó en diagnóstico y terapia desde principios de la Segunda Guerra Mundial. También en 1938, Roberts y Evans hicieron los primeros estudios de fisiología tiroidea con este elemento. Hamilton y Soley también contribuyeron a la generación del conocimiento sobre los usos del ^{131}I al determinar sus curvas de captación y excreción (Mendoza y Valero, 2016).

Después en 1943, el radioquímico Georg Charles Von Hevesy realizó aportaciones sobre los radiotrazadores. Su concepto sentó las bases para poder seguir el camino de moléculas marcadas en el organismo, haciendo posible conocer la función y actividad metabólica de los órganos (Villalobos, et al., 2015).

Hubo otros eventos que también contribuyeron, como el descubrimiento de los rayos gamma por varios científicos: Villard, Danlos y Blonch durante sus investigaciones enfocadas en curar la tuberculosis, y Alexander Graham Bell en el tratamiento de los tumores (Rodríguez et al., 2011).

El siguiente paso en el desarrollo de la medicina nuclear se dio en 1950, cuando Cassen construyó en California el primer contador de centelleo y, un año después Red y Libby construyeron el primer gammógrafo lineal con el cual se pudieron obtener los primeros estudios de imagen basados en la distribución de radionúclidos en el organismo (Mendoza y Valero, 2016; Pérez Campos y Larrea Richerand, 2014).

Seis años después, Hal Anger desarrolló la gammacámara, que fue la precursora de los equipos actuales usados para la obtención y procesamiento de imágenes y supuso una mejora en

la calidad de las imágenes en comparación con las del gammógrafo lineal (Rodríguez et al., 2011; Fundora Sarraf et al., 2014).

Todos los aportes anteriores constituyeron una sólida base para el desarrollo de otros radiofármacos para el estudio de órganos como el corazón, el cerebro, los riñones, entre otros; y las técnicas que usa la medicina nuclear como PET (inventada por Phelps) y SPECT (desarrollada por Kuhl) en los años 70's del siglo pasado (Fundora Sarraf et al., 2014). En esta década ya se podían estudiar la mayoría de los órganos gracias a procedimientos de MN. También, en 1971 se obtuvo el reconocimiento oficial como especialidad médica por parte de la Sociedad Médica Americana (Mendoza y Valero, 2016).

Con el objetivo de seguir mejorando la calidad de los estudios, en los últimos años se han generado técnicas híbridas que fusionan a las clásicas de medicina nuclear con otros métodos de obtención de imagen como resonancia magnética y tomografía computarizada, produciendo a las técnicas: SPECT-CT, PET-CT y PET-RM.

Las contribuciones de la década de los 50's implicaron el progreso de la medicina nuclear, no solo en cuanto a los equipos, como la gammacámara, sino también en la formación de médicos de distintas partes del mundo, pues se llevó a cabo el primer curso de aplicaciones de las radiaciones nucleares en Estados Unidos y dentro de los asistentes se encontraban dos médicos mexicanos: Roberto Maass Escoto y Jorge Maisterrena Fernández.

Medicina nuclear en México

Los orígenes de esta especialidad médica en nuestro país se sitúan en el marco del “Desarrollo estabilizador”, entre los gobiernos de los presidentes Adolfo Ruíz Cortines (1952-1958) y Adolfo López Mateos (1958-1964). En estos períodos se hicieron avances importantes en materia de medicina y salud pública. También se impulsó la investigación médica y la formación de personal especializado en diversas áreas médicas (Cotonieto-Martínez, 2020).

Bajo este contexto, los médicos Roberto Maass y Jorge Maisterrena viajaron a Estados Unidos para instruirse en el manejo de material radiactivo para aplicaciones en endocrinología y participar al curso de aplicaciones de las radiaciones nucleares. Este curso se organizó después de concluida la segunda guerra mundial con la intención de redimir el daño ocasionado por la detonación de la bomba atómica, el propósito era que las personas conocieran que la energía atómica tiene usos no bélicos y que, por el contrario, se puede usar en pro de la salud.

Así los doctores Roberto Maas y Jorge Maisterrena al volver a México replicaron lo aprendido en el Hospital de enfermedades de la nutrición, donde había un grupo de médicos interesados en el uso del ^{131}I en enfermos tiroideos. Sin embargo, fue hasta 1954 que se creó el primer laboratorio de radioisótopos especializado en medicina nuclear en las instalaciones del Hospital General “La Raza” del IMSS, por iniciativa del Dr. Maass y funcionó con personal del propio hospital (Pérez y Larrea, 2014; AGN, 2021).

Cuatro años después con ayuda del Dr. Alberto Zimbrón Levy se construyó el primer gammagráfo de América Latina. Tiempo después, cuando se empezaron a comercializar estos equipos, se pudo adquirir uno, que tenía mejoras; ahora la pajilla que marcaba los puntos en el papel tenía una cinta como las que utilizaban las máquinas de escribir con ocho colores diferentes. Las cintas se movían dependiendo la radiactividad que detectaban (Mendoza y Valero, 2016).

La práctica médica de esta especialidad se fortaleció y aumentó en 1963 con la creación del servicio de radioisótopos en el Centro Médico Nacional. Dos años más tarde, se fundó en la Ciudad de México la Sociedad Mexicana de Medicina Nuclear. Posteriormente, en 1958 se creó el primer programa de especialización nuclear con reconocimiento de la división de Estudios superiores y el consejo técnico de la facultad de medicina de la UNAM. El curso fue auspiciado por la Universidad Nacional Autónoma de México y la entonces Comisión Nacional de Energía Nuclear [CNEN]. Se impartió en dos sedes públicas: el Centro Médico 20 de noviembre del ISSTE y el Hospital General La Raza del IMSS. Este hecho marcó el inicio de la educación médica en esa especialidad y a partir de este momento, su práctica tomó más estructura y conciencia de la importancia de la protección radiológica.

En los inicios de la MN en el país no había un órgano o comisión encargada de vigilar y regular su práctica. Tampoco se contaba con la capacidad de producir los insumos necesarios, como radionúclidos, por eso se tenían que importar. Los primeros materiales radiactivos que se utilizaron provenían de Holanda, los comercializaba una perfumería francesa y los materiales que requerían los servicios de MN recogían sus pedidos ahí en latas. Unos años después la entonces CNEN asumió la responsabilidad de importar y distribuir los insumos radiactivos, empezando la regulación del uso y las prácticas que involucraban el uso de energía nuclear. Se estableció que la licencia es un requisito para la manipulación de fuentes radiactivas y era necesario acreditar un examen para la obtención de este documento.

Hoy en día se han establecido medidas, instalaciones y procedimientos dirigidos a reducir la exposición del personal médico, y en general de quienes trabajan con fuentes de radiaciones ionizantes, y se han realizado avances. Ahora ya se dispone de ciclotrones y radiofarmacias que facilitan el material radiactivo y el marcaje de los fármacos. También se han establecido límites de radiación para los trabajadores, y estándares para la vigilancia de las dosis, el uso de instrumentos de medición y una comisión reguladora especializada, la comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), misma que surgió en 1979 como transformación de la CNEN. Desde entonces, todos los centros médicos que tengan servicios de atención que impliquen el uso de radiaciones ionizantes están obligados a rendir informes de las prácticas de seguridad radiológica, reportes anuales de dosis y a renovar las licencias (Mendoza y Valero, 2016).

4.2 Situación actual

4.2.1 Internacional

El desarrollo económico de un país tiene un papel fundamental en la calidad de vida y la atención médica que ofrece a su población. Esto se ve reflejado en diferentes aspectos de los servicios de salud e influyen en su eficacia y cobertura. Repercute en las diversas especialidades de atención médica, entre ellos medicina nuclear. A nivel internacional se puede observar cómo varían estos factores según el nivel de ingresos de cada nación (fig. 4), así los países con ingresos altos cuentan con la infraestructura y los recursos humanos necesarios para ofrecer un sistema de salud adecuado y suficiente a sus habitantes. En contraste, se tiene un panorama opuesto en las naciones de ingresos bajos e incluso medios.

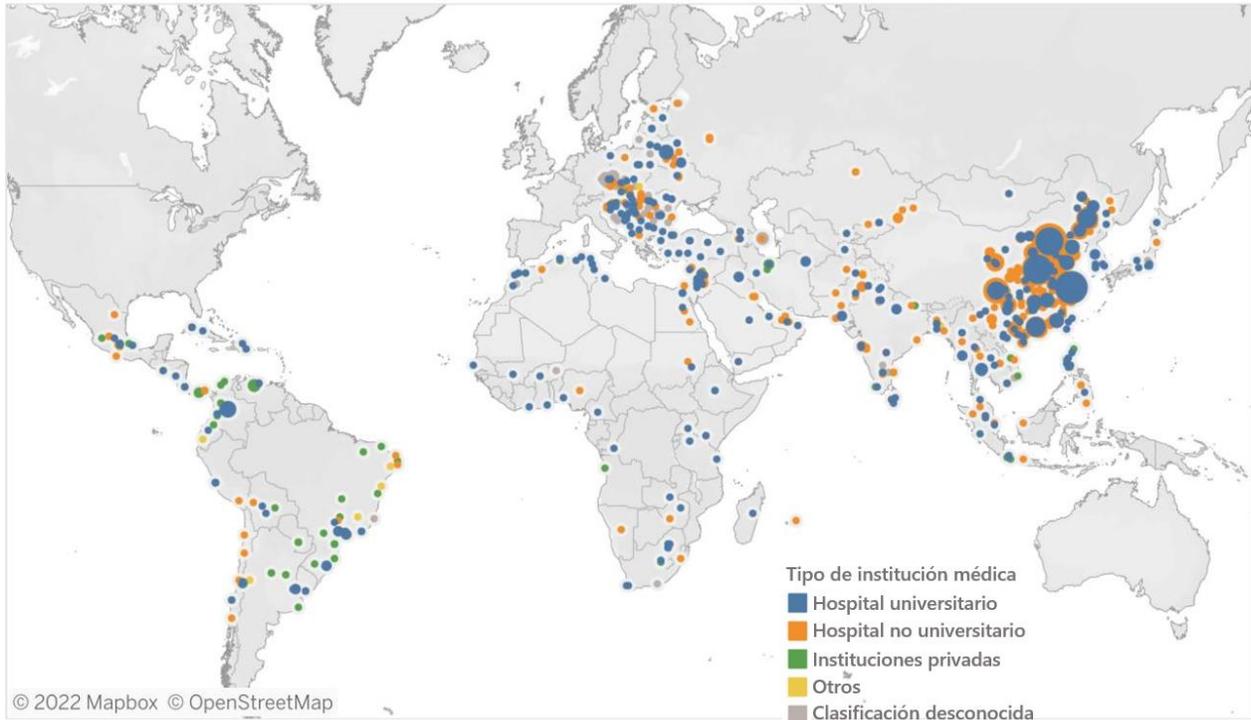
En la figura 4, se muestra cómo están distribuidas las instituciones que cuentan con departamentos de medicina nuclear en los países de ingresos medios (altos y bajos) y bajos. Por ejemplo, Sudáfrica es una nación con ingresos medios-altos y cuenta con 16 centros que ofrecen el servicio de MN, Egipto que es un país de ingresos medios-bajos tiene 12 instituciones con MN; mientras que países con ingresos bajos como Uganda, Zambia, Angola, Senegal entre otros, solo cuentan con un centro de estos. También se observa que Asia es la región con mayor número de instituciones con MN, y que China es el país con el mayor número de estos servicios.

En el caso de Latinoamérica y el Caribe ocurre lo mismo, los países con ingresos medios-altos como Brasil, México, Colombia, Chile y Argentina tienen el mayor número de instituciones

con MN de la región; esto contrasta con países de ingresos bajos en donde incluso hay solo un centro en países como Nicaragua.

Figura 4

Centros de medicina nuclear



Nota. El mapa contiene la información disponible proporcionada voluntariamente por países de ingresos medios y bajos, no está incluida la información de países de ingresos altos. Adaptado de: *Nuclear medicine Centers*, por IAEA NUMDAB (Nuclear Medicine DATAbase), 2022, (<https://nucmedicine.iaea.org/statistics/infrastructure>).

La salud fomenta el desarrollo económico a largo plazo; mejora la productividad laboral de los adultos, disminuye las pérdidas de producción de los trabajadores, posibilita el desarrollo cognitivo de los niños a través de la nutrición adecuada y disminuye la inasistencia escolar causada por enfermedades. La inversión en salud también facilita el control y manejo de enfermedades (Secretaría de salud et al., 2006).

La fig. 4, muestra que los sistemas de salud de Latinoamérica y el Caribe aún tienen limitaciones en el acceso a servicios de medicina nuclear; los recursos disponibles no son

suficientes para abastecer las demandas de salud, es necesario que aumenten los recursos humanos y la infraestructura.

Es fundamental que se realice una adecuada gestión y distribución de los recursos públicos, pues representan la fuente principal de financiamiento de este sistema, posibilitando que su desarrollo se dé acorde a las necesidades actuales y sea proporcional al crecimiento de la población para evitar déficits en la infraestructura de los sistemas de salud (Salles Sainz Grant Thornton, 2020).

Nacional

La República Mexicana es un país de ingresos medios-altos. De acuerdo con el censo de población y vivienda efectuado en 2020, su población sumaba 126, 014, 024 habitantes. Comparado con otros países, México ocupa el lugar 11 dentro de las naciones más pobladas del mundo. Las tres entidades más pobladas son el Estado de México (16,992,418 habitantes), la Ciudad de México (9,209,944 habitantes) y Jalisco (8,348,151 habitantes) (INEGI, 2020).

En México, la Secretaría de Salud es la encargada de coordinar todo el sistema de salud, incluyendo a los sectores público y privado. La red de salud nacional está conformada por 35,398 instituciones que incluyen: hospitales, clínicas de atención ambulatoria y proveedores de servicios auxiliares (como laboratorios clínicos y de diagnóstico). Estos establecimientos se dividen en públicos o privados (García-Hernández et al., 2020).

Los servicios de salud públicos pertenecen, en su mayoría, a los siguientes proveedores: SSA (Secretaría de Salud), IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social), ISSSTE (Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado), PEMEX (sistema de seguridad social para trabajadores de la compañía nacional de petróleo), SEDENA (sistema de seguridad social para afiliados a la Secretaría de Defensa Nacional) y SEMAR (sistema de seguridad social para afiliados a la Secretaría de Marina) (García-Hernández et al., 2020).

El panorama laboral del personal de medicina nuclear no es muy difundido. Como se mencionó anteriormente, el grupo de trabajadores de estos servicios incluye además de un médico nuclear, un encargado de seguridad radiológica, técnicos, físicos médicos, personal de

enfermería, si es el caso. Si en las instalaciones se realizan procesos radioquímicos, se debe contar con personal especializado en radioquímica o radiofarmacia (NOM-040-NUCL-2016, 2016, p.5).

En 2020 un grupo de físicos médicos mexicanos se reunió para realizar el primer análisis integral de los trabajadores de esta área con el fin de dar a conocer su situación ocupacional. Algunos de los aspectos que más resaltan son (García-Hernández et al., 2020):

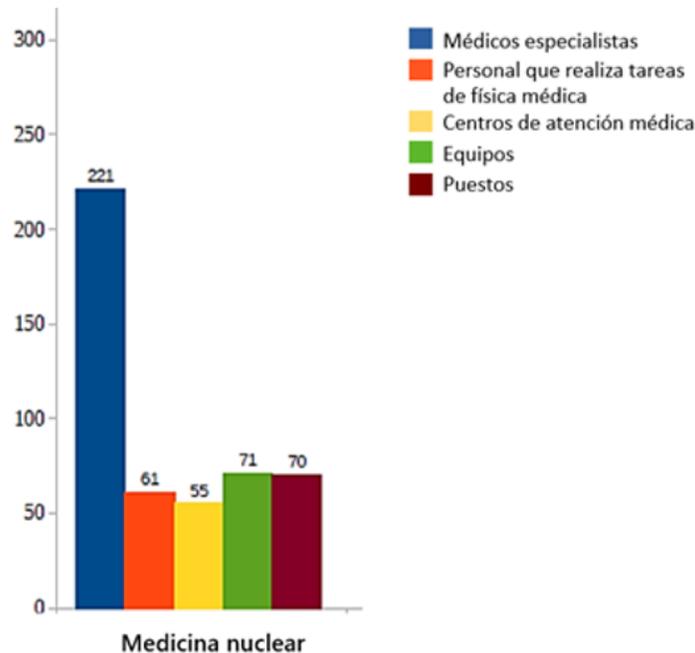
- No todas las personas que desarrollan tareas o labores de un físico médico clínico (en cualquiera de sus tres especialidades: radioterapia RT, medicina nuclear MN o imagenología y radiodiagnóstico D& IR) tienen el perfil académico recomendable o sugerido por organismos internacionales. Aunque la mayoría de los organismos internacionales recomiendan encarecidamente los estudios de posgrado en Física Médica, la normativa mexicana acepta como perfil académico válido una licenciatura en Física o “títulos de ingeniería afines”
- Solo el 40% de estos trabajadores tienen un posgrado en Física Médica, 46% de los cuales laboran en la ciudad de México.
- La mayoría de las personas que desempeñan tareas de física médica en el país no están contratadas bajo un código de trabajo adecuado; de acuerdo con la Secretaría de salud, solo el 10% de estos trabajadores están empleados bajo el código de trabajo etiquetado como “físico médico”, que a su vez contempla subcódigos para las diferentes subespecialidades.
- El 11% de todos los trabajadores que desempeñan tareas y funciones de físico médico clínico (y no necesariamente tienen un posgrado en física médica) practican más de una de las especialidades (RT, MN o D&IR). Además, en 19 casos, el empleador solicitó a estos trabajadores que realizaran tareas intracentro en más de una especialidad.
- El número del personal de física médica en México es insuficiente. En medicina nuclear el número de equipos que se utilizan en esta especialidad es superior a la cantidad de trabajadores destinada para su operación.
- Hay un número considerable de casos de trabajadores con turnos dobles o triples que requieren ser revisados.

- Por otro lado, 177 instituciones tienen licencias de operación para servicios de MN, las cuales en su mayoría pertenecen al sector privado (128 instituciones). De acuerdo con la Secretaría de Salud, 55 centros, de los cuales solo 23 son públicos, tienen equipos (71 en total) para ofrecer estudios con técnicas híbridas como PET-CT, PET-MRI y SPECT (García et al., 2020).
- La Ciudad de México y el Estado de México concentran el 42% de la fuerza laboral de físicos médicos que se desempeña en servicios de medicina nuclear, radioterapia o imagenología y diagnóstico.

En la figura 5 se aprecia que hay más puestos laborales enfocados a realizar tareas de física médica que especialistas en esta área, quiere decir que varios trabajadores de esta clase laboran en más de un centro, y que por lo tanto no es suficiente la fuerza laboral que actualmente existe.

Figura 5

Comparación de los recursos humanos y la infraestructura disponible



Adaptado de: *Present status of medical physics practice in Mexico: an occupational analysis*, (pp. 55-61) por García-, et al., 2020, *Physica Medica*, 76.

Capítulo 5. Metodología

En esta sección se presenta el procedimiento usado para realizar la evaluación de las condiciones generales de salud laboral y seguridad radiológica en el servicio de medicina nuclear mediante la aplicación de una adaptación del modelo PROVERIFICA, el cual es una metodología de tipo híbrida porque es tanto cualitativa como cuantitativa. Se hace una descripción de los instrumentos de recolección de información, de las etapas que lo conforman y se explica cómo se aplicaron para conocer cómo es el proceso de trabajo e identificar los aspectos que se necesitan corregir o atender para diseñar una propuesta de acciones preventivas y correctivas.

El estudio realizado fue de tipo observacional, descriptivo y de corte transversal. Cuyo objetivo fue registrar los acontecimientos sin intervenir. De manera similar, en un estudio descriptivo los datos se recolectan sin manipularlos o intervenir, pues su propósito es describir la información encontrada en la muestra sin intentar de establecer relaciones causales entre factores de riesgo y/o exposición con efectos observados (Molina Arias y Ochoa Sangrador, 2013).

