

Una mirada a la Radioprotección en los servicios de Medicina Nuclear.

Estudiante: Camila Luján Fernández.

Legajo: 38899

Director/es: Lic. Nahuel Gustavo Vergara

Trabajo Final de Integración para acceder al título de licenciado en producción de bioimágenes.

2026

Índice

Agradecimientos.....	1
1. Introducción.....	2
2. Justificación.....	3
3. Pregunta-problema.....	4
4. Objetivos.....	5
4.1. General.....	5
4.2. Específicos.....	5
5. Historia del Arte o Antecedentes.....	6
5.1 Antecedentes históricos de la medicina nuclear y la radiación.....	6
5.2 Antecedentes en medicina nuclear (desarrollo histórico y evolución).....	6
5.3 Antecedentes sobre radioisótopos (producción y uso).....	7
5.4 Antecedentes sobre radiofármacos (desarrollo, producción y seguridad).....	8
5.5 Antecedentes normativos en radioprotección.....	9
5.6 Antecedentes recientes en dosimetría y exposición ocupacional.....	9
6. Marco teórico.....	11
6.1. Radiación ionizante.....	11
6.2. Tipos de radiación ionizante.....	12
6.3. Capacidad de ionización.....	13
6.4. Desintegración o decaimiento radiactivo.....	14