En la evaluación solo se midieron las variables y características presentes en el centro de trabajo, no se intervino, ni se hizo manipulación alguna durante la recolección de información. Esta investigación es de corte transversal pues carece de direccionalidad, es decir, las mediciones se tomaron en un punto determinado en el tiempo por única vez (Hernández-Ávila et al., 2000; Gordis, 2015). La finalidad de un estudio transversal es la medición de la existencia de factores de riesgo o enfermedades en la muestra o población; suele apoyarse en preguntas como ¿a cuántos?, ¿dónde? o ¿a quién? (Molina Arias y Ochoa Sangrador 2013).

A continuación, se presenta una descripción con las características más relevantes del modelo usado.

5.1 Descripción del modelo PROVERIFICA

El modelo tiene como base la observación directa y la revisión documental, para evaluar integralmente la salud laboral, las condiciones de seguridad e higiene, la protección civil y la ecología en las empresas o centros de trabajo (Franco, 2003).

El objetivo del PROVERIFICA es conocer, cuantificar e incrementar el nivel de eficacia de los establecimientos y promover que los espacios de trabajo sean adecuados, seguros y saludables. Este modelo se basa en el marco legal de la salud laboral mexicano y lo conforman tres instrumentos de recolección de información (Franco, 2017):

i) **Cédula de Información General del Hospital⁵ (CIGE):** Se compone de tres apartados o grupos de variables:

- 1) *Identificación de la empresa* (en este caso, se evaluó un hospital de tercer nivel de atención): recoge variables como: nombre o razón social del establecimiento, dirección, teléfono, país, división, grupo y fracción económica, clase de riesgo, grado de siniestralidad y prima de riesgo.
- 2) *Datos del personal*, recolecta información de cada uno de los trabajadores como: nombre, edad, sexo, categoría, ocupación o puesto de trabajo, antigüedad en la empresa y en el puesto de trabajo, planta o división, área, departamento o sección, turno, temporal o con base, menor de edad, mujer en gestación o lactancia, discapacitado.
- 3) *Jornada laboral*, para cada una de las siguientes variables se debe hacer una descripción breve de cada aspecto: duración de la jornada por turno (horas de trabajo por día o por semana) y registrar si existe: trabajo por horas, rotación de turnos, guardias, turnos dobles, horas extra, tarea, bonos o primas, pausas de trabajo, descanso semanal y vacaciones.

ii) **Diagramas complejos de salud en el trabajo:** Su objetivo central es recoger lo más fielmente posible la riqueza y complejidad del proceso de trabajo. Están constituidos por tres elementos centrales:

- Diagramas de flujo del proceso de trabajo: son la representación gráfica y ordenada de las etapas del proceso de trabajo, principalmente se constituye de tres elementos

⁵ Se realizó una adaptación del PROVERIFICA para aplicarlo a un hospital, aunque este modelo fue diseñado para aplicarse principalmente a empresas, por eso este instrumento originalmente se denota como CIGE.

- Descripción del flujo del proceso de trabajo: sintetiza los elementos del proceso mediante tres preguntas esenciales: ¿Qué se hace? ¿Con qué se hace? ¿Cómo se hace?
- Cuadros de resumen de los diagramas complejos de salud en el trabajo: se componen de seis columnas que muestran de forma simple e íntegra las características del proceso de trabajo: a) sus fases; b) riesgos y exigencias; c) probables daños a la salud; d) cantidad de trabajadores expuestos; e) actuales medidas preventivas; y f) propuesta de acciones preventivas.

En la tabla 3 se presenta la clasificación de riesgos y exigencias que se considera en el modelo. Están organizados en cinco grupos (enumerados con números romanos) que hacen más sencillo el reconocimiento de los riesgos laborales del servicio de MN.

Tabla 3

Grupos de riesgos y exigencias laborales

GRUPO	RIESGOS Y EXIGENCIAS
I.	Riesgos derivados de los medios de trabajo Temperatura, humedad, ventilación, ruido, vibraciones, radiaciones, iluminación.
II.	Riesgos derivados de la transformación de los objetos de trabajo. Polvos, humos, gases, vapores, líquidos, biológicos.
III.	Exigencias laborales derivadas de la actividad del trabajador Posiciones incómodas, esfuerzo físico intenso, trabajo sedentario.
IV.	Exigencias laborales derivadas de la organización y división del trabajo. Jornada y ritmo de trabajo, control del proceso de trabajo, trabajo monótono, repetitivo, minucioso, atención, supervisión estricta, falta de comunicación, desplazamientos.
V.	Riesgos que los medios de trabajo representan por sí mismos. Accidentes debidos a maquinaria, equipos, herramienta e instalaciones.

Fuente: Página web del Modelo PROVERIFICA (<http://www.proverifica.com/mvdcst.htm>)

iii) **Cuestionario de Verificación (CV):** se compone de varios capítulos, sus preguntas se distribuyen en apartados o secciones (Franco, 2003)

El cuestionario posee cuatro posibles respuestas: **SÍ**, **PM** (parcialmente), **NO** y **NA** (no aplica). Cada pregunta debe responderse únicamente con una de estas opciones, según sea el caso; cada respuesta tiene un puntaje o valor numérico asociado.

Con los resultados del cuestionario se calcula: a) total esperado; b) total real; c) el porcentaje de cada total real; d) índice esperado; e) índice real; y f) porcentaje de eficacia.

Es importante mencionar que el valor esperado es aquella cifra teórica, ideal, que debería tener cualquier empresa evaluada. El valor real es el resultado directo de la evaluación.

El porcentaje de eficacia es la expresión numérica que indica la capacidad que tiene la empresa para gestionar sus problemas de salud laboral. Se hace una estimación de estos valores para comparar las cifras esperadas *versus* cifras reales obtenidas.

El CV se aplica para evaluar el estado actual o el nivel de avance de la empresa en lo concerniente a salud en el trabajo mediante el uso del porcentaje de eficacia (PE), que se calcula a partir de los índices, se califica cada capítulo o apartado del CV. El PE se puede traducir en un nivel de eficacia o un nivel de riesgo, respectivamente, como se indica en la tabla 7:

Tabla 4

Tabla para convertir los índices.

Porcentaje de Eficacia (Expresión numérica)	Nivel de Eficacia (Expresión literal)	Nivel de Riesgo (Expresión cromática)
0-39	Nulo (N)	Alto
40-59	Muy Malo (MM)	
60-79	Malo (M)	
80-89	Bueno (B)	Medio
90-100	Muy Bueno (MB)	Bajo

Tomado de: “El modelo PROVERIFICA para evaluar la salud laboral en las empresas” (p.10), por J, Franco, 2017.

Hay tres elementos fundamentales que componen al modelo, el orden en el que se presentan es en el que se tienen que aplicar debido a la dependencia que existe entre ellos;

- a) **La verificación:** se basa en aplicar la CIGE y el CV para recabar información cualitativa y cuantitativa. Es una revisión exhaustiva, cíclica y permanente que se realiza mediante observación directa y revisiones documentales para medir la eficacia de la empresa para abordar los problemas de salud en el trabajo.

- b) **El diagnóstico:** Como parte del diagnóstico se procesan y analizan los resultados de la verificación; a partir de estos se formulan las conclusiones y recomendaciones adecuadas para implementar una propuesta de intervención basada en las necesidades del establecimiento.
- c) **La vigilancia:** es la observación sistemática, continua y permanente de las medidas y acciones preventivas y correctivas que se implementaron, para identificar cambios o desviaciones e implementar los controles pertinentes para disminuir o mitigar los problemas de salud laboral en la empresa.

El alcance de este trabajo se centró en realizar a) y b).

La evaluación al servicio de medicina nuclear se realizó en el mes de agosto de 2022. Pero antes de aplicar el modelo en el establecimiento se llevaron a cabo actividades dirigidas a conseguir la autorización para la recolección de los datos. Para ello, se realizó una reunión con el encargado de seguridad radiológica (ESR) del servicio para explicar el proyecto, sus objetivos, así como los beneficios y contribuciones que podría aportar el presente estudio

Después de que se obtuvo la aprobación, se programó un recorrido por las instalaciones para conocerlas e identificar las diferentes salas que integran al servicio; este primer acercamiento fue de utilidad para reconocer aspectos generales del proceso de trabajo, y permitió esbozar una idea de qué momentos pueden ser adecuados para la recolección de información. También se acordaron las fechas y el horario en los que se llevó a cabo la evaluación.

Posteriormente, se aplicó el modelo PROVERIFICA. Se recolectó toda la información solicitada en cada una de las variables que incluye la identificación del establecimiento, para ello es contó con la estrecha colaboración de los responsables del establecimiento.

Se inició con una visita para observar cómo se llevan a cabo las primeras actividades del día como la inspección visual y recepción del material radiactivo. También se recolectó la información sociodemográfica del establecimiento, con el apoyo del encargado de seguridad radiológica y los expedientes de los trabajadores. Además, se entrevistó de manera individual al personal de esta área para obtener todos los datos requeridos, por ejemplo, antigüedad, turnos, etc.

Durante la segunda visita se observó todo el proceso de trabajo para poder elaborar los respectivos diagramas complejos de salud en el trabajo. Este recorrido también sirvió para responder el primer capítulo de la verificación “Evaluación preliminar de la empresa”. Solo se utilizó la observación directa; y, posteriormente se hizo la evaluación de los capítulos restantes de la verificación.

En la tercera y cuarta visita se continuó aplicando el CV, esta actividad se complementó con la revisión de diferentes documentos como: bitácoras, licencia de operación, certificados médicos y de calibración de equipos, constancias de dosis y de reentrenamiento en protección y seguridad radiológica, manuales y programas en seguridad radiológica, entre otros.

La quinta visita sirvió como un control de calidad para verificar que se contaba con toda la información solicitada.

Con los datos recolectados, se procedió al análisis de los resultados. Primero se realizaron los cálculos de los totales e índices, tanto reales como esperados; después se determinaron los porcentajes y niveles de eficacia, se llenó la hoja de resultados y se elaboraron las gráficas de control con el software Excel. Finalmente se elaboraron recomendaciones y sugerencias con base a lo observado.

Finalmente, se procedió a la integración del reporte final, que además incluye las conclusiones y una propuesta de intervención que exponga las medidas preventivas y correctivas pertinentes para resolver los problemas detectados.

Capítulo 6. Evaluación del servicio de medicina nuclear

6.1 Resultados

6.1.1 Cédula de Información General del Hospital

El estudio se realizó en un hospital público que brinda atención de tercer nivel y se ubica al norte de la Ciudad de México. En este tipo de instituciones médicas las actividades están dirigidas a “restaurar la salud (curación y rehabilitación) de los pacientes que tienen padecimientos de alta complejidad diagnóstica y de tratamiento, mediante una o varias

especialidades médicas, quirúrgicas o médico-quirúrgicas” (INPI, 2020). Para lograr este objetivo, usan tecnología médica altamente especializada.

Considerando el Reglamento de la Ley del Seguro Social en materia de Afiliación, Clasificación de Empresas, Recaudación y Fiscalización (2002), esta institución se ubica en la **división económica** número **9** (*servicios sociales y comunales*), dentro del **grupo 92** (*servicios médicos, asistencia social y veterinarios*), y en la **fracción industrial 922** (*servicios médicos, paramédicos y auxiliares*). La **clase de riesgo** que le corresponde a este establecimiento es el número **II**, que indica un riesgo bajo.

Sin embargo, debido a que el establecimiento evaluado es un hospital público, esta clasificación no le aplica.

6.1.1.2 Datos del personal

El servicio de MN está conformado por ocho trabajadores, de los cuales solo cinco son considerados personal ocupacionalmente expuesto (POE). Este grupo se compone por: un médico nuclear (jefe del servicio), un físico médico (encargado de seguridad radiológica), tres técnicos radiólogos en medicina nuclear (dos de ellos tienen este puesto en el hospital, pero en la licencia de funcionamiento están dados de alta como enfermeros, pues de hecho esta es su formación).

La edad del POE oscila de los 29 a los 64 años, distribuidos de la siguiente manera:

- Técnicos radiólogos: 29-64 años
- Médico nuclear: 59 años
- Encargado de seguridad radiológica (ESR): 35 años

Los trabajadores con mayor antigüedad tanto en el establecimiento como en el puesto de trabajo son el médico nuclear y uno de los técnicos radiólogos, con 23 y 17 años, respectivamente, en ese servicio.

Hay dos tipos de plaza que ocupan los trabajadores del servicio: base (3 trabajadores) y plaza indefinida, que es una pre-base que se asigna a los trabajadores que están a la espera de obtener la plaza definitiva. Solo los trabajadores de base son sindicalizados, el resto pertenece a la plaza indefinida.

El funcionamiento del servicio de medicina nuclear cuenta con la participación de otros trabajadores además del POE. También trabajan dos secretarías que se encargan de agendar las citas de los pacientes, entregar los resultados de los estudios y solicitar el material radiactivo cada día. Ambas son mayores de edad y no se encuentran en períodos de gestación ni lactancia. Además, el jefe del servicio cuenta con el apoyo de un secretario.

También colabora una persona de intendencia (mujer) que, aunque no es personal exclusivo del servicio, acude por las mañanas y las tardes a realizar el aseo. A esta trabajadora no se le considera POE debido a que el RGSR señala que no se considera de esta forma a los trabajadores que ocasionalmente, en el desempeño de su trabajo puedan estar expuestos a radiaciones ionizantes, siempre y cuando el equivalente de dosis efectivo anual que reciban no exceda el límite establecido para el público (Secretaría de Energía, 1988).

Finalmente, un trabajador externo (de la empresa proveedora) también contribuye a la actividad del establecimiento pues diariamente acude entre 6:30 y 7:00 am a entregar el material radiactivo que se usará.

6.1.1.3. Jornada laboral.

En este servicio solo hay un turno y es matutino. La jornada laboral es de 8 horas, inicia a las 6:30 am y termina a las 14:30 horas. El servicio solo funciona de lunes a viernes. No existe rotación de turnos, ni dobles turnos, tampoco guardias. Los procedimientos son ambulatorios y ningún paciente se queda hospitalizado dentro del servicio. No es común que los trabajadores hagan horas extras porque al día se atienden aproximadamente a ocho pacientes y el procedimiento para que se aprueben o autoricen las horas es complicado y no se aprueban a todos los trabajadores.

El salario que perciben los trabajadores está en función del puesto que ocupan y se asigna conforme al tabulador del catálogo sectorial de puestos de la Secretaría de Salud.

Solo se otorgan estímulos (como de puntualidad), bonos o primas a los trabajadores de base. Es importante resaltar la importancia de que un POE tenga una plaza fija y su trabajo este clasificado adecuadamente según las actividades que realiza y el espacio en el que las desarrolla.

Por otro lado, las vacaciones solo se otorgan a los trabajadores de base, el personal con estatus de plaza indefinida no tiene vacaciones. Por ejemplo, el encargado de seguridad radiológica tiene tres años de antigüedad en el servicio y en ese tiempo no se le ha otorgado vacaciones.

Respecto a las pausas de trabajo en el servicio, los trabajadores pueden ir una hora a tomar el desayuno. Además, debido a la organización, a los procedimientos que se realizan, al número de técnicos y de pacientes que se atienden diariamente, existe la posibilidad de hacer pausas durante la jornada. Los técnicos incluso pueden tener días con menos tareas porque se organizan entre sí para que la misma persona no proporcione el material radiactivo a los pacientes todos los días, sino que se alternan, evitando exposiciones innecesarias.

El servicio se encuentra en el edificio C, planta baja y su distribución se muestra en la figura 6. La superficie total que ocupa es de 167 m².

Figura 6

Croquis del servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel de atención.



Fuente: Recorrido de observación en el servicio de medicina nuclear, agosto, 2022.

6.1.2 Diagramas complejos de salud en el trabajo

En este apartado se describe el proceso de trabajo del servicio de medicina nuclear. Su funcionamiento requiere el trabajo de profesionales de la salud y personal administrativo (secretarias); en este servicio el primer grupo está conformado por: un médico nuclear, un físico médico y técnicos radiólogos. Se describen las tareas que forman parte del proceso de trabajo necesario para realizar estudios de imagen, o bien, tratamientos con radiofármacos.

A continuación, con una representación gráfica (diagramas de flujo del proceso de trabajo) se muestran las fases que componen a dicho proceso. La información ofrecida en los diagramas de flujo se detalla y explica en la tabla 5 que responde a las preguntas: ¿qué se hace? ¿con qué se hace? y ¿cómo se hace?

Posteriormente se reúne toda la información recolectada y las observaciones, en los cuadros de resumen de los diagramas complejos de salud en el trabajo; en estos se exponen los riesgos y exigencias identificadas, la cantidad de trabajadores expuestos, las medidas preventivas con las que se cuenta actualmente y la propuesta de acciones preventivas.

6.1.2.1 Diagramas de flujo del proceso de trabajo del servicio de medicina nuclear.

El servicio de medicina nuclear utiliza radiofármacos para ofrecer a los pacientes diagnósticos, a través de imágenes que brindan información metabólica y funcional, y tratamiento a padecimientos como el hipertiroidismo.

En la figura 7 se presenta un diagrama del proceso de trabajo que describe las actividades que realiza el POE para ofrecer atención a los pacientes. Inicia alrededor de las 6:30 am con una inspección visual de las instalaciones, y se procede a realizar mediciones de los niveles de radiación en el baño de pacientes para que personal de intendencia proceda a hacer el aseo (estas mediciones se hacen si al final de la jornada del día anterior la basura de este sanitario, principalmente papel higiénico, no decayó lo suficiente para que pudieran manipularla y asear este espacio).

Enseguida, se procede a la recepción del material radiactivo y se corrobora que concuerde con los estudios y pacientes programados para ese día. Se realizan mediciones con el activímetro para corroborar que la actividad de cada unidosis sea correcta. Posteriormente se administran los

radiofármacos y se espera a que se distribuyan y absorban en el organismo para realizar el estudio, o gammagrafía, que consiste en obtener imágenes de la función celular a través de la detección de los rayos gamma que emite el radioisótopo después de ser absorbido por el órgano de interés; este absorbe en mayor cantidad el radiofármaco y así se puede saber qué células están activas, dando información de alteraciones o enfermedades.

Según el órgano que se desee estudiar, es el tiempo que se debe esperar, puede ser algunos minutos hasta 2-4 horas, desde la administración del radiofármaco hasta la realización del estudio, para lo cual el paciente se debe acostar en la camilla del equipo detector (gammacámara). La información sobre la radiación detectada es procesada y transformada en imagen por una computadora para que el especialista en medicina nuclear la interprete y realice el diagnóstico.

Después, se autoriza el alta del paciente y cuando se han atendido a todos los pacientes se miden los niveles de radiación en diferentes puntos del servicio como la sala de espera y el sanitario de pacientes. Finalmente se espera a que el proveedor recoja los desechos que contienen material radiactivo.

Adicionalmente, todos los días se llevan a cabo otras actividades vinculadas a vigilar y mantener la seguridad radiológica, como las mediciones de los niveles de radiación y el llenado de diversas bitácoras para registrar esas mediciones y asegurar que el uso de los radiofármacos y sus desechos esté controlado. También se hacen estos registros para asegurar que los detectores de radiación funcionen adecuadamente.

Las actividades que realiza el POE son complementadas con otras tareas que realizan las secretarías. Ellas se encargan de recibir los carnets, agendar citas, entregar los resultados de los estudios a los pacientes y realizar diariamente los pedidos de los radiofármacos para el día siguiente.

Los estudios que se realizan son gammagrafías óseas, tiroideas, renales, de perfusión miocárdica y con ^{67}Ga (útil en la identificación de algunos tumores, lesiones inflamatorias y procesos infecciosos, principalmente en pulmones).

El establecimiento cuenta con autorización para utilizar los siguientes radioisótopos:

- Galio-67 (^{67}Ga),
- Molibdeno-99/Tecnecio-99m ($^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$),

- Talio-201 (^{201}Tl),
- Yodo-125 (^{125}I),
- Yodo 131 (^{131}I),
- Radio-223 (^{223}Ra).

Los fármacos más utilizados en este servicio son: Mercaptoacetiltriglicina (MAG-3), Pentacetato de Dietilentriamina o ácido pentético (DTPA) para estudios renales; y Metilendifosfonato (MDP) para estudios óseos.

Solo se proporciona atención ambulatoria a pacientes en el turno matutino. Diariamente se reciben a aproximadamente ocho pacientes, en su mayoría adultos, pero también se atienden pediátricos.

En ocasiones hay personas que están hospitalizadas y solo acuden al servicio solo para realizar su estudio. Una vez que se les administró el material radiactivo, regresan a su habitación de hospitalización a esperar a que pase el tiempo de biodistribución y vuelven a medicina nuclear a la adquisición de estudio. Se informa al personal que está a cargo de estos pacientes que recibieron algún radionúclido para que apliquen factores de protección radiológica como la distancia. El servicio no cuenta con un cuarto de hospitalización exclusivo para sus pacientes, pero no es necesario, está autorizado su egreso pues la actividad residual del material radiactivo administrado es menor a 1110 MBq (30 mCi), de acuerdo al numeral 5.3 de la NOM-013-NUCL-2009.

Figura 7

Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, 2022.



Fuente: Elaboración propia a partir del recorrido de observación, agosto, 2022.

Todas las actividades que conforman este proceso de trabajo se realizan solo dentro de las instalaciones del servicio, no es necesario que los trabajadores salgan o se desplacen a otras áreas o servicios del hospital.

Tabla 5

*Descripción del Diagrama de Flujo del Proceso de Trabajo
Servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, 2022*

Fases del proceso de trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
Inspección inicial	<p>Inspección visual de las instalaciones.</p> <p>Medición de los niveles de radiación en el sanitario de pacientes.</p>	<p>Observación directa</p> <p>Detector Geiger Müller (GM)</p>	<p>Todos los días al inicio de jornada de trabajo, el ESR⁶ revisa si las cerraduras de los accesos a las zonas supervisadas tienen signos de forcejeo o están abiertas. Se revisa si se produjo algún daño o desperfecto (como grietas, goteras, etc.). Esta tarea toma un par de minutos y se realiza una vez al día.</p> <p>El ESR mide con el GM los niveles de radiación del baño de pacientes e indica al personal de intendencia si puede entrar a asearlo.</p> <p>Esta actividad no se realiza todos los días, solo si el día anterior la basura de este sanitario no decayó lo suficiente. Toma ~2 minutos, una vez por día.</p>
Recepción	El ESR recibe las unidosis de los pacientes y realiza una verificación del radiofármaco.	<p>Guantes de nitrilo</p> <p>Bulto radiactivo (unidosis de radiofármaco)</p> <p>Castillo plomado</p> <p>Activímetro</p> <p>Detector GM</p> <p>Mesa de trabajo</p> <p>Formato de remisión.</p> <p>Etiquetas de identificación de</p>	<p>El ESR inspecciona físicamente al bulto, para verificar que no esté dañado, presente roturas o golpes.</p> <p>Se corrobora que la hoja de remisión y las etiquetas concuerden con el pedido y la lista de los pacientes de ese día. Se firma y se sella la hoja de remisión.</p> <p>Se verifica en las etiquetas y la hoja de remisión: nombre del paciente, fecha y hora de calibración, nombre del radiofármaco, así como su volumen, concentración y actividad.</p> <p>Se realiza una medición con el detector GM para asegurarse que no estén contaminadas las etiquetas ni el bulto (se miden todas sus caras).</p> <p>El ESR se coloca unos lentes plomados, abre la caja blindada que contiene las unidosis y sus</p>

⁶ Encargado de seguridad radiológica

Fases del proceso de trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
		<p>cada unidosis.</p> <p>Bolígrafo</p> <p>Cúter.</p>	<p>contenedores; cada uno se coloca dentro del castillo plomado.</p> <p>Con un cúter se retira el sello de cada contenedor para abrirlo, y se verifica con el activímetro que la calibración de las dosis sea correcta.</p> <p>Al terminar cada medición, se vuelven a colocar las unidosis dentro de sus contenedores y se dejan dentro del castillo plomado. Se espera a que se estabilice el activímetro y la lectura que indique corresponda a la del fondo para verificar la siguiente unidosis.</p> <p>Al terminar las mediciones, se verifica con el detector GM si hay contaminación.</p> <p>Esta tarea se realiza todos los días, solo en la mañana (alrededor de las 6:50 am) y toma alrededor de 10-15 minutos.</p>
Administración	Se administra el radiofármaco a los pacientes, puede ser vía i.v. u oral.	<p>Pacientes</p> <p>Carnet de citas</p> <p>Radiofármaco</p> <p>Guantes de látex</p> <p>Jeringas</p> <p>Torniquete</p> <p>Torundas con alcohol</p> <p>Agua</p> <p>Sillón y sillas.</p>	<p>El personal técnico pasa al paciente a la sala de aplicación, donde le indica que se siente en un sillón y va por el radiofármaco.</p> <p>En los estudios o tratamientos con radioyodo, este se administra vía oral (vo). El ^{99m}Tc, también se administra por esta vía en algunos estudios.</p> <p>Si la administración es vo, se proporcionan cápsulas del radiofármaco y agua purificada para que las puedan tomar. Solo el ^{131}I se maneja en cápsulas, el resto de los radiofármacos se usa en estado líquido.</p> <p>-----</p> <p>Si la visita al servicio es con fines terapéuticos: Después de la administración, se retiran en seguida del hospital. Se dan las indicaciones pertinentes sobre seguridad y protección radiológica; se indica que pueden retirarse de las instalaciones.</p>

Fases del proceso de trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
			<p>-----</p> <p>Cuando se usa ¹³¹I para diagnóstico, los pacientes se retiran después de recibir el radiofármaco y regresan al día siguiente a que se les tome la gammagrafía.</p> <p>Los estudios cuyos radiofármacos implican el uso de los otros radionúclidos autorizados para el servicio, se administran vía intravenosa. Para ello, el técnico limpia la superficie a inyectar con la torunda, coloca el torniquete e inyecta el radiofármaco.</p> <p>Las jeringas se depositan en un contenedor blindado y se almacenan en el cuarto caliente hasta el final del día.</p> <p>Esta tarea se realiza todos los días, dura ~7 minutos y se repite según el número de pacientes de cada día (en promedio, 8).</p> <p>Se proporciona a los pacientes las indicaciones de seguridad radiológica para su estancia en el servicio, por ejemplo, que al ir al baño se accione dos o tres veces la descarga de agua del sanitario.</p> <p>El tiempo de permanencia en la sala de espera para que el radiofármaco se absorba y biodistribuya, varía según el tipo de estudio. Por ejemplo, un estudio renal requiere un tiempo de espera de ~2 hrs, y para una gammagrafía ósea es de 2-3 hrs.</p>
Estudio	Se realiza el estudio indicado a cada paciente	Pacientes Gammacámara Equipos de cómputo. Software Xeleris v.4	<p>El técnico radiólogo indica a los pacientes que pueden ingresar a la sala de gammagrafía para su estudio.</p> <p>El paciente se acuesta sobre la camilla de la gammacámara. En ocasiones, algunos pacientes con dificultad para moverse (como es el caso de los adultos mayores), requieren el apoyo de su acompañante y el técnico para acomodarse en la camilla.</p>

Fases del proceso de trabajo	¿Qué se hace?	¿Con qué se hace?	¿Cómo se hace?
			<p>Si el paciente proviene del área de hospitalización, los técnicos lo cargan para colocarlo en la gammacámara.</p> <p>El técnico ingresa a la sala de procesamiento y para iniciar el estudio, revisa que las imágenes se hayan tomado adecuadamente y realiza correcciones si es necesario.</p> <p>Los estudios demoran ~20 minutos, aunque el tiempo varía según el tipo de estudio</p> <p>El médico nuclear interpreta las imágenes y emite los resultados y diagnóstico del estudio. Cada interpretación le toma ~5-10 min.</p>
Egreso	Se proporcionan indicaciones al paciente y se autoriza su salida.	Indicaciones verbales y escritas	El técnico proporciona las instrucciones de seguridad radiológica. Se indican medidas para el traslado a su casa, las restricciones de convivencia familiar o con el público general, así como las precauciones que debe tener.
Inspección final	Medición de los niveles de radiación y verificación de no contaminación	<p>Detector GM</p> <p>Formato de levantamiento de niveles dentro de la instalación a través de la tasa de exposición</p> <p>Bolígrafo.</p>	<p>Después de que todos los pacientes egresaron, el ESR mide con el GM en la sala de espera y el baño de pacientes;</p> <p>Si los niveles medidos son bajos y aceptables, se le solicita al personal de limpieza que realice el aseo de esta zona; de lo contrario, se les indica que esperen al siguiente día a que el radioisótopo decaiga.</p> <p>Esta actividad se realiza diario, solo una vez al día.</p> <p>Al final de la jornada, el proveedor del material radiactivo vuelve a las instalaciones para recoger los desechos radiactivos que se produjeron y los vuelve a transportar en sus contenedores blindados.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir del recorrido de observación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

Tabla 6

Cuadro de resumen del Diagrama Complejo de Salud en el Trabajo, servicio de medicina nuclear, 2022.

Fases del proceso de trabajo	Riesgos o exigencias	Probables daños a la salud	No. de trabajadores expuestos	Medidas preventivas actuales	Propuestas de acciones preventivas.
Inspección inicial	I. Exposición a Radiaciones ionizantes	-Ninguno (debido al corto tiempo de exposición, y al bajo nivel de radiación porque el radionúclido decayó).	2	<p>Detectores de radiación (de área)</p> <p>Aplicación de principios de seguridad radiológica (tiempo).</p>	<p>Programa de señalamientos de seguridad (para su colocación y mantenimiento).</p> <p>Insistir a los pacientes en activar mínimo dos veces la descarga de agua del sanitario.</p>
Recepción	I. Radiaciones ionizantes	<p>-Ningún probable daño clínicamente detectable, pero existe una probabilidad baja de que se produzcan efectos estocásticos:</p> <p>Según el tiempo de exposición y el tipo de radiación que emite el radioisótopo⁷.</p> <p>Principalmente:</p> <p>-Efectos genotóxicos (cambios en el número y estructura del</p>	1	<p>Uso de EPP: la bata tiene puños y se usa cerrada, guantes de nitrilo, castillo y lentes plomados.</p> <p>Técnica para retirarse los guantes evitando contaminación.</p> <p>Verificación de no contaminación de guantes, bata y área de trabajo.</p> <p>Durante todo el procedimiento se mantiene el</p>	<p>Programa de mantenimiento y reparación de las instalaciones.</p> <p>Colocar letreros que indiquen los tiempos de permanencia para el POE en áreas controladas.</p> <p>No colocar materiales absorbentes dentro del cuarto caliente</p>

⁷ Esta consideración aplica siempre que haya exposición a radiaciones ionizantes. También hay que tener presente la consideración de que es poco frecuente, pero posible.

Fases del proceso de trabajo	Riesgos o exigencias	Probables daños a la salud	No. de trabajadores expuestos	Medidas preventivas actuales	Propuestas de acciones preventivas.
		cromosoma, mutaciones genéticas) en su mayoría reversibles.		detector GM. Aplicación de principios de seguridad radiológica (tiempo y blindaje).	
	IV. Grado de atención alto	-Estrés (en niveles bajos o moderados debido a la experiencia y a la duración de la tarea)		Limitación del tiempo de exposición	Evaluación de riesgo de estrés laboral
	V. Accidentes debidos a la herramienta e instalaciones.	-Heridas -Contusiones		Guantes de látex o nitrilo	Evaluación de las condiciones del área de trabajo. Programa de mantenimiento a las instalaciones.
Administración	I. Radiaciones ionizantes	Ninguno (baja probabilidad de efectos genotóxicos, en su mayoría reversibles) ⁸	3	Uso de EPP: bata y guantes Los técnicos se organizan, de manera que la misma persona no administre diario el radiofármaco, (solo uno o dos días por semana) para evitar exposiciones diarias	Uso de EPP adecuado (bata abotonada y con puños) Mejorar el orden de la sala de pacientes.

⁸ Pero existe una probabilidad baja de que se produzcan efectos estocásticos. Según el tiempo de exposición y el tipo de radiación que emite el radioisótopo.

Fases del proceso de trabajo	Riesgos o exigencias	Probables daños a la salud	No. de trabajadores expuestos	Medidas preventivas actuales	Propuestas de acciones preventivas.
	II. Biológicos por la manipulación de agentes biológico-infecciosos	Infecciones debido a patógenos contenidos en la sangre (Hepatitis B, C; VIH). Infección por el virus del SARS-COV2		Uso de guantes de látex, y cubre bocas. Depósito de las agujas usadas en un recipiente seguro y adecuado.	Si algún trabajador no está vacunado contra la hepatitis B, exhortarlos a hacerlo. Solicitar que todos (pacientes y personal usen el cubrebocas de forma adecuada).
Estudio	I. Radiaciones ionizantes,	-Ninguno (la tasa de dosis es baja).	4	Aplicación de los principios de seguridad radiológica: tiempo y distancia.	
	I. Iluminación	Fatiga visual		Ninguna	Estudio de iluminación en la sala de procesamiento.
	III. Esfuerzo físico, estar sentado durante períodos prolongados	Trastornos musculoesqueléticos Lumbalgias		Solicitar apoyo de familiares u otros técnicos para el manejo de pacientes con dificultades de movilidad.	Análisis ergonómico de puestos de trabajo Capacitación en el manejo de cargas. Implementación de pausas activas de trabajo (ponerse de pie por lo menos durante 10 min. por cada dos horas de estar sentado)
Egreso	I. Radiaciones ionizantes	-Ninguno (debido al corto tiempo de exposición)	3	Aplicación de los principios de protección radiológica:	Ninguna.

Fases del proceso de trabajo	Riesgos o exigencias	Probables daños a la salud	No. de trabajadores expuestos	Medidas preventivas actuales	Propuestas de acciones preventivas.
				tiempo y distancia. para evitar exposiciones prolongadas	
Inspección final			2	Medición de los niveles de radiación y verificación de no contaminación de las instalaciones. Aplicación de los principios de seguridad radiológica: tiempo y distancia. Uniforme y guantes (para personal de intendencia)	Enfatizar indicaciones para el uso del baño (insistir en activar mínimo dos veces la descarga de agua del sanitario)

Fuente: Elaboración propia a partir del recorrido de observación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

Además del POE, en el servicio trabajan dos secretarías. Diariamente solicitan al paciente su carnet de citas, corroboran su información y el estudio o tratamiento que recibirá, le indican que pase a la sala de espera de pacientes. También se encargan de agendar las citas en caso de que requieran volver al siguiente día para la toma de alguna imagen. Todos los días realizan el pedido del material radiactivo, se comunican vía telefónica con la empresa proveedora para solicitar las unidosis que se proporcionarán al día siguiente. Deben indicar datos como: nombre

del paciente, dosis, hora de administración, volumen, nombre del radiofármaco y del estudio, o tratamiento.

Cuando los resultados de los estudios están listos, son ellas quienes se encargan de entregar el CD que contiene las imágenes.

Todas sus tareas las realizan desde su puesto de trabajo, sentadas, no es necesario que se desplacen a otra área o espacio. Es probable que padezcan algún trastorno musculoesquelético o lumbalgias, sería prudente que se evaluaran los factores de riesgo ergonómicos de su puesto de trabajo. En la sección de recomendaciones se exponen algunas de las acciones que podrían ser de utilidad para evitar daños a la salud debido a las características de su actividad.

Debido a que algunas de sus tareas requieren interacción con pacientes, se colocó una barrera física para evitar contagios de COVID-19. Adicionalmente, en su espacio de trabajo hay un monitor de dosis (de radiación ionizante) ambiental, se señaló que la lectura siempre corresponde a niveles de fondo, no hay riesgo para ellas de padecer algún daño en su salud debido a las radiaciones.

El asistente del médico nuclear también realiza todas sus tareas sentado, frente a una computadora, es probable que padezca fatiga visual debido a la visualización de la pantalla o algún trastorno musculoesquelético. El trabajo de él no requiere contacto con pacientes, por lo que se descartan los riesgos que se observaron para los otros trabajadores.

6.1.3. Cuestionario de Verificación

En esta sección se muestran los resultados de aplicar los siete capítulos que componen el cuestionario de verificación. La hoja de resultados y las gráficas que muestran las figuras 8,9 y 10, resumen los resultados de la evaluación. También se contrasta lo que se esperaría que cumpla el servicio de medicina nuclear con lo que actualmente cumple. En la sección de anexos se pueden consultar las hojas de resultados con el desglose de cada apartado según el capítulo.

Las observaciones puntuales de las preguntas que se calificaron como “parcialmente” o “no”, así como sus recomendaciones, se presentan en la siguiente sección.

En el primer capítulo: “*Evaluación preliminar del servicio de MN*”, el porcentaje de eficacia (PE) fue del 86.36% (tabla 7). El primero de sus ocho apartados (*edificios, locales, instalaciones y áreas del servicio*) fue el que obtuvo el menor porcentaje de respuestas positivas,

por lo que su PE fue de 75%. Se identificó que las instalaciones requieren algunas reparaciones, especialmente en el área de aplicación del radiofármaco pues el piso presenta deterioro y fisuras (fig.12). Además, el plafón del techo está dañado y se observó goteo en las tuberías del fregadero y en el lavabo del baño de pacientes.

Respecto a los sistemas contra incendios, en el servicio no hay detectores de humo, calor u otro tipo, ni un sistema de alerta en caso de incendios, solo se cuenta con un extintor.

Por otro lado, en la sala de espera de pacientes se puede mejorar el orden pues hay una camilla con varias carpetas y otros documentos que temporalmente ubicaron ahí pero no se utilizan para dar la atención diaria a los pacientes (figs.16 y 17).

Se observó desgaste en los señalamientos de seguridad, por lo que ya no todos cumplen satisfactoriamente con los requisitos de la NOM-018-STPS-2015, la NOM-026-STPS-2008, sobre colores y señales de seguridad e higiene y el artículo 95 del RGSR.

Respecto a servicios, debido a que el establecimiento en cuestión ofrece servicios de atención pública a la salud, no se dispone de un área dedicada exclusivamente a la atención médica de los trabajadores, y cuando se requiere este tipo de servicio, se envía a los trabajadores a urgencias; sin embargo, esta área no siempre está provista con materiales e insumos suficientes.

El capítulo II evalúa la participación de los niveles directivos en materia de salud laboral. Los requisitos que se solicitan aquí no le conciernen exclusivamente al servicio de medicina nuclear, para que se dé un cumplimiento satisfactorio de todos los puntos, se requiere la colaboración y disposición de otras figuras como: la dirección general y la comisión de seguridad e higiene.

Se tomó como base el Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo (2014); la NOM-030-STPS-2009, Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo, funciones y actividades; y la NOM-019-STPS-2011, Constitución, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.

Este capítulo fue el que tuvo la calificación más baja de toda la evaluación (PE=79.8%). El 35% de sus preguntas obtuvieron un cumplimiento parcial, siendo el capítulo con el mayor porcentaje de este tipo de respuestas. El cumplimiento en varios rubros no es pleno. Existe una buena gestión del uso de fuentes abiertas de radiación, que constituye el principal riesgo físico dentro

del servicio, hay un responsable de garantizar la seguridad radiológica, en conjunto con protección civil se toman acciones para la prevención y atención de desastres, pero la salud laboral es más amplia.

La OIT y la OMS establecen que los objetivos de la salud laboral están dirigidos a la reducción o eliminación de los factores de riesgo presentes en el lugar de trabajo, consisten en:

“Promover y mantener el más alto grado posible de bienestar físico, psíquico (mental) y social de los trabajadores en todas las profesiones; prevenir todo daño causado a la salud de estos por las condiciones de trabajo; protegerlos en su empleo contra los riesgos resultantes de la presencia de agentes perjudiciales a su salud; procurando la adaptación del trabajo a las capacidades de los trabajadores habida cuenta de su estado de salud física y mental” (OIT, 1985).

El Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo [RFSST] relaciona a la seguridad y salud en el trabajo con todos los aspectos involucrados con la prevención de accidentes y enfermedades de trabajo e indica disposiciones que deben observarse en diferentes rubros, adicionalmente a riesgos físicos (radiaciones ionizantes), entre ellos destacan los factores de riesgo ergonómico y psicosocial.

El capítulo III *“Reglamento General de Seguridad Radiológica”*, obtuvo un nivel de eficacia muy bueno (PE=95.9%). Sus seis apartados (instalaciones radiactivas; sistema de limitación de dosis; fuentes de radiación ionizante; equipos; permisionario, encargado de seguridad radiológica y POE; accidentes radiológicos y medidas preventivas de seguridad) tienen un PE superior al 91%. Sin embargo, hacen falta ejecutar algunas acciones, como: reemplazar las señales de seguridad desgastadas, colocar letreros que indiquen los tiempos máximos de permanencia dentro de las zonas controladas. En el servicio, en general se siguen las medidas de seguridad y protección radiológica establecidas en el Reglamento.

Las *condiciones de seguridad y salud para el manejo de fuentes de radiación ionizante* se verificaron en el cuarto capítulo teniendo como base la NOM-012-STPS-2012. Obtuvo un nivel de eficacia muy bueno, todos sus apartados (tabla 12 de anexos) tienen un PE > 91%. Se cumplen la mayoría de las disposiciones, pero algunas no, por ejemplo: respecto a las medidas de

seguridad radiológica: el piso de una zona controlada tiene pequeñas fisuras, no se dispone de un detector de incendios, ni de un espacio destinado especialmente para guardar el equipo de protección personal (como bata y guantes).

El capítulo V: “*Requisitos de seguridad radiológica para la práctica de la medicina nuclear*” cumple casi con la totalidad (PE=95.7%) de los requerimientos de la NOM-040-NUCL-2016. Sin embargo, el cumplimiento en la señalización de las zonas controladas es parcial y se requiere adecuarlo a lo que solicita la Norma. Tampoco se cuenta con un detector de radiación ionizante para contaminación superficial.

Finalmente, los capítulos VI y VII que evaluaron el cumplimiento de la *vigilancia médica del POE*, así como el *entrenamiento y la capacitación*, respectivamente, cumplen plenamente con lo solicitado por las NOM-026-NUCL-2011, NOM-012-STPS-2012 y NOM-031-NUCL-2012.

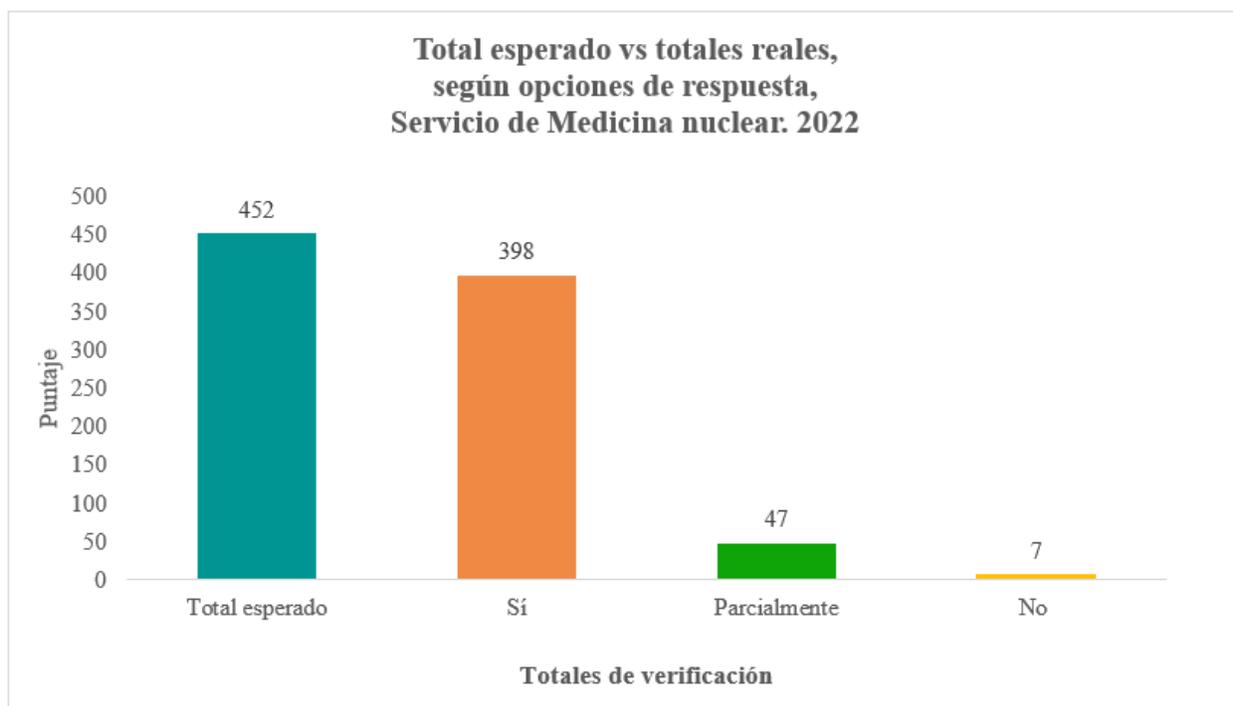
6.1.3.1. Gráficas del CV

La figura 8 muestra una gráfica con la distribución de las respuestas en todos los capítulos, es una comparación entre el total esperado y el total real; el último se desglosa en las tres opciones de respuesta: **Sí**, que indica que el rubro evaluado se cumple en su totalidad y de manera satisfactoria; **parcialmente (PM)**, que significa que algún aspecto del rubro no se cumple; y **No**, indica que el establecimiento no cumple o le falta implementar por completo ese requerimiento.

Se aplicaron 452 preguntas de las cuales 398 obtuvieron una respuesta positiva, esto representa el 88.05%; el establecimiento cumple con la mayoría de los aspectos evaluados.

Las respuestas negativas (7) solo corresponden al 1.5 por ciento. Se identificaron en total 47 aspectos que se cumplen de manera parcial, en la sección de observaciones y recomendaciones se abordarán con detalle.

Figura 8



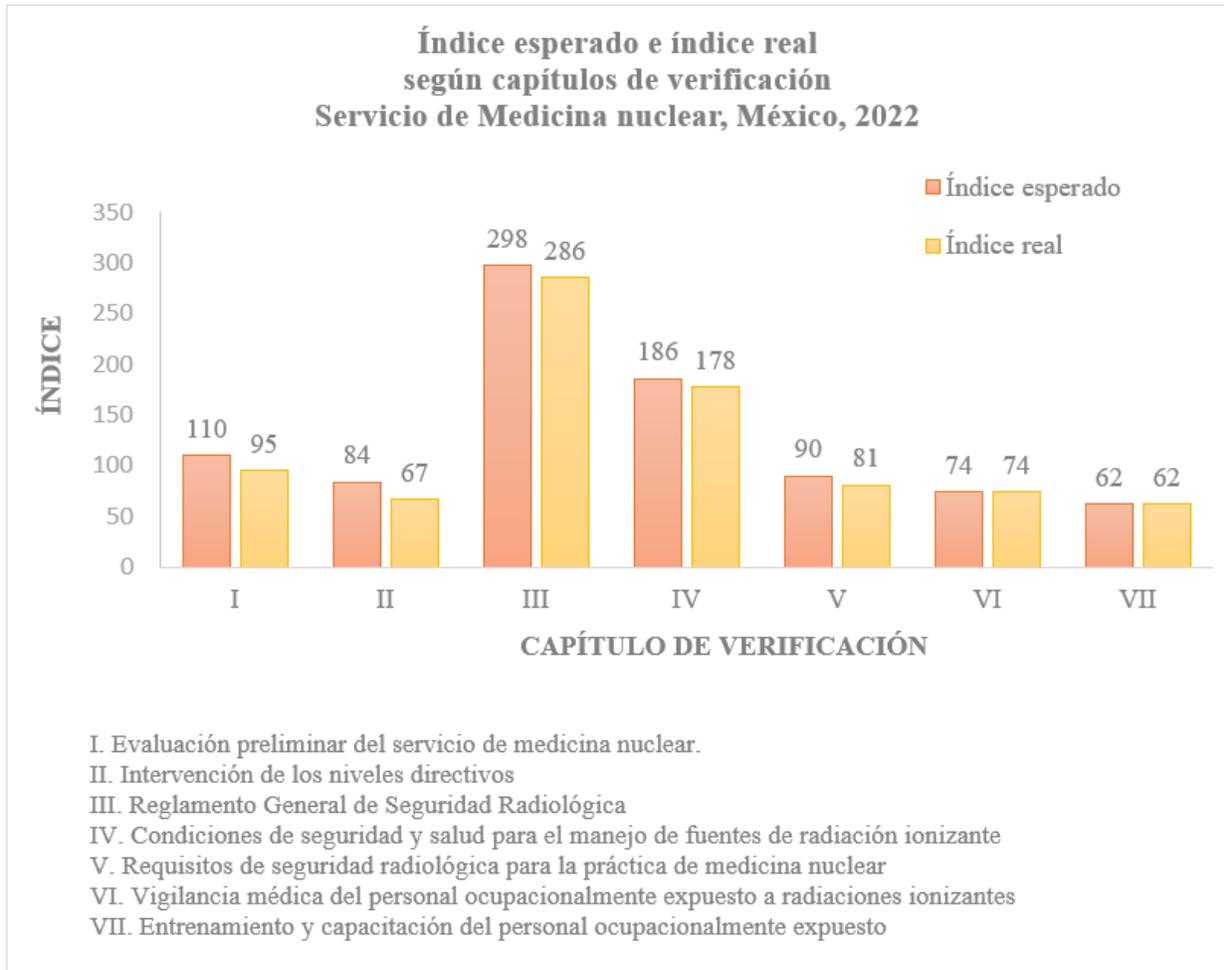
Fuente: Cuestionario de verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

La figura 9 presenta el contraste entre los índices real y esperado de todos los capítulos. El primero corresponde a las respuestas que se dieron a cada pregunta del cuestionario de verificación y tienen una ponderación según la respuesta (a las respuestas con “sí” se les asigna el valor de 2, a las de “pm”, el de 1, y a los “no” un cero). Por su parte, el índice esperado representa el puntaje que se debería obtener si el cumplimiento de todos los reactivos fuera pleno (solo respuestas positivas).

La diferencia entre ambos índices para los capítulos I y II no es muy grande, sin embargo, estos dos capítulos son los que presentan mayor variación entre los índices real y esperado, en comparación con los índices de los otros cinco capítulos. Ambos capítulos tienen un nivel de eficacia bueno, en contraste los otros capítulos que evaluaron el cumplimiento de seguridad radiológica, cuyo nivel de eficacia es muy bueno.

El capítulo II (*intervención de los niveles directivos*) es el que obtuvo la menor cantidad de respuestas positivas, mientras que los capítulos de *vigilancia médica del POE* y *entrenamiento y capacitación* dieron cumplimiento cabal a todas las preguntas, sus índices son iguales.

Figura 9

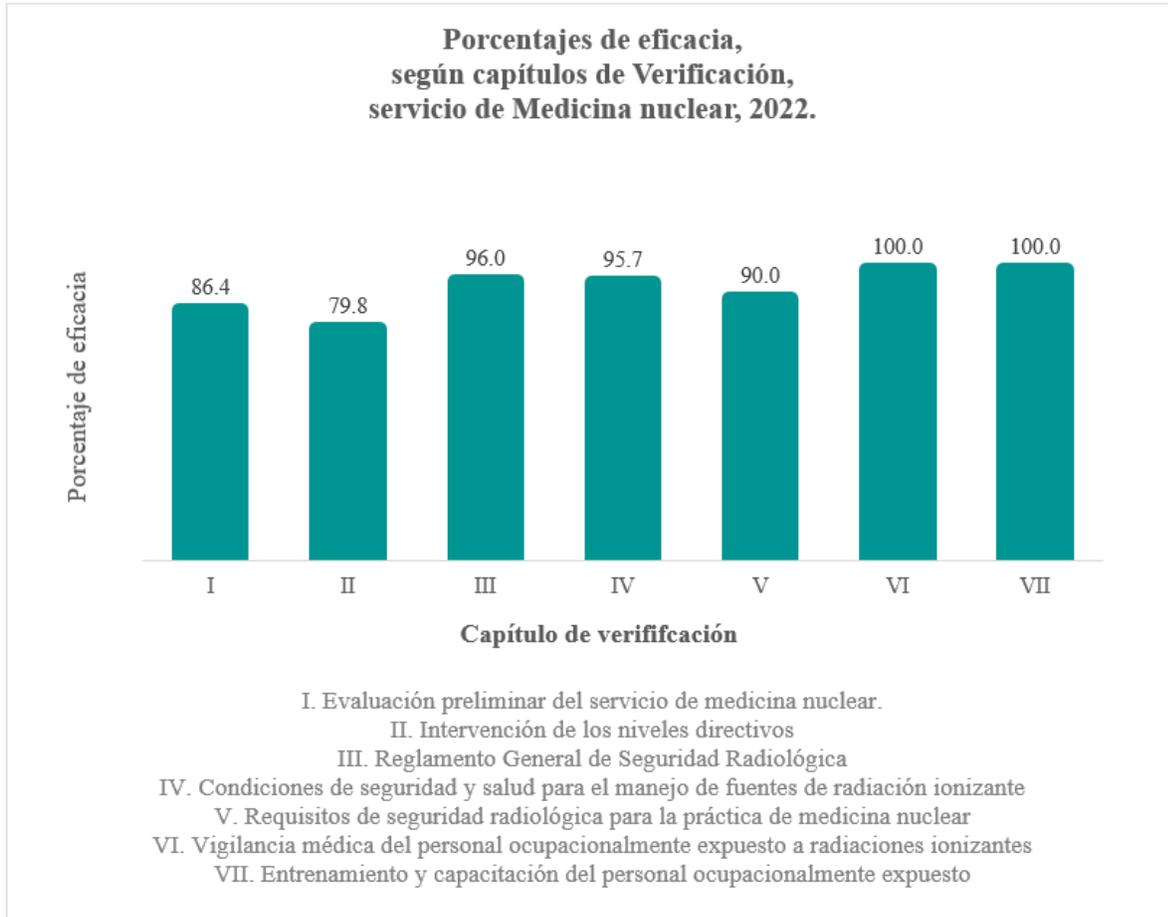


Fuente: Cuestionario de verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

El porcentaje de eficacia (PE) indica la capacidad que tiene el servicio de MN para resolver sus problemas o necesidades en salud laboral, está asociado a niveles de eficacia y de riesgo (ver tabla 7) según la escala propuesta en el PROVERIFICA. En la figura 10 se aprecian los resultados de este parámetro, la evaluación arrojó que el servicio tiene un PE igual a 93.3%.

Todos los capítulos tienen un PE superior al 80% y se les asoció un nivel de eficacia bueno o muy bueno (tabla 7).

Figura 10



Fuente: Cuestionario de Verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

6.1.3.2 Hoja de resultados

La hoja de resultados reporta información adicional para una mejor comprensión de las figuras 8, 9 y 10. Esta hoja muestra los resultados globales por cada capítulo, se sugiere consultar los anexos para un mayor detalle de la evaluación de los apartados que conforman cada capítulo.

Tabla 7

**Hoja de resultados del total de la verificación,
según capítulos del cuestionario de verificación,
Servicio de medicina nuclear, 2022.**

Capítulo de verificación	Total Esperado	Total Sí	% Sí	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice esperado	Índice real	% de Eficacia	Nivel de Eficacia	Nivel de Riesgo
I. Evaluación preliminar del servicio de medicina nuclear	55	40	72.73	15	27.27	0	0.00	110	95	86.4	Bueno	Medio
II. Intervención de los niveles directivos	42	26	61.90	15	35.71	1	2.38	84	67	79.8		
III. Reglamento General de Seguridad Radiológica	149	140	93.96	6	4.03	3	2.01	298	286	96.0	Muy bueno	Bajo
IV. Condiciones de seguridad y salud para el manejo de fuentes de radiación ionizante (NOM-012-STPS-2012)	93	85	91.40	8	8.60	0	0.00	186	178	95.7		
V. Requisitos de seguridad radiológica para la práctica de medicina nuclear (NOM-040-NUCL-2016).	45	39	86.67	3	6.67	3	6.67	90	81	90.0		
VI. Vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes (NOM-026-NUCL-2011 y NOM-012-STPS-2012)	37	37	100.00	0	0.00	0	0.00	74	74	100.0		
VII. Entrenamiento y capacitación del personal ocupacionalmente expuesto (NOM-031-NUCL-2011 y NOM-012-STPS-2012)	31	31	100.00	0	0.00	0	0.00	62	62	100.0		
Total	452	398	88.05	47	10.40	7	1.55	904	843	93.3	Muy bueno	Bajo

Fuente: Cuestionario de Verificación, servicio de Medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

6.2. Conclusiones

Mediante los instrumentos del PROVERIFICA se recabó información del servicio de medicina nuclear que permitió conocer sus aspectos generales: cómo está organizado, a partir de datos del personal del servicio y su jornada laboral. También se identificaron las fases del proceso de trabajo, los riesgos y exigencias que implica cada una, las medidas de prevención con las que se cuenta y las que se pueden implementar.

Finalmente, se evaluó: la participación de los niveles directivos en el cumplimiento de lineamientos sobre seguridad y salud laboral, entre ellos: el funcionamiento de la Comisión de Seguridad e Higiene y de los servicios preventivos en esta materia. También, el cumplimiento del Reglamento General de Seguridad Radiológica y de las Normas Oficiales Mexicanas necesarias para la práctica adecuada de la medicina nuclear.

En seguida, se presentan las conclusiones que se formularon de acuerdo con la información que se recopiló con cada instrumento.

6.2.1 CIGE

6.4.1.2 Datos del personal

Actualmente todo el POE es de sexo masculino y las edades varían desde los 29 hasta los 64 años, pero solo dos personas superan los 58 años.

Dos de los trabajadores no son de base, cuentan con una plaza indefinida. La inseguridad contractual es considerada como un factor de riesgo psicosocial (Moreno y Báez, 2010, p.9) que ocasiona incertidumbre sobre el futuro laboral y económico. El hecho de que no todos los trabajadores tengan una plaza fija, implica que no se les otorguen las vacaciones correspondientes, puede propiciar demandas conflictivas entre el trabajo y la familia, que también es un factor psicosocial de riesgo (Moreno y Báez, 2010).

6.4.1.3 Jornada laboral

Respecto a los datos de la jornada, la duración es de 8 horas y hay descanso semanal conforme a lo establecido a la ley. Los trabajadores pueden tomar pausas de trabajo y no hay rotación de turnos. Pero solo los trabajadores de base tienen vacaciones, bonos y primas.

6.2.2 Diagramas complejos de salud en el trabajo.

La reconstrucción del proceso de trabajo que realiza el POE permitió identificar los riesgos y exigencias, también las medidas de seguridad y prevención de las que se dispone actualmente para controlarlos y evitar daños a la salud. Se identificaron seis fases en este proceso de trabajo, en las cuales todo el POE se expone a fuentes abiertas de radiación ionizante en por lo menos una de estas fases.

El riesgo que predomina en el proceso de trabajo es la exposición a radiaciones ionizantes, las fases en las que se tiene la mayor exposición son: recepción, administración y en la realización del estudio.

El daño biológico que producen las radiaciones ionizantes depende del tipo de radiación, la dosis y el tiempo de exposición a la fuente, por lo que la carga de trabajo influye en los dos últimos aspectos. Los radionúclidos que se emplean en este servicio son principalmente emisores de radiación gamma (^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl , ^{125}I) útiles para el diagnóstico. La radiación gamma tiene gran capacidad de penetración, atraviesa completamente el cuerpo humano y produce ionizaciones que pueden dañar los tejidos y el ADN. Los niveles bajos solo conllevan un riesgo estocástico para la salud en el que la probabilidad de inducción de enfermedades como el cáncer se eleva con el aumento de la exposición (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency [ARPANSA]. S.f.).

El $^{99\text{m}}\text{Tc}$ también es muy usado, es un emisor de partículas beta. Su aplicación no requiere hospitalización pues las betas tienen poco poder de penetración. Son más ionizantes que la radiación gamma, pero producen menor daño al tejido vivo y al ADN. No representa problemas de protección radiológica para el personal, paciente, ni familiares.

La carga y el ritmo de trabajo no son elevados, en promedio se atienden a ocho personas al día. Todos los procedimientos se agendan previamente, por lo que solo se cuenta con el material radiactivo que se utilizará ese día. No contar con un generador de radionúclidos, y en su lugar recibir diariamente las unidades, beneficia al personal porque las dosis de radiación que recibe el POE son menores, es más sencillo gestionar el abastecimiento y los residuos de material radiactivo (que recolecta diariamente el proveedor).

En el servicio de medicina nuclear están implementadas las medidas de seguridad radiológica para limitar la exposición y las dosis de radiación. Se dispone de medidas de control para el monitoreo y seguimiento: se utilizan dosímetros tanto personales, como ambientales y se publican sus lecturas de manera mensual, se tiene un programa de vigilancia médica para el POE. Hay equipo para la medición y detección de radiación en diferentes puntos (por ejemplo, cerca de la salida de la sala de pacientes, a la salida de la zona controlada), se emplean los principios de seguridad radiológica: tiempo, distancia y blindaje; y se permite que los técnicos radiólogos se organicen para evitar que la misma persona administre diario el radiofármaco, evitando exposiciones innecesarias.

La radiación ionizante se ha considerado por décadas como un potencial mutagénico o un factor de riesgo para otros daños a la salud como eritemas, cataratas, cáncer, entre otros. Sin embargo, esto solo ocurre a dosis moderadas o elevadas (>100 mGy) que no se encuentran en un entorno de trabajo de aplicaciones médicas donde se emplean cantidades muy pequeñas de material radiactivo, se dispone de sistemas de limitación de dosis y vigilancia epidemiológica. No se excede el límite anual del equivalente de dosis efectivo para los efectos estocásticos (50 mSv) establecido en la normatividad nacional; por el contrario, las dosis efectivas promedio anuales se encuentran por debajo del límite recomendado internacionalmente (20 mSv).

Hasta ahora no hay evidencia experimental contundente acerca de los riesgos a dosis (bajas) < 100 mGy (Tsai, 2022; UNSCEAR, 2022; Shore, 2014). Algunos estudios sugieren la posibilidad de que existan efectos biológicos adversos en el rango de 5-50 mSv con indicios de que la inestabilidad genómica puede incrementar su riesgo (Martínez et al., 2010; Suzuki y Yamashita, 2012; Shore, 2014). Los efectos genéticos incluyen cambios estructurales en los cromosomas y mutaciones genéticas. Otros datos apoyan una interpretación “sin riesgo” gracias a las respuestas adaptativas, la reparación del ADN en dosis bajas y otros sistemas de protección (Shore, 2014).

Todavía hay incertidumbre sobre el riesgo para la salud, si es que lo hay, de bajas dosis acumulativas (es decir, la dosis total resultante de exposiciones repetidas de un trabajador ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes en la misma parte del cuerpo o en todo el cuerpo durante un período de tiempo) del orden de 5- 50 mSv. Pero, no hay evidencia epidemiológica fehaciente de riesgo cancerígeno a estas dosis, hasta ahora es un riesgo hipotético derivado del modelo lineal sin umbral (Tsai, 2022).

En el servicio las radiaciones se deben a la emisión de radiación gamma y beta proveniente de los radionúclidos. La radiación gamma produce principalmente daño indirecto debido a la interacción de un electrón secundario con una molécula de agua, como resultado se producen radicales libres o especies reactivas de oxígeno (ROS). Esta acción puede acentuarse debido al contenido de oxígeno del microambiente celular. El número total de radicales libres depende de la dosis de radiación, por lo que entre más pequeña sea esta, habrá un menor número de radicales libres.

Las partículas beta tienen, principalmente, un daño directo sobre el ADN, produciendo en su mayoría rupturas a ambas cadenas (DSB). de esta molécula Las rupturas dobles pueden provocar daños irreversibles en el ADN, por lo que son consideradas como la principal causa de mutaciones, muerte celular y carcinogénesis. Sin embargo, se ha demostrado que 100 mGy a una tasa de dosis baja no produce excesos de DSB. Una dosis aguda de 100 mGy induce cuatro DSB/célula. Por su parte, una dosis anual de 100mGy induce ~ 0.01 DSB/célula/día, en contraste con los ~ 0.1 DSB/célula/día resultado de las ROS que se producen de manera interna y natural en el cuerpo humano (Suzuki y Yamashita, 2012).

El POE recibe anualmente tasas de dosis bajas mucho menores a 100 mGy, por lo que el riesgo de carcinogénesis es realmente muy bajo, prácticamente escaso (Suzuki y Yamashita,2012). Considerando que realizan sus funciones siguiendo los principios y precauciones de seguridad radiológica, la probabilidad de que su trabajo con radiaciones ionizantes suponga un riesgo para su salud es casi nula y no constituye un motivo de preocupación.

Por otro lado, es importante mencionar que cualquier trabajador que esté en contacto con agujas corre el riesgo de sufrir lesiones por pinchazos y la transmisión de patógenos contenidos en la sangre que pueden causar infecciones serias. Los patógenos que pueden causar riesgos serios para la salud son los virus de la hepatitis B, hepatitis C o el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) (CDC, 2015). El personal técnico de MN usa agujas durante la fase de administración del material radiactivo, podrían exponerse a dichas lesiones y patógenos.

El trabajo que desempeña cada miembro del POE implica además de los riesgos señalados, exigencias derivadas de sus actividades, La Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (2021) señala que: permanecer *sentado durante periodos prolongados* se puede definir como estar sentado durante dos horas seguidas, o más. Las características principales de esta

posición son: bajo gasto energético; cuerpo en postura sedente; carga estática (esfuerzo físico para mantener la misma posición).

El personal técnico espera largos periodos a que el radiofármaco se absorba en el organismo del paciente, alrededor de 2 a 3 horas (dependiendo del estudio en cuestión; la gammagrafía ósea requiere esperar hasta tres horas), para que puedan tomar el estudio. El médico nuclear también permanece la mayor parte de su jornada sentado, el ESR además de hacer las actividades mencionadas en la tabla 5, tiene que llenar bitácoras, atender otros asuntos relacionados con la seguridad radiológica y el funcionamiento del servicio; estas tareas, de acuerdo con Healy & Owen (2010) implican una conducta sedentaria.

De igual forma, el trabajo que realizan las secretarias y el asistente del jefe del servicio también tiene como principal exigencia estar sentado durante periodos prolongados.

Esta exigencia puede generar molestias o efectos a la salud como: Trastornos musculoesqueléticos (TME), diabetes de tipo 2, enfermedades cardiovasculares (al estar sentado es escaso el uso de los músculos de las piernas y su actividad es importante para el bombeo de la sangre), obesidad (INSHT, 2015; Healy & Owen, 2010).

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo de España (INSHT) indica que hay una asociación entre las posiciones de trabajo estáticas (trabajos en bipedestación, sentado o sedentarios) y el trastorno de la zona inferior de la espalda (2015, p.21).

La OMS (2004) define a los TME como: *“problemas de salud del aparato locomotor, es decir, de músculos, tendones, esqueleto óseo, cartílagos, ligamentos y nervios. Esto abarca todo tipo de dolencias, desde las molestias leves y pasajeras hasta las lesiones irreversibles e incapacitantes”*. Se pueden producir en cualquier segmento del cuerpo, los más comunes se producen en la espalda (como lumbalgias), cuello, los hombros, los codos, las manos y las muñecas.

Por lo anterior, la exigencia de estar sentado durante períodos prolongados es un factor potencial para el desarrollo de trastornos musculoesqueléticos.

6.2.3. Cuestionario de Verificación

Este instrumento al detectar los lineamientos normativos que se cumplen cabal o parcialmente respecto a temas de seguridad y salud laboral también reconoce los aspectos que requieren atención, y en su caso medidas preventivas o correctivas.

Los capítulos que tuvieron mayor cumplimiento fueron los correspondientes a la evaluación de la seguridad radiológica requerida para la práctica de la medicina nuclear, todos obtuvieron un porcentaje de eficacia mayor al 90%. Debido a que las actividades que se realizan en este servicio se centran en el uso de fuentes abiertas de radiación, se presta especial a que su uso sea seguro. Con esto se controlan los riesgos físicos presentes en el establecimiento.

Aunque se tiene una buena gestión de riesgos físicos, la salud y seguridad laboral es más amplia, abarca la prevención y control de otros riesgos (no solo físicos), como ergonómicos y psicosociales. Para promover un ambiente laboral seguro y sano que prevenga accidentes y enfermedades relacionados con esta actividad, también se deben cumplir satisfactoriamente: el Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo (RFSST), la NOM-019-STPS-2011, la NOM-030-STPS-2009 y la NOM-035-STPS-2018. Estas Normas son aplicables en todos los centros de trabajo de todo el territorio nacional, sin importar el tipo de actividad económica que desarrollen, su objetivo es mejorar las condiciones de seguridad y salud en el trabajo de los trabajadores mexicanos. El capítulo II, mostró que el abordaje de la salud laboral es parcial.

Capítulo 7. Recomendaciones

7.1 Diagramas Complejos de Salud en el trabajo.

Debido a que durante la jornada del personal de medicina nuclear está sentado por periodos prolongados, se sugiere la incorporación de pausas activas. Además, se pueden implementar algunas de las recomendaciones de buenas prácticas emitidas por la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (2021, p.6):

- ☞ Evitar estar sentado de manera continua durante lapsos prolongados: procurar levantarse por lo menos una vez cada 20 o 30 minutos.
- ☞ Ponerse de pie, siempre, durante al menos 10 minutos después de estar dos horas sentado.
- ☞ No estar más de cinco horas al día sentado en el trabajo.
- ☞ Trabajar de manera activa y cambiar de posición; alternar entre estar sentado, de pie y caminando.
- ☞ Organizar el trabajo de modo que se limite el tiempo en que se está sentado y se fomente el movimiento:
- ☞ Equilibrar las tareas que se deben realizar y ofrecer posibilidades de trabajo activo, rotación de tareas, enriquecimiento del trabajo, descansos breves y opciones de control individual.
- ☞ Realizar evaluaciones ergonómicas.
- ☞ Dar mantenimiento de puestos de trabajo, sillas y equipos.
- ☞ Organizar el entorno y la cultura de trabajo de modo que se promueva el movimiento, por ejemplo: ubicar papeleras e impresora en una zona común y acordar tiempos para estirar los músculos durante las reuniones.
- ☞ Tener una configuración adecuada del puesto de trabajo para evitar posturas forzadas en cuello, manos, hombros y espalda. Proporcionar condiciones apropiadas en el entorno, como: sillas y planos de trabajo (mesas o escritorios).

La capacidad de ajuste es importante para el cambio postural y un trabajo cómodo. Para conocer las características de estos elementos se puede tomar en consideración las propuestas por el INSHT (2003):

- ☞ **La altura del asiento de la silla debe ser regulable, la ideal permite que la persona se siente con los pies planos sobre el suelo y los muslos en posición horizontal con respecto al cuerpo** o, formando un ángulo entre 90° y 110° La altura correcta del asiento es muy importante, si ésta es excesiva se produce una compresión en la cara inferior de los muslos. Si el asiento es demasiado bajo, el área de contacto se reduce exclusivamente al glúteo (las piernas quedan dobladas hacia arriba cerrando el ángulo formado por los muslos y el cuerpo) provocando compresión vascular y nerviosa.
- ☞ **El respaldo de la silla también debe ser regulable en altura y ángulo de inclinación.** Su función es facilitar soporte a la región lumbar de la espalda, por lo que debe disponer de un almohadillado que ayude a mantener la curvatura de la columna vertebral en esta zona. Es conveniente que llegue, como mínimo, hasta la parte media de la espalda, debajo de los omoplatos y no debe ser demasiado ancho en su parte superior para no restar movilidad a los brazos.
- ☞ **Las sillas deben ser estables; su base de apoyo estará formada por cinco patas con ruedas.** Es importante que puedan girar y desplazarse.
- ☞ **Se recomienda que el material de revestimiento interior del asiento de la silla sea de tejido transpirable y flexible,** con un acolchamiento mínimo de 20 mm de espesor. Ambos materiales deben permitir una buena disipación de la humedad y del calor, conviene evitar los materiales deslizantes.
- ☞ Los mandos que regulan las dimensiones de la silla se deben manipular fácil y seguramente mientras la persona está sentada en ella.
La función principal de los reposabrazos es facilitar los cambios de posturas y las acciones de sentarse y levantarse de la silla. También son útiles para dar apoyo y descanso a hombros y brazos,
- ☞ El asiento de la silla debe tener una superficie casi plana y el borde delantero redondeado para evitar la compresión en la parte inferior de los muslos
- ☞ **Mantener una correcta posición de trabajo que permita que el tronco esté erguido frente al plano de trabajo** y lo más cerca posible del mismo, conservando un ángulo cercano a los 90° en codos y de rodillas La cabeza y el cuello deben estar lo más rectos posible.

- ☞ La ubicación del plano de trabajo debe tomar en cuenta las dimensiones antropométricas y las características de las actividades. El espesor de la superficie de trabajo y la altura del asiento deben concordar con la altura de la superficie de trabajo (INSHT, 2003).
- ☞ Se recomienda el uso de herramientas de autoevaluación para ayudar a los trabajadores a identificar y controlar los factores de riesgo ergonómicos y elaborar un informe temprano de signos y síntomas de problemas ergonómicos.
- ☞ Se sugiere proporcionar instrucción sobre riesgos ergonómicos, manipulación de cargas y estrategia de control al personal técnico porque su trabajo requiere que en ocasiones tengan que apoyar a pacientes con movilidad limitada a posicionarlos en la mesa de la gammacámara para la realización del estudio.
- ☞ De igual manera, se recomienda que el técnico de mayor edad no tenga que asistir a los pacientes en su movilización (o incluso cargarlos) para evitar que pueda sufrir algún daño o afección musculoesquelética (fig.11).

Se observó que no todos los trabajadores usan una bata con puños, y en ocasiones no la abotonan; además, se debe proporcionar guantes de látex a todo el personal (uno de los trabajadores comentó que en ocasiones han tenido que comprarlos por su cuenta).

- ☞ Se sugiere que se verifique que el personal use adecuadamente este equipo de protección personal, en especial durante la fase de administración del radiofármaco pues en esta etapa existe riesgo de contaminación con el material radiactivo.

Figura 11



Nota. Personal técnico asistiendo a un paciente con dificultad para moverse. También se aprecia que no porta el cubrebocas para prevenir contagios por el virus del SARS-COV2.

Fuente: Recorrido de observación del servicio de medicina nuclear, agosto, 2022.

Debido a que existe la posibilidad de que el personal técnico sufra lesiones ocasionadas por el manejo de jeringas con agujas que pueden exponerlos a patógenos presentes en la sangre, se pueden aplicar (o corroborar si se cumplen) algunas de las medidas que propone el Centro para el Control y prevención de Enfermedades (Centros para el control y la prevención de enfermedades [CDC], 2015):

- ☞ verificar si todos cuentan con la vacuna contra la hepatitis B y, en caso negativo, exhortarlos a hacerlo.
- ☞ evitar volver a tapar las agujas, depositarlas directamente al recipiente designado para su desecho.
- ☞ informar sobre todas las lesiones con agujas rápidamente para asegurarse de recibir el seguimiento o tratamiento adecuado.
- ☞ participar en adiestramientos relacionados con la prevención de infecciones.

Se sugiere insistir en que todos, tanto pacientes como personal (figs. 11 y 17), respeten y apliquen las medidas en caso de presentarse emergencias sanitarias como a sucedida por el virus SARS-CoV-2.

7.2 Cuestionario de Verificación

Capítulo I. Evaluación preliminar del establecimiento

Observación: El piso del baño de pacientes (fig. 13) y el área de descontaminación (figs. 12 y 14) presentan fisuras. Además, el plafón de la sala de inyección está roto.

- ☞ Se recomienda elaborar un plan de mantenimiento preventivo a las instalaciones y gestionar las reparaciones necesarias para que se dé cumplimiento pleno al numeral 7.4 a) de la Nom-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo; a la fracción VI del artículo 18 del RFSST y, al numeral 5.2.3 de la NOM-040-NUCL-2016, Requisitos de seguridad radiológica para la práctica de medicina nuclear.
- ☞ verificar y arreglar la tubería de la tarja de la zona controlada, presentaban goteo (fig. 14) y para evitar encharcamientos se colocó una sábana absorbente.

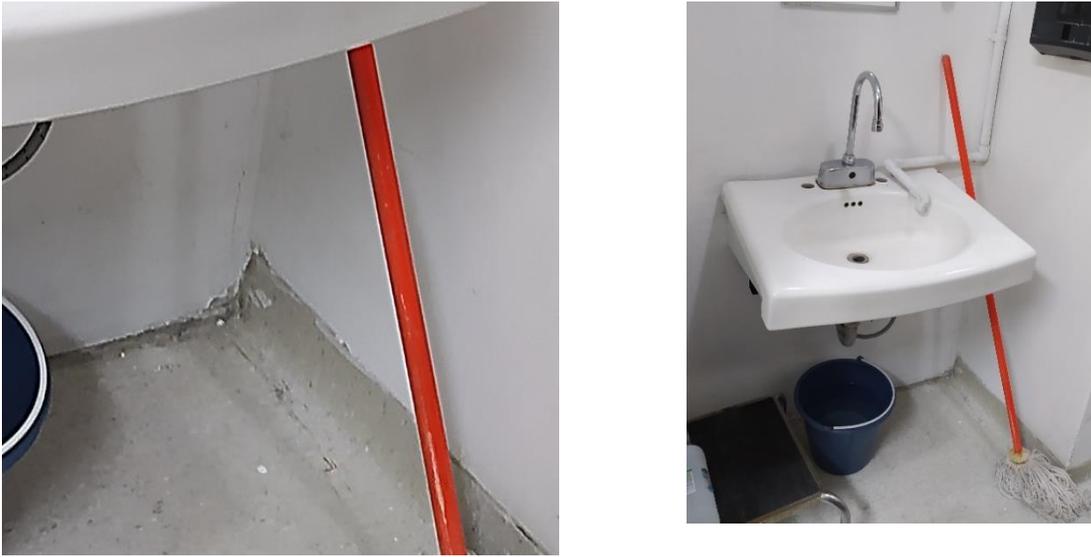
Figura 12



Nota. El piso que está en el área de descontaminación presenta una fisura.

Fuente: Recorrido de observación del servicio de medicina nuclear, agosto, 2022.

Figura 13



Nota. Se observan deterioros en el piso del baño de pacientes. El dispensador de jabón preferentemente debería evitar el contacto.

Fuente: Recorrido de observación del servicio de medicina nuclear, agosto, 2022.

Figura 14



Nota. La tarja de la sala de aplicación tenía goteo de agua y debajo se colocó una sábana absorbente para evitar encharcamientos.

Figura 15

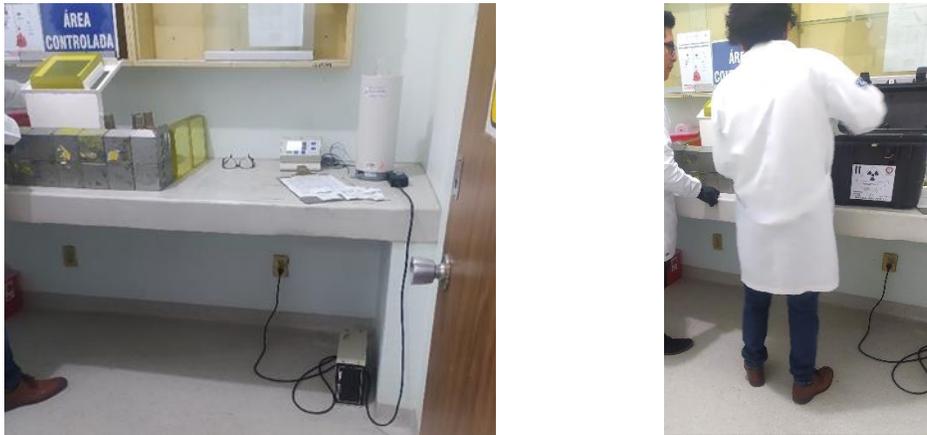


Nota. En el pasillo que conduce al baño del personal, también se aprecian deterioros en el piso.

Fuente: Recorrido de observación del servicio de medicina nuclear, agosto, 2022.

- ☞ Se sugiere implementar un programa de limpieza oportuna de cualquier derrame (fig. 14) y el uso de señales de advertencia que indiquen que el piso está mojado para evitar resbalones y caídas

Figura 16



Nota. Los cables largos suponen un riesgo de tropiezos y caídas al mismo nivel.

Fuente: Recorrido de observación del servicio de medicina nuclear, agosto, 2022.

- ☞ Se recomienda que los cables no queden sueltos en el piso (fig. 16) para eliminar el riesgo de tropiezos y caídas al mismo nivel. Se pueden recoger el exceso de cable con ganchos, o usar protectores de cables para piso, evitando que estén expuestos en el suelo.

Observación: En las figuras 17 y 18 se aprecia que en la sala de espera de pacientes hay una camilla que se usa como escritorio (tiene carpetas y cajas de cartón apiladas). Está ubicada muy cerca de los accesos a la sala para realización de estudios y a la zona controlada. Además, no se cuenta con vestidores ni casilleros para el uso del personal, como lo indica el artículo 18 (fracciones X y XII) del RFSST.

Figura 17



Nota. Al fondo, en la puerta de cristal, se encuentra un letrero que indica la presencia de radiaciones ionizantes pero debido al desgaste ya no cumple con los colores de seguridad. Además, una camilla se utiliza como escritorio; uno de los técnicos que enseguida aplicó el radiofármaco no portaba una bata adecuada (con puños), ni estaba abotonada. Una de las pacientes no portaba el cubrebocas dentro de las instalaciones, aunque todavía las autoridades sanitarias solicitaban esta medida.

Fuente: Recorrido de observación del servicio de medicina nuclear, agosto, 2022.

Para dar cumplimiento a lo establecido en el Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo, artículo. 18 (fracciones X y XII) referente al orden y limpieza de las instalaciones y, al título tercero (capítulos 11 y 12, arts. 103 y 107, respectivamente) del Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, se recomienda:

- ☞ Asignar un espacio a los archivos que ocupan la camilla, colocar una mesita auxiliar para poner los carnets de los pacientes que se atenderán cada día, mejorar el orden y asignar un lugar específico para guardar los instrumentos de limpieza (guantes, trapeadores y otros).

Figura 18



Nota. Documentos y objetos colocados en una camilla a la entrada del servicio.

Observación: Dentro del servicio no se cuenta con equipos de detección de incendios,

- ☞ Recomendación: Reforzar el sistema de prevención de incendios teniendo en cuenta la observación hecha en la guía de referencia IV (apéndice A) de la NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. La NOM-012-STPS-2012, también establece en su numeral 9.2.1 e) que se debe considerar la disposición de alarma o sistemas de detección de incendios,

Observación: Algunas señales y avisos de seguridad radiológica no se encuentran en buen estado (fig. 17), no cumplen con los colores de seguridad solicitados por la NOM-026-STPS-2008. Hace falta la colocación de otros que indiquen los tiempos de permanencia del POE en zonas controladas y respetar los señalamientos de seguridad e higiene para promover entre el personal y pacientes que se sigan las medidas recomendadas para evitar contagios por el SARS-COV2⁹.

- ☞ Recomendación: Reemplazar los señalamientos del servicio que tengan deterioro y elaborar un programa de mantenimiento para los señalamientos con base en los requerimientos establecidos en la NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías, en sus numerales 5.4, 7.1, 7.2, 8.3.1, 8.3.2, 8.7, así como en los apéndices B y E de esta norma.

Observación: El personal técnico al estar en la sala de procesamiento permanece gran parte de su estancia con la luz apagada, aunque la visualización de imágenes suele realizarse en un ambiente con poca iluminación, no es necesario mantener la luz apagada.

- ☞ se recomienda hacer un estudio para evaluar los niveles de iluminación ambiental, especialmente en esta sala, considerando los requerimientos del numeral 7 de la NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Con esto se daría

⁹ Aunque el 05 de mayo de 2023 la Organización Mundial de la Salud declaró el fin de COVID-19 como emergencia sanitaria internacional, la pandemia no ha llegado a su fin.

Es importante tener presente esta consideración en el caso de que se presente otra situación de contingencia sanitaria. El artículo 48 (fracción III c)) del RFSST recomienda que se incorporen al programa de Seguridad y Salud en el trabajo las acciones pertinentes para la atención a emergencias y contingencias sanitarias emitidas por las autoridades competentes.

cumplimiento a lo solicitado en dicha norma, así como al capítulo segundo del RFSST (artículo 35, numerales III y VII), el cual indica que se debe:

- ☞ Efectuar el reconocimiento de las condiciones de iluminación de las áreas y puestos de trabajo;
- ☞ Evaluar la iluminación en las áreas y puestos de trabajo;
- ☞ Informar a los trabajadores acerca del riesgo que conlleva el deslumbramiento o un nivel deficiente de iluminación en sus espacios y puestos de trabajo.

Adicionalmente, debido a que la visualización de pantallas puede provocar fatiga visual, deslumbramientos o reflejos (Ministerio de salud del gobierno de Alberta, 2013), se recomienda tener en cuenta consideraciones que son relevantes para la iluminación de las salas de lectura de imágenes médicas:

En la visualización de imágenes médicas, uno de los factores más importantes es el contraste. A mayor contraste, más apreciación de diferencias y detalles. La mayoría de los monitores médicos proporcionan alto contraste, pero la luz ambiental puede reducirlo de varias maneras (generando reflejos o deslumbramientos). La forma más importante en que la luz ambiental puede reducir el contraste es afectando la capacidad de los ojos para adaptarse a un cierto nivel de luz (EIZO, s.f.; Zemariame et al., 2011).

Si la pantalla y la luz ambiental difieren mucho (sea más brillante u oscura), la visión se tendrá que reajustar constantemente entre la luz ambiental y la del monitor cada vez que desvíe la mirada de la pantalla, generando fatiga visual; la cual además de ser incómoda, también puede afectar temporalmente la visión y aumentar el tiempo que tardan los ojos en adaptarse a las nuevas condiciones. Por lo que una regla general es que el brillo del monitor debe ser comparable (o coincidir) a la iluminación ambiental (de fondo) de la sala (EIZO, s.f.).

El Colegio de Americano de Radiología estableció un intervalo entre 20 y 40 lux cuando la pantalla tiene un brillo de al menos 350 cd/m². Un estudio concluyó que la iluminación ambiental por debajo de 7 lux es demasiado oscura y que más de 100 lux es demasiado brillante (McEntee et al., 2006), por lo que, la luz ambiental no debe ser demasiado oscura ni demasiado

brillante para la lectura de imágenes. Además, antes de comenzar a trabajar, se debe permitir que los ojos se ajusten durante aproximadamente 15 minutos para llevar su visión al nivel óptimo.

La mejor manera de controlar la luz ambiental es con luces tenues que se colocan detrás de la pantalla. Dado que la luz del techo, incluso cuando está apagada, puede causar deslumbramiento y reflejos, se recomienda el uso de fuentes de luz regulables detrás del monitor (EIZO, s.f.).

Capítulo II. Intervención de los niveles directivos

En el servicio se da especial importancia a la seguridad radiológica, hay un grupo de seguridad radiológica conformado por el jefe del servicio y el ESR. Mantienen comunicación con los grupos de protección civil y seguridad, quienes asesoran en la prevención de riesgos y desastres, así como en la colocación de letreros de seguridad. La participación del grupo de higiene en el servicio se centra en la gestión de los desechos RPBI.

Observación: Aunque a través de estas acciones se cubren algunos aspectos de seguridad y salud laboral, hay requisitos (como la integración y operación de Comisiones de Seguridad e Higiene) que se deben implementar en todos los centros de trabajo mexicanos para garantizar condiciones de trabajo seguras y prevenir accidentes laborales. Se señaló que no hay como tal una Comisión de seguridad e higiene, pero la legislación (artículos 509 y 510 de la LFT, 72 [fracción V] y 73 de la Ley del ISSSTE, el RFSST y las NOMs mencionadas) indican que se deben formar estas Comisiones en todos los centros del trabajo del territorio nacional.

Observación: Debido a que el centro de trabajo se ubica dentro de un hospital, no se cuenta con un área especial de atención médica para los trabajadores. Cuando se requiere de este servicio se envían al área de urgencias, pero se comentó que no siempre se disponen de todos los insumos. Se recomienda atender esta observación evitando su desabasto. El Artículo 49 del RFSST establece que se deben proporcionar los medicamentos, materiales de curación y equipo indispensables a los Servicios preventivos de medicina del trabajo de carácter interno para que brinden la atención médica y los primeros auxilios oportuna y eficazmente en el centro de trabajo, en caso de ser necesario.

- Respecto a los factores de riesgo ergonómico, se recomienda (con base en el artículo 42 del RFSST):

- ☞ Contar con un análisis de los factores de riesgo ergonómico de los puestos de trabajo expuestos a estos.
- ☞ Informar a los trabajadores sobre las posibles alteraciones a la salud por la exposición a los factores de riesgo ergonómico.
- ☞ Proporcionar orientación ergonómica y recomendaciones en las instalaciones, equipo, higiene postural, para la ejecución de las actividades de los trabajadores (guía de También se propone el desarrollo y aplicación de políticas que indiquen que no hay tolerancia para ninguna forma de violencia, acoso o abuso, incluido el bullying. La implementación de sesiones de sensibilización para todos los trabajadores sobre abuso y violencia en el lugar de trabajo, así como la difusión de procedimientos de denuncia y controles.

Capítulo III: Reglamento General de Seguridad Radiológica

Observación: No se dispone de un detector de contaminación superficial. El cumplimiento del artículo 48 del RGSR es parcial porque a pesar de que no se cuenta con este detector se realizan frotis (los cuales son útiles para detectar la presencia de radiactividad en muestras específicas) para verificar contaminación usando la gammacámara, este procedimiento está autorizado por la CNSNS; pero para obtener una medida precisa de la cantidad de radiación presente en una superficie o en el ambiente circundante y realizar una evaluación más rigurosa es mejor contar con un detector.

- ☞ Se recomienda gestionar la adquisición de un detector de contaminación superficial (puede ser tipo pancake), con este será más sencillo asegurar el cumplimiento de los límites de contaminación establecidos en la normatividad.

Observación: En el acceso principal del servicio y en la puerta del cuarto caliente están colocados letreros de señalización que indican la presencia de radiaciones ionizantes. Sin embargo, los del acceso principal se encuentran deteriorados y ya no cumplen con los colores estipulados en la NOM-026-STPS-2008 (fig. 17).

- ☞ Se recomienda evaluar el estado de todos los letreros de señalización del servicio y verificar que cumplan con los colores de seguridad y diseño establecidos en la NOM-

026-STPS-2008. Además, tomar en consideración lo requisitado en los artículos 95, 115, 116 y 118 del RGSR.

- ☞ Colocar en lugares visibles letreros que indiquen los tiempos máximos de permanencia autorizados para el POE en zonas controladas, como lo solicita el artículo 116 del RGSR.

Observación: Aunque actualmente el personal no presta sus servicios en otras instalaciones (solo en el servicio evaluado) debe ser de su conocimiento que en caso de que esto ocurra, es necesario que informen al ESR de cada centro de trabajo que tienen otras fuentes de exposición para que cuenten con el historial dosimétrico completo.

Observación: Durante la ejecución de las actividades que suponen mayor riesgo de contaminación (recepción del material radiactivo y la revisión de la calibración de las dosis) el POE mantiene cerca un detector GM para la verificación de la no contaminación durante los procedimientos.

Además, se cuenta con detectores de área ubicados en puntos estratégicos para el monitoreo de los niveles de radiación. Al final de la jornada se realizan mediciones de los niveles de radiación en las diferentes salas del servicio (cuarto caliente, área de inyección, sala de espera, baño de pacientes, gammacámara). Sin embargo, no se cumple en su totalidad el artículo 87 del RGSR que estipula que **al término de la jornada de trabajo** se deben revisar los niveles de radiación y de contaminación en las superficies de trabajo, equipo y vestuario del personal, por lo que se recomienda:

- ☞ Medir los niveles de radiación en el vestuario del POE al término de la jornada para verificar que no exista contaminación.

Observación: Aunque se cuenta con un espacio para la descontaminación del personal, componentes, herramientas y equipos, el cumplimiento del artículo 120 del RGSR es parcial, no hay vestidores en la entrada/salida de las zonas donde existe riesgo de contaminación radiactiva, pero solicitar su instalación implicaría hacer adecuaciones a las instalaciones del servicio. Se sugiere reforzar el uso adecuado de la bata (pues no todo el personal la porta de manera apropiada), es decir abotonándola y procurando que tenga puños en las mangas (como lo indica el numeral 4.6.3 de la NOM-008-NUCL-2020).

Capítulo IV: Condiciones de seguridad y salud en los centros de trabajo donde se manejan fuentes de radiación ionizante

Observación: En el plan de atención a emergencias radiológicas solo se indica que en caso de que exista personal afectado, se le dará atención primordial. Se recomienda:

- ☞ Estipular en el plan de emergencias los primeros auxilios que se deben brindar a los trabajadores y que su canalización a la asistencia médica debe ser inmediata, en caso de emergencia radiológica, como lo solicita la NOM-012-STPS-2012 en su numeral 8.3 c).

Observación: una sección del piso del área de aplicación de material radiactivo a pacientes tiene fisuras (fig. 12). De acuerdo con el numeral 9.2.2 de la NOM-012-STPS-2012, se deben conservar las superficies exentas de poros y fisuras para permitir una fácil reducción o eliminación de la contaminación radiactiva.

- ☞ Se debe sellar la fisura de esta área y considerar la recomendación hecha sobre el capítulo I, que propone crear un programa de mantenimiento a las instalaciones.

Observación: No se tiene un espacio destinado al almacenamiento del equipo de protección personal (batas, guantes y lentes plomados).

- ☞ Se recomienda destinar un espacio específico para el guardar el EPP y señalarlo debidamente (como lo solicita el numeral 9.2.3 de la NOM-012-STPS-2012 y la NOM-026-STPS-2008).

Observación: El numeral 5.19 de la NOM-012-STPS-2012 indica que el patrón debe proporcionar el equipo de protección personal al POE, conforme lo indican las normas técnicas correspondientes. El POE y el ESR deben señalar si este lineamiento se cumple, o no. Sin embargo, durante la evaluación un trabajador mencionó que en ocasiones han comprado los guantes por su cuenta. Además, se observó que el personal técnico usa batas que no cumplen con lo solicitado en el numeral 4.6.3 de NOM-008-NUCL-2020.

- ☞ Se debe proporcionar al personal técnico guantes y batas con puños, o que se puedan asegurar a la muñeca de la mano, para evitar la penetración de contaminación radiactiva a la piel en caso de incidente radiológico.

Capítulo V: Requisitos de seguridad radiológica para la práctica de la medicina nuclear

Observación: los letreros de la zona controlada cumplen parcialmente con lo que solicitan los numerales 5.2.8.2 – 5.2.8.4 de la NOM-040-NUCL-2016. Solo dicen “PELIGRO- ZONA CONTROLADA”. Las leyendas de los letreros deben cumplir con lo indicado en la NOM-040-NUCL-2016, en sus numerales 5.2.8.3 y 5.2.8.4. Los letreros de la sala de pacientes a quienes se les ha administrado material radiactivo no indican que es de uso exclusivo para estos pacientes. Además, los letreros existentes que advierten la presencia de radiación ionizante tienen el color desgastado y ya no cumplen con lo indicado en la NOM-026-STPS-2008 (apéndice E).

Se recomienda, cambiar la señalización tomando en cuenta las observaciones mencionadas y los requerimientos de la NOM-040-NUCL-2016:

- ☞ El mensaje de la leyenda de la zona controlada debe indicar:
 - "PELIGRO - ZONA CONTROLADA - MATERIAL RADIATIVO-PROHIBIDO EL PASO A TODA PERSONA NO AUTORIZADA".
- ☞ La leyenda de la sala de espera de pacientes a quienes se les ha administrado material radiactivo debe decir:
 - "ZONA CONTROLADA - PARA USO EXCLUSIVO DE PACIENTES A QUIENES SE LES HA ADMINISTRADO MATERIAL RADIATIVO".
- ☞ El color de seguridad de la señal de seguridad para advertir la presencia de radiaciones ionizantes debe ser amarillo.

Observación: La sala para la espera de los pacientes no dispone de mamparas de protección entre los lugares asignados a cada paciente, como lo solicita el numeral 5.3.5.1 de la NOM-040-NUCL-2016. Sin embargo, el ESR comentó que es conveniente que los pacientes se puedan desplazar por la sala debido a que el movimiento favorece la biodistribución del radiofármaco; aunque esto ofrece un beneficio para el paciente, la colocación de mamparas también ayuda a minimizar la exposición a radiación en el personal y pacientes.

☞ Se recomienda considerar implementar el requerimiento 5.3.5.1 de la NOM-040-NUCL-2016, tomando en cuenta la obtención del mayor beneficio para pacientes y personal, pero minimizando la exposición.

Además, se observó que dentro de una zona controlada había un contenedor de tela (fig. 19). Se recomienda que en estas áreas no se coloquen mobiliarios con materiales absorbentes en atención a lo solicitado en el numeral 5.2.7 de la NOM-040-NUCL-2016.

Figura 19



Nota. Dentro del cuarto caliente hay un contenedor de tela.

Fuente: Recorrido de observación del servicio de medicina nuclear, agosto, 2022.

Conclusiones generales

El trabajo es una actividad humana que promueve el desarrollo de las potencialidades del hombre; le permite usar sus habilidades intelectuales, crear, producir y reproducirse (Martínez, 1997). Al mismo tiempo, influye sobre casi todos los aspectos de la vida y la conducta humana, a través de esta actividad las personas encuentran un medio para subsistir y cubrir sus necesidades básicas.

La actividad laboral al interior de un hospital difiere de otros lugares de trabajo en los que se tiene por objetivo la producción de determinados bienes o productos; es una actividad que provee un servicio relacionado con el cuidado y la salud a terceros. Su proceso de trabajo está dirigido a la atención de pacientes, mismos que representan el objeto de trabajo, aunque en sentido estricto no son objetos, sino humanos.

El trabajo, o tareas propias del servicio de medicina nuclear, incluyen el desempeño de dos tipos de actividades: mentales y físicas. Las primeras se relacionan con los factores que requieren de la psique humana y procesos cognitivos. Por su parte, las labores físicas están ligadas a las acciones que requieren la participación activa del trabajador con los pacientes, por ejemplo: proporcionarles el radiofármaco, prepararlos para estudios, asistirlo en la toma del estudio, etc.

La exposición ocupacional a radiaciones ionizantes se produce por diversas actividades humanas, sus aplicaciones médicas (para diagnóstico y tratamiento) constituyen la principal fuente de dicha exposición. Es de gran importancia verificar que su empleo sigue los lineamientos de seguridad para garantizar que no se haga un uso inadecuado y que las dosis recibidas por el personal se minimicen y no excedan los límites establecidos, de manera que no generen daños en su salud, es de resaltar que hasta la fecha no hay reportes de que algún miembro del POE haya excedido los límites de dosis.

Es primordial el reconocimiento de las condiciones de trabajo que pueden constituir los riesgos y exigencias de los entornos de trabajo para controlarlos o mitigarlos. Se identificó como riesgo predominante para el personal de medicina nuclear del hospital evaluado la exposición a radiaciones ionizantes, debido a la naturaleza de los medios de trabajo. Estas radiaciones, aportan beneficios a la atención de pacientes debido a sus aplicaciones diagnósticas y terapéuticas. Sin embargo, gracias a que su práctica está regulada a nivel legal y se cumplen una serie de requerimientos que garanticen la seguridad radiológica, no se considera que trabajar en este

servicio de medicina nuclear conlleve altas probabilidades de sufrir efectos biológicos de la radiación.

Las dosis de radiación que recibe el POE del servicio no superan los límites establecidos, son bajas y la exposición ocupacional también. Se tiene implementado un programa de vigilancia médica para el POE, se emplea una técnica de imagen de medicina nuclear convencional, se cuenta con un sistema de limitación de dosis y se proporcionan los reportes de dosimetría personal (incluyendo extremidades).

La evaluación al servicio de medicina nuclear se realizó con el modelo PROVERIFICA (que fue adecuado a una institución de salud pública), cuyo cuestionario de verificación está apegado a la normatividad nacional. Los resultados de la aplicación del cuestionario de verificación indicaron de manera global un porcentaje de eficacia del 93.3%, que corresponde a un nivel de eficacia bueno. Los capítulos relacionados con la aplicación de las medidas y disposiciones de seguridad radiológica obtuvieron los PE más altos (> 90 %); sin embargo, en los capítulos relacionados a la salud laboral el cumplimiento fue, en su mayoría, parcial.

Hay requisitos que se deben cumplir en todos los centros de trabajo mexicanos para garantizar condiciones de trabajo seguras y prevenir accidentes laborales. Por ejemplo, las comisiones de seguridad e higiene deben formarse y desempeñar sus funciones de manera adecuada en todos los centros de trabajo el territorio nacional. En el hospital hay una Comisión Central Mixta de Seguridad e Higiene que tiene la responsabilidad de vigilar el cumplimiento de las disposiciones que se encuentren vigentes en materia de seguridad e higiene en el trabajo.

El resto de los instrumentos del PROVERIFICA hicieron posible que se visibilizaran aspectos que son independientes a las radiaciones ionizantes, pero que pueden tener efectos en la salud de los trabajadores. Por ejemplo, la posibilidad de desarrollar trastornos musculoesqueléticos (debido a que están largos períodos de tiempo sentados) o, infecciones virales.

La reconstrucción del proceso de trabajo de medicina nuclear identificó que las fases de este proceso en las que la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes es mayor (contribuyen principalmente a la dosis efectiva del POE) son la recepción del material radiactivo, su aplicación y la exploración del paciente. Sin embargo, no se considera que representen un riesgo para su salud.

También destacó que el personal técnico puede decidir sobre algunos aspectos de su trabajo, se organizan de manera que se puedan alternar entre ellos para realizar sus tareas, en especial aquellas que requieren mayor interacción con los pacientes. No se considera que la carga de trabajo sea excesiva o elevada. Esto además de generar un efecto positivo para su satisfacción laboral, repercute en su salud pues hace posible que se eviten exposiciones diarias innecesarias.

Es importante señalar que, dada la relevancia de la protección y la seguridad radiológica en el ámbito laboral, actualmente ya se dispone de recursos enfocados a realizar evaluaciones o auditorías que ayudan a mejorar las prácticas de la medicina nuclear, como el QUANUM (Auditorías de Gestión de Calidad en Medicina Nuclear, QUANUM, por sus siglas en inglés), una herramienta de aplicabilidad internacional desarrollada por la IAEA.

A nivel nacional, la CNSNS puso a disposición SEVRRA con la intención de hacer más sencillo el análisis de riesgo de los servicios de radioterapia (aunque en 2021 se realizó una adaptación para poder aplicarla a servicios de medicina nuclear), para identificar fortalezas y áreas de mejora, facilitando la implementación de medidas de seguridad, cuando así se requiera, procurando la prevención y reducción de la ocurrencia de eventos adversos (CNSNS, 2021).

Sin embargo, para los propósitos de esta evaluación que contemplaba también a la salud laboral, los instrumentos del PROVERIFICA, permitieron hacer una identificación de las condiciones de trabajo presentes en el servicio de medicina nuclear que no se restringen exclusivamente al riesgo físico que entrañan el uso de fuentes abiertas de radiación ionizante.

La estructura de su cuestionario facilita la identificación de incumplimientos totales o parciales de la normatividad nacional, así como la formulación de recomendaciones para corregir o mejorar los aspectos que así lo requieran. Además, los DCST, ponen de manifiesto al trabajador, su papel en el proceso de trabajo y sus necesidades de acuerdo a su puesto y las diferentes actividades que desarrolla.

Referencias bibliográficas

Abbas, D., Gabal, M. S., Ez-Elarab, H. S., El Khazragy, N. N., & Manzour, A. F. (2021). Health Risks of Low Dose Of Ionizing Radiation Among Health Care Providers at ain Shams University Hospitals. *QJM: An International Journal of Medicine*. 114. DOI: 10.1093/qjmed/hcab118.001.

Ae, A., Ea, K., Eo, K., y Fam, E. D. (2017). Chromosomal aberrations and hematological alterations among radiation-exposed health care workers in Mansoura University hospitals, Egypt. *Egyptian Journal of Occupational Medicine*, 41(3), 325-342.

Alvear y J. Villegas. (1989). *En defensa de la salud en el trabajo*. México: SITUAM. 35, 77-90.

Amador Balbona, Z., Torres Aroche, L. y Torres Valle, A. (2021). Análisis probabilístico de los riesgos radiológicos en la instalación híbrida SPECT/PET/CT de Cuba. *Nucleus*, (68). <http://nucleus.cubaenergia.cu/index.php/nucleus/article/view/712>

Amador Balbona, Z., Torres Valle, A. y Arias Fresneda, M. (2020). Acoplamiento de métodos prospectivos y reactivos para análisis de riesgo en medicina con radiaciones ionizantes. *Nucleus*, (67), 33-38. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2020000100033&lng=es&tlng=es

Archivo General de la Nación [AGN]. (2021). *La medicina nuclear, algunos datos relevantes a través de los documentos del #AGNMex*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agn/es/articulos/la-medicina-nuclear-algunos-datos-relevantes-a-traves-de-los-documentos-del-agnmex>

Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency [ARPANSA]. (s/f). *Health effects of ionising radiation*. ARPANSA. <https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/ionising-radiation/health-effects#:~:text=Acute%20health%20effects%2C%20such%20as,the%20damage%20increases%20with%20dose>.

Ballesteros-Zebadúa, P., Chavarria, A., Angel Celis, M., Paz, C. & Franco-Perez, J. (2012). Radiation-induced neuroinflammation and radiation somnolence syndrome. *CNS & Neurological Disorders-Drug Targets*. 11(7), 937-949.

Betancourt, O. (1995). *La salud y el trabajo: reflexiones teórico-metodológicas monitoreo epidemiológico atención básica en salud*. Centro de Estudios y Asesoría en Salud (CEAS).

Betancourt, O. (1999). *Texto para la enseñanza e investigación de la salud y seguridad en el trabajo*. OPS/OMS-FUNSA.

Boice, J., Dauer, L., Kase, K. y Mettler, R. (2020). Evolución de la protección radiológica para trabajadores médicos. *BJR El Diario Británico de Radiología*. 93 (1112). <https://doi.org/10.1259/bjr.20200282>

Bolus, N. E. (2008). Review of common occupational hazards and safety concerns for nuclear medicine technologists. *Journal of nuclear medicine technology*, 36(1), 11-17.

Busch, U. (2016). Wilhelm Conrad Roentgen. El descubrimiento de los rayos X y la creación de una nueva profesión médica. *Revista Argentina de Radiología*. 80 (4), 298-307. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rard.2016.08.003>

Cámac, L. (2016). *Seguridad y protección radiológica en medicina nuclear*. [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Cybertesis. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/7167?show=full>

Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. *Ley Federal de Trabajo*. (2021, 23 de abril). Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFT.pdf>

Castro Ulloa, J., Moya Ugalde, R., Díaz Madriz, J. P. y Zavaleta Monestel, E. (2018). Revisión de los principios básicos de medicina nuclear y radiofarmacia. *Rev Colegio de Microb Quim Clin de Costa Rica*, 24(3), 162-76. <https://revista.microbiologos.cr/wpcontent/uploads/2018/12/Art%C3%ADculo-4.pdf>

Centros para el control y la prevención de enfermedades [CDC]. (2015, enero 21). *Datos Breves de NIOSH: Cómo prevenir las lesiones por pinchazos de aguja y objetos cortopunzantes*. CDC. https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2012-123_sp/default.html

Che Huei, L., Ya-Wen, L., Chiu Ming, Y., Li Chen, H., Jong Yi y W. & Ming Hung, L. (2020). Occupational health and safety hazards faced by healthcare professionals in Taiwan: A systematic review of risk factors and control strategies. *SAGE Open Medicine*. 8 <https://doi.org/10.1177/2050312120918999>

Coelho De Melo, J. A., Lima Gelbcke, F., Amadagi, F. R., Huhn, A. & Da Silva, C. (2020). Cargas de trabalho e desgastes dos trabalhadores de enfermagem em serviços de medicina nuclear do Brasil. *Ciencia Y Enfermería*, 26. <https://doi.org/10.29393/CE26-27CTJA50027>

Comisión Internacional de Protección Radiológica [ICRP] (Ed.). (2007). *Traducción oficial al español de la Publicación ICRP n° 103*. Sociedad Española de Protección Radiológica. http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf

Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias [CNSNS]. (2023, 26 de abril). *Reporte sobre el Desempeño Anual 2022, de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias*. https://www.cnsns.gob.mx/transparencia/archivos/informe_desempeno_anual_2022.pdf

Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias [CNSNS]. (06 de diciembre de 2016). *Entra en vigor la Norma Oficial Mexicana NOM-040-NUCL-2016*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cnsns/es/articulos/entra-en-vigor-la-norma-oficial-mexicana-nom-040-nucl-2016?idiom=es>

Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias [CNSNS]. (2021, febrero 8). *Nuevos Modelos de Análisis de Riesgo para IMRT y NMD*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cnsns/articulos/nuevos-modelos-de-analisis-de-riesgo-para-imrt-y-nmd?idiom=es>

Consejo de Seguridad Nuclear [CSN]. (2012). *La protección radiológica en el medio sanitario*. CSN. <https://www.csn.es/documents/10182/914805/La+protecci%C3%B3n+radiol%C3%B3gica+en+el+medio+sanitario>

Cotonierto-Martínez, Ernesto. (2020). Evolución de la Seguridad Social en México y su relación con el contexto socioeconómico nacional (1900-2020). *Journal of Negative and No Positive Results*. 5(7), 740-762. <https://dx.doi.org/10.19230/jonnpr.3511>

DataMéxico. (2021). *Médicos, enfermeras y otros especialistas en salud*. Gobierno de México. <https://datamexico.org/es/profile/occupation/medicos-enfermeras-y-otros-especialistas-en-salud>

de Paula, V. M., de Sá, L. V., Pinheiro, M. A., Lima, G. I., de Andrade, E. R., Magalhães, L. A. G., & Loureiro, M. C. (2018). Adaptation of the QUANUM platform for internal audits in nuclear medicine in Brazil. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, 6(2), 1-9. <https://www.bjrs.org.br/revista/index.php/REVISTA/article/view/460/292>

EIZO. (s.f.). *Why Ambient Light is Important in the Reading Room*. Consultado el 15 de enero de 2022.

Fassler, C. (1978). Salud y trabajo. *Salud Problema*, (2), 3-7.

Fernández, A. y Vázquez, J. (2021). Riesgos laborales del técnico en cuidados auxiliares de enfermería y técnico superior en imagen para el diagnóstico y medicina nuclear. *Ocronos*. 4(12) 370-373. <https://revistamedica.com/principales-riesgos-laborales-tecnicos/>

Flores, R. y Rodríguez, C. (1979). ¿Medicina o salud en el trabajo? *Salud problema*, (5), 4-8.

Franco, J. (2000). Estrategias para garantizar la salud y el bienestar de los trabajadores y la productividad de las empresas. *Seminario Salud Ocupacional Frente a los Procesos de Globalización en América Latina*. Centro Interamericano de Estudios de Seguridad Social (CIESS).

Franco, J. G. (2003). Un modelo holístico para la evaluación integral de las empresas. *Salud de los Trabajadores*, 11(2), 115-130.

Franco, J. G. (2017). El modelo PROVERIFICA para evaluar la salud laboral en las empresas. En D. Cobos (Ed.), *Riesgos psicosociales, trabajo docente y salud*. (140-147). Editorial Octaedro.

Fundora Sarraff, T. A., Fernández Delgado, N. D., Hernández Reyes, L. H., Macía Pérez, I., & Medina León, M. D. C. (2014). Ética y protección radiológica en la medicina nuclear en hematología. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 30(4), 319-331.

García-Hernández, D., López-Rendón, X., Hernández-Bojórquez, M., Herrera-González, J. A., Soberanis-Domínguez, O. E., González-Azcorra, S. A. & Cruz-Bastida, J. P. (2020). Present status of Medical Physics practice in Mexico: An occupational analysis. *Physica Medica: PM: An International Journal Devoted to the Applications of Physics to Medicine and Biology: Official Journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)*, 76, 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.06.008>

Gisone, D. P., & Pérez, D. D. R. (2001). Efectos Biológicos De La Radiación. *Exposición Prenatal a Las Radiaciones Ionizantes*, 1-23. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/052/33052454.pdf

Gomar, J. (2018). *Estudio y análisis de los riesgos higiénicos por radiaciones ionizantes en medicina nuclear*. [Tesis de maestría, Universidad Pública de Navarra]. Académica-e. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/30868>

Gómez, H. A. G., y Melo, J. E. P. (2013). Radiaciones ionizantes, efectos biológicos y realidad legislativa colombiana del personal ocupacionalmente expuesto. *Salud Areandina*, 2(1), 92-104.

González, A. (mayo, 2004). *The Sievert Lecture* [presentación de artículo]. 11th IRPA International Congress, Madrid, España. <https://irpa.net/members/2004%20Sv%20Lecture%20Gonzalez.pdf>.

Gordis, L. (2015). *Epidemiología* (5ta ed). (pp. 189-215). Elsevier.

Goset, K. (2015). Radioterapia y daño colateral. *Contacto Científico*, 3(4). <http://contactocientifico.alemana.cl/ojs/index.php/cc/article/view/126>

Güerci, A. M., & Córdoba, E. E. (2015). Nuevo enfoque de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista argentina de radiología*, 79(4), 224-225.

Healy, G. N., & Owen, N. (2010). Conducta sedentaria y biomarcadores del riesgo cardiometabólico en adolescentes: un problema científico y de salud pública emergente. *Revista española de cardiología*, 63(3), 261-264.

Heinze, G., Canchola, V. H. O., Miranda, G. B., Fuentes, N. A. B., & Sánchez, D. P. G. (2018). Los médicos especialistas en México. *Gaceta médica de México*, 154(3), 342-351.

Hernández Piñero, A. J. y Pernaletе Ruiz, M. E. (2017). Leucemia ocupacional: importancia de la prevención. *Comunidad y Salud*, 15(1), 86-90.

Hernández-Avila, M., Garrido-Latorre, F., & López-Moreno, S. (2000). Diseño de estudios epidemiológicos. *Salud pública de México*, 42, 144-154.

https://www.eizoglobal.com/library/healthcare/why_ambient_light_is_important_in_the_reading_room/#:~:text=In%20general%20it%20is%20recommended,American%20College%20of%20Radiology%20guidelines.

IAEA (2022). *Protección radiológica ocupacional - Normas de seguridad del OIEA para la protección de las personas y el medio ambiente (Guía de Seguridad General N° GSG-7)*. OIEA y OIT. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1785S_web.pdf

IAEA. (2014). Medicina radiológica y tecnología de las radiaciones: diagnósticos y tratamientos. *Boletín del OIEA*, 55 (4),27.

IAEA. (2016). *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad - Normas de seguridad del OIEA para la protección de las personas y el medio ambiente (Requisitos de Seguridad Generales, N° GSR Parte 3)*. IAEA. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1578_S_web.pdf

IAEA. (2021). *Assessment of Prospective Cancer Risks from Occupational Exposure to Ionizing Radiation*. IAEA-TECDOC-1985. <https://www.iaea.org/publications/14916/assessment-of-prospective-cancer-risks-from-occupational-exposure-to-ionizing-radiation>

ICRP. (1990). *Publication 60 - 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Pergamon Press. journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_21_1-3

ICRP. (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of ICRP* 37 (4). https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_2-4

ICRP. (2012). ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs - threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Annals of the ICRP*, 41(1-2). <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1016/j.icrp.2012.02.001> .

INEGI. (2020). *Estadísticas de salud en establecimientos particulares, 2020*. (Nota técnica). https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/salud/doc/salud_2020_nota_tecnica.pdf

INPI, & Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. (2020, mayo 25). *Más información. Apoyo para el acceso a la Atención Médica de Tercer Nivel*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inpi/acciones-y-programas/mas-informacion-apoyo-para-el-acceso-a-la-atencion-medica-de-tercer-nivel>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT] (Ed.). (2003). *Trabajo en posición sentado*. ERGA FP. <https://www.insst.es/documents/94886/160226/N%C3%BAmero%2035.%20TRABAJO%20EN%20POSICI%C3%93N%20SENTADO.pdf>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT]. (2015). *Posturas de trabajo evaluación del riesgo*. INSST. <https://www.insst.es/documents/94886/96076/Posturas+de+trabajo.pdf/3ff0eb49-d59e-4210-92f8-31ef1b017e66>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (s.f). *Riesgos ergonómicos en el trabajo*. Recuperado el 10 de enero de 2022, de: <https://www.insst.es/materias/riesgos/riesgos-ergonomicos>

Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud [ISTAS]. (2018). *Salud laboral*. <http://www.istas.net/web/index.asp?idpagina=1233>

International Atomic Energy Agency [IAEA]. (2006). Nuclear Medicine Resources Manual. https://wwwpub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1198_web.pdf.

Jeggo, P., & Lavin, M. F. (2009). Cellular radiosensitivity: How much better do we understand it? *International Journal of Radiation Biology*, 85(12), 1061–1081. <https://doi.org/10.3109/09553000903261263>

Khan F.M., (2014), *The Physics of Radiation Therapy* (5ta Ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Laurell, A. (1981). La salud enfermedad como proceso social. *Revista Latinoamericana de Salud*, 2(1), 7-25.

Levaggi, V. (2004, 09 de agosto). *¿Qué es el trabajo decente?* OIT. https://www.ilo.org/americas/sala-de-prensa/WCMS_LIM_653_SP/lang--es/index.htm

Martínez, A., Coleman, M., Romero-Talamás, C. A., & Frías, S. (2010). An assessment of immediate DNA damage to occupationally exposed workers to low dose ionizing radiation by using the comet assay. *Rev Invest Clin*, 62(1), 23-30.

Martínez, S. (1997). El estudio de la integridad mental en su relación con el proceso de trabajo. México, UAM-X, *Serie Académicos CBS*, 23, 143-186.

Martínez, S. (2009). Proceso de trabajo. En S. Martínez, *El estudio de la integridad mental en su relación con el proceso de trabajo*, 23, *Serie Académicos CBS* (pp. 143-186). México: UAM Xochimilco. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Atención a la Salud.

Marx, C. (1975). *El Capital, Tomo I, Cap. VI*. Fondo de Cultura Económica.

Mattié, M. (1999). El proceso de trabajo: condiciones y medio ambiente en el sector informal urbano en el área metropolitana de Mérida. *Revista de Economía* (9), 36. http://iies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista_09/Pdf/Rev09Mattie.pdf

McEntee, M., Brennan, P., Evanoff, M., Phillips, P., Connor, W. T., & Manning, D. (2006). Optimum ambient lighting conditions for the viewing of softcopy radiological images. *Medical imaging: Image perception, observer performance, and technology assessment*. 61(46), 260-268. <https://doi.org/10.1117/12.660137>

Mendoza, L., & Valero, R. (2016). Historia de la medicina nuclear. *Evidencia Médica e investigaciones en salud*, 9(2), 103–106. https://www.revistaremis.com/files/remis_2016_9_2_103-106.pdf

Millar, R., Klaassen, K., & Eijkelhof, H. (1990). Teaching about radioactivity and ionising radiation: an alternative approach. *Physics Education*, 25(6), 338. DOI: 10.1088/0031-9120/25/6/310

Ministerio de salud del gobierno de Alberta, Canadá. (Ed.). (2011). *Handbook of occupational hazards and controls for personnel in diagnostic imaging and Nuclear medicine*. <https://open.alberta.ca/dataset/21700f6d-8e42-4e71-a764-69ac10a0ffdb/resource/22bf6448-8e69-4a7e-830c-89fafe5c8863/download/ohs-wsa-handbook-diagnostic-imaging.pdf>

Molina Arias, M., & Ochoa Sangrador, C. (2013). Estudios observacionales (I). Estudios transversales. Medidas de frecuencia. Técnicas de muestreo. *Evidencias en pediatría*. 9(4), 72 <https://evidenciasenpediatria.es/files/41-12105-RUTA/72Fundamentos.pdf>

Morales Barrera, G. (2020). *Evaluación de los niveles de exposición a la radiación Ionizante según los Procedimientos desarrollados en el Personal del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Regional Lambayeque, 2018*. [Tesis de licenciatura, Universidad Particular de Chiclayo]. Repositorio Institucional de la Universidad de Chiclayo. http://repositorio.udch.edu.pe/bitstream/UDCH/925/1/T044_40433764.pdf

Moreno, B., & Báez, C. (2010). Factores y riesgos psicosociales, formas, consecuencias, medidas y buenas prácticas. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene/Universidad Autónoma de Madrid*, 1–188.

Nagayama, K., Kurita, H., Nakamura, M., Kusuda, J., Tonari, A., Takayama, M. & Shiokawa, Y. (2005). Radiation-induced apoptosis of oligodendrocytes in the adult rat optic chiasm. *Neurological research*, 27(4), 346-350. <https://doi.org/10.1179/016164105X48833>

Neffa, J. (1990). *El proceso de trabajo y la economía de tiempo*. Centre de Recherche et Documentation sur L'Amérique Latine, Humanitas.

Noriega, M. (1989). El trabajo, sus riesgos y la salud. En M. Noriega, *En defensa de la salud en el trabajo* (pp. 5-9). SITUAM.

Noriega, M. (1993). Organización laboral, exigencias y enfermedad. *Para la investigación sobre la salud de los trabajadores*, 166-180

Noriega, M. (2005). Antecedentes. En M. Noriega, G. Franco, S. Martínez, J. Villegas, G. Alvear y J. López. *Evaluación y Seguimiento de la Salud de los Trabajadores*, 34, Serie Académicos CBS (pp. 20-29). UAM Xochimilco. División de Ciencias Biológicas y de la Salud.

Noriega, M., Velasco, R., Pérez, M. y Franco, G. (2011). La violación de los derechos laborales y de salud a los trabajadores en México. En M. Chapela y M. E. Contreras, *La salud en México, Pensar el futuro de México, Colección Conmemorativa de las Revoluciones Centenarias* (pp. 277-302). Universidad Autónoma Metropolitana. División de Ciencias Sociales y Humanidades.

Novillo, C. (2016). *Diseño de un Sistema Integrado de Gestión de Calidad, Ambiente y Seguridad para la Unidad de Medicina Nuclear del Hospital Dr. Teodoro Maldonado Carbo Guayaquil*. [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba]. DSpace ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5019/1/20T00739.pdf>

OIT. (1985). *Convenio 161. Servicios de Salud en el Trabajo*. NORMLEX. https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C161

OIT. (2010). ILO list of occupational diseases and health care workers. *Asian-Pacific Newsletter on occupational health and safety*, 17(2), 34-38.

OMS y OIT. (2021, 17 de septiembre). *Casi 2 millones de personas mueren cada año por causas relacionadas con el trabajo*. OMS. <https://www.who.int/es/news/item/16-09-2021-who-ilo-almost-2-million-people-die-from-work-related-causes-each-year>

Organismo Internacional de Energía Atómica [OIEA], Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], Organización Internacional del Trabajo [OIT], Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE [AEN], Organización Panamericana de la Salud [OPS], Organización Mundial de la Salud [OMS] (Ed.). (1997). *Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación: Colección Seguridad (115)*. OIEA. ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_154389.pdf

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2009). *Auditorías de gestión de la calidad en prácticas de medicina nuclear*. OIEA. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1371s/Pub1371s_web.pdf

Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (1960). *Recomendación número 114 sobre: la protección contra las radiaciones*, NORMLEX. https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312452#:~:text=Recomendaci%C3%B3n%20sobre%20la%20protecci%C3%B3n%20de,los%20trabajadores%20contra%20las%20radiaciones%20ionizantes

Organización Internacional del trabajo [OIT]. (1960). *R114 - Recomendación sobre la protección contra las radiaciones.* OIT. https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:R114

Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2004). *¿Qué es el trabajo decente?* OIT. https://www.ilo.org/americas/sala-de-prensa/WCMS_LIM_653_SP/lang--es/index.htm

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2004). *Prevención de trastornos musculoesqueléticos en el lugar de trabajo.* Francia. https://www.who.int/occupational_health/publications/en/pwh5sp.pdf

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2016, 27 de julio). *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección.* OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>.

Ortega, M. (2013). *Estudio de salud laboral en un servicio de medicina nuclear, Distrito Federal, 2012.* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana -Xochimilco], XOOK. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/2178>

Ortiz-Oliveros, H., & Torres-Carranza, M. (2019). *Desechos radiactivos de vida media corta en hospitales públicos en México: estado actual.* *CIENCIA Ergo-Sum*, 26(2). doi:10.30878/ces.v26n2a8. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/9848>

Padilla, A. (2018, 26 de julio). *México debe usar la medicina nuclear para el sector salud.* Universidad Autónoma de Guadalajara. <https://www.uag.mx/es/mediaHub/mexico-debe-usar-la-medicina-nuclear-para-el-sector-salud/2018-07#:~:text=M%C3%A9xico%20debe%20usar%20la%20medicina%20nuclear%20para%20el%20sector%20salud>.

Parada, N. B., Revelo, B. E. Q., Guerra, Y. M. C., Castillo, L. S., Segura, X. C., & Duarte, F. N. (2022). *Aplicación de la metodología de matrices de riesgo para un centro de medicina nuclear de alta complejidad basada en el seguimiento y análisis de incidentes radiológicos y desviaciones.* *Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, (6), 21-32.

Pérez Campos, J. & Larrea y Richerand, E. (2014). *Crónica de la medicina nuclear en México*. ASH2 Imagen Global. <http://imagenglobal.org/wp-content/uploads/2015/11/Cronica-de-la-Medicina-Nuclear-en-Mexico-1.pdf>

Pulido, M., & Noriega, M. (2003). Condiciones objetivas y subjetivas de trabajo y trastornos psicofísicos. *Cadernos de Saúde Pública*, 19(1), 269-277.

Rodríguez, E., García, E., Molero, A., & Rangel, A. (2011). Integración del médico nuclear y del físico médico en los servicios de Medicina Nuclear. *Anales de Radiología, México* 10 (3), 146-152.

Rosas, Y. & Daza, J. A. (2018). Evaluación de seguridad radiológica para el transporte terrestre de fuentes categoría 1 (60Co) en virtud de arreglo especial aplicando el método de matriz de riesgo. *Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, (2), 62-74.

Salles Sainz Grant Thornton. (2020, 01 de Octubre). *Panorama actual del sector salud en México*. Grant Thornton. <https://www.grantthornton.mx/globalassets/1.-member-firms/mexico/pdf/boletin-de-economia-octubre-20202.pdf>

Saravia-Rivera, G. E. (2013). Protección y seguridad radiológicas. *Anales de Radiología, México* 12 (2), 105-110. <https://www.medigraphic.com/pdfs/anaradmex/arm-2013/arm132g.pdf>

Secretaría de Energía. (1988, 22 de noviembre). *Reglamento General de Seguridad Radiológica*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4790220&fecha=22/11/1988#gsc.tab=0

Secretaría de Salud, Fundación Mexicana para la Salud, Instituto Nacional de Salud Pública, Fondo de Cultura Económica, Secretaría de Hacienda y Crédito Público y Comisión Mexicana sobre Macroeconomía y Salud (2006). *Macroeconomía y salud. Invertir en salud para el desarrollo económico*. Fondo de Cultura Económica

Secretaría del Trabajo y Previsión Social [STPS]. (2009, 22 de diciembre). **NOM-030-STPS-2009**, *Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo - Funciones y actividades*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/680161/NOM-030-STPS-2009.pdf> .

Shore, R. E. (2014). Radiation impacts on human health: certain, fuzzy, and unknown. *Health physics*, 106(2), 196-205.

Simbiotia. (2019). *Salud ocupacional: qué es y qué beneficios aporta a la empresa*. <https://www.simbiotia.com/salud-ocupacional/>

Soler, A., Domènech, C., Otero, N., Rosell, M., & Barbieri, M. (2015). Tema 1. Conceptos básicos. *Mineralogía Aplicada, Geoquímica I Geomicrobiología*. <http://www.ub.edu/minegeo/index.php/2-uncategorised/25-tema-1-conceptos-basicos>

Suzuki, K., & Yamashita, S. (2012). Low-dose radiation exposure and carcinogenesis. *Revista japonesa de oncología clínica*, 42(7), 563-568.

Tsai, C. J., Chang, K. W., Yang, B. H., Wu, P. H., Lin, K. H., Wong, C. Y. O., & Huang, W. S. (2022). Very-Low-Dose Radiation and Clinical Molecular Nuclear Medicine. *Life*, 12(6), 912-922. <https://doi.org/10.3390/life12060912>

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [UNSCEAR]. (2022, 06 de septiembre). *Sources, effects and risks of ionizing radiation, united nations scientific committee on the effects of atomic radiation*. (Reporte a la Asamblea General 2020/2021, con anexos científicos (anexo D)) IV. https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2020_21_Report_Vol.IV.pdf

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [UNSCEAR]. (2018). *UNSCEAR 2017 Report: sources, effects and risks of ionizing radiation*. <https://doi.org/10.18356/7e4f1c5a-en>

UNSCEAR (2021). *Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2021: Sixty-Seventh and Sixty Eighth sessions (02-06 november, 2020 and 21-25 june, 2021)*. (Reporte n°. 46). United Nations. https://www.unscear.org/docs/GAreports/2021/2021_GA_A-76-46_E.pdf

Villalobos, G., Zimbrón, A., Alicia, G., Altamirano, J., Pichardo, P., Rodríguez, L., & Ávila, E. (2015). 50 Años de Medicina Nuclear en México. *Familia médica*, 37, pp. 16–23.

Wakeford, R. (2009). Radiation in the workplace—a review of studies of the risks of occupational exposure to ionising radiation. *Journal of Radiological Protection*, 29(2A), A61.

Zemariame, N., Knight, N., & Siegel, E. L. (2011). Redesigning the nuclear medicine reading room. *Seminars in nuclear medicine*, 41(6), 463–471.
<https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2011.06.003>

x

ANEXOS

A continuación, se muestran las hojas de resultados para cada capítulo. En estas se condensan los resultados de la aplicación del cuestionario de verificación, cada apartado evalúa aspectos diferentes referentes al capítulo en cuestión.

En la tabla 11 se aprecia que, en la evaluación preliminar, el apartado que obtuvo el menor nivel de eficacia, y por lo tanto el mayor nivel de riesgo fue el apartado 1. Se hizo evidente que hacen falta reparaciones y mantenimiento preventivo en las instalaciones del servicio de medicina nuclear.

Hoja de resultados

Tabla 8. Capítulo I. Evaluación preliminar de la Empresa, según apartados
Servicio de medicina nuclear, México, 2022.

Apartado	Total Esperado	Total SÍ	% SÍ	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice Real	% de Eficacia	Nivel de Eficacia	Nivel de Riesgo
1. Edificios, locales, instalaciones y áreas del Servicio de Medicina Nuclear	6	3	50.00	3	50.00	0	0	12	9	75.00	Malo	Alto
2. Orden y limpieza	8	7	87.50	1	12.50	0	0	16	15	93.75	Muy bueno	Bajo
3. Sistemas contra incendio	7	6	85.71	1	14.29	0	0	14	13	92.86		
4. Instalaciones eléctricas	5	4	80.00	1	20.00	0	0	10	9	90.00	Bueno	Medio
5. Señales, avisos de seguridad y código de colores	7	5	71.43	2	28.57	0	0	14	12	85.71		
6. Medio ambiente laboral	7	5	71.43	2	28.57	0	0	14	12	85.71		
7. Equipo de protección personal (EPP)	9	6	66.67	3	33.33	0	0	18	15	83.33		
8. Servicios para los trabajadores	6	4	66.67	2	33.33	0	0	12	10	83.33	Bueno	Medio
Total	55	40	72.73	15	27.27	0	0	110	95	86.36	Bueno	

Fuente: Cuestionario de Verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

En la tabla 12 se muestra que el segundo capítulo del CV fue el que obtuvo el menor nivel de eficacia. Los temas relacionados con la salud en el trabajo no se abordan en su totalidad, se priorizan los riesgos físicos (debido al manejo de radiaciones ionizantes). Se requiere especialmente el apoyo y estrecha comunicación con la Comisión de seguridad e Higiene que debe estar constituida en todos los centros de trabajo mexicanos.

Hoja de resultados

Tabla 9. CAPÍTULO II. Intervención de los niveles directivos, según apartados

Servicio de medicina nuclear, México, 2022.

Apartados	Total Esperado	Total SÍ	% SÍ	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice Real	% de Eficacia	Nivel de Eficacia	Nivel de Riesgo
1. Programa de seguridad y salud en el trabajo	9	6	66.67	3	33.33	0	0.0	18	15	83.3	Bueno	Medio
2. Comisión de Seguridad e higiene y reuniones	11	3	27.27	8	72.73	0	0.0	22	14	63.6	Malo	Alto
3. Diagnóstico de seguridad y salud en el trabajo	4	3	75.00	1	25.00	0	0.0	8	7	87.5	Bueno	Medio
4. Inducción al hospital	9	7	77.78	1	11.11	1	11.1	18	15	83.3	Bueno	Medio
5. Responsable de seguridad y salud en el trabajo	9	7	77.78	2	22.22	0	0.0	18	16	88.9	Bueno	Medio
Total	42	26	61.90	15	35.71	1	2.4	84	67	79.8	Bueno	Medio

Fuente: Cuestionario de Verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

En la tabla 13, se muestra el cumplimiento del Reglamento de Seguridad Radiológica. Todos los apartados obtuvieron un porcentaje de eficacia superior al 91%. La práctica de la Medicina nuclear en este establecimiento se realiza con apego a las disposiciones vigentes. Se determinó que el nivel de riesgo en este servicio es bajo.

Tabla 10. CAPÍTULO III. Reglamento General de Seguridad Radiológica,
según apartados
Servicio de medicina nuclear, México, 2022.

Apartado	Total Esperado	Total SÍ	% SÍ	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice Real	% de Eficacia	Nivel de Eficacia	Nivel de Riesgo
1. Sistema de limitación de dosis	15	15	100	0	0	0	0	30	30	100	Muy bueno	Bajo
2. Fuentes de radiación ionizante	13	11	84.6153846	2	15.3846154	0	0	26	24	92.3076923		
3. Instalaciones radiactivas	24	21	87.5	2	8.3333333	1	4.1666667	48	44	91.6666667		
4. Equipos	12	10	83.3333333	2	16.6666667	0	0	24	22	91.6666667		
5. Permisionario, encargado de la seguridad radiológica y POE	60	58	96.6666667	0	0	2	3.3333333	120	116	96.6666667		
6. Accidentes radiológicos y medidas preventivas de seguridad	25	25	100	0	0	0	0	50	50	100		
Total	149	140	93.9597315	6	4.0268452	3	2.0134222	298	286	95.9731544		

Fuente: Cuestionario de Verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

En seguida, en la tabla 14 se presentan los resultados de la evaluación del capítulo IV, se muestra que todos los apartados referentes a las condiciones de seguridad e higiene obtuvieron un nivel de eficacia bueno o muy bueno, indicando una vez más que el cumplimiento de aspectos relativos a la seguridad radiológica es una de las fortalezas del servicio.

Tabla 11. CAPÍTULO IV. Condiciones de seguridad e higiene,
según apartados

Servicio de medicina nuclear, México, 2022.

Apartados	Total esperado	total SI	% SÍ	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice esperado	Índice real	% de eficacia	Nivel de eficacia	nivel de riesgo
1. Obligaciones del patrón	28	23	82.1	3	10.7	2	7.1	56	49	87.5	Bueno	medio
2. Obligaciones del POE	6	5	83.3	1	16.7	0	0.0	12	11	91.7	Muy bueno	
3. Reconocimiento y registro	11	9	81.8	2	18.2	0	0.0	22	20	90.9	Muy bueno	
4. Evaluación y control	13	11	84.6	2	15.4	0	0.0	26	24	92.3	Muy bueno	
5. Programa específico de seguridad e higiene	10	9	90.0	1	10.0	0	0.0	20	19	95.0	Muy bueno	bajo
Total	68	57	83.8	9	13.2	2	2.9	136	123	90.4	Muy bueno	bajo

Fuente: Cuestionario de Verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

En la tabla 15 se aprecia que el establecimiento evaluado tiene un porcentaje de eficacia del 90% en lo referente al cumplimiento de los requisitos de seguridad radiológica. Solo los apartados 1 y 2 tuvieron un nivel de eficacia bueno, mientras que los apartados 3 y 4 obtuvieron uno muy bueno. Son pocos los aspectos que faltan por cumplir satisfactoriamente, por ejemplo contar con equipos para la detección de contaminación superficial.

Tabla 12. Capítulo V. Requisitos de seguridad radiológica para la práctica de medicina nuclear (NOM-040-NUCL-2016),

Según apartados

Servicio de medicina nuclear, México, 2022.

Apartados	Total Esperado	Total SÍ	% SÍ	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice Real	% de Eficacia	Nivel de Eficacia	Nivel de Riesgo
1. Requisitos de la instalación	31	26	83.9	3	9.7	2	6.5	62	55	88.7	Bueno	Medio
2. Requisitos para los equipos para protección radiológica	8	7	87.5	0	0.0	1	12.5	16	14	87.5		
3. Del personal ocupacionalmente expuesto	4	4	100	0	0.0	0	0.0	8	8	100	Muy bueno	Bajo
4. Control del material radiactivo	2	2	100	0	0.0	0	0.0	4	4	100		
Total	45	39	86.7	3	6.7	3	6.7	90	81	90	Muy bueno	Bajo

Fuente: Cuestionario de Verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

En las tablas 16 y 17 se aprecia que el servicio evaluado cumple cabalmente con las disposiciones solicitadas en materia de vigilancia médica, así como de entrenamiento y capacitación del POE. Todos los apartados de ambos capítulos obtuvieron un porcentaje de eficacia del 100% y, por lo tanto, un nivel de riesgo bajo.

Tabla 13. Capítulo VI. Vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes (NOM-026-NUCL-2011 y NOM-012-STPS-2012),

según apartados

Servicio de medicina nuclear, México, 2022.

Apartados	Total Esperado	Total SÍ	% SÍ	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice Real	% de Eficacia	Nivel de Eficacia	Nivel de Riesgo
1. Requisitos generales	34	34	100	0	0	0	0	68	68	100	Muy bueno	Bajo
2. Requisitos relacionados con la aptitud	3	3	100	0	0	0	0	6	6	100		
Total	37	37	100	0	0	0	0	74	74	100		

Fuente: Cuestionario de Verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.

Tabla 14. Capítulo VII. Entrenamiento y capacitación del personal ocupacionalmente expuesto (NOM-031-NUCL-2011 y NOM-012-STPS-2012).

según apartados

Servicio de medicina nuclear, México, 2022.

	Apartados	Total Esperado	Total SÍ	% SÍ	Total PM	% PM	Total NO	% NO	Índice Esperado	Índice Real	% de Eficacia	Nivel de Eficacia	Nivel de Riesgo
NOM-031-NUCL-2011	1. Requisitos generales	2	2	100	0	0	0	0	4	4	100	Muy bueno	Bajo
	2. Entrenamiento inicial	4	4	100	0	0	0	0	8	8	100		
	3. Entrenamiento periódico	5	5	100	0	0	0	0	10	10	100		
	4. NOM-012-STPS-2012	20	20	100	0	0	0	0	40	40	100		
	Total	31	31	100	0	0	0	0	62	62	100		

Fuente: Cuestionario de Verificación, servicio de medicina nuclear, hospital de tercer nivel, agosto, 2022.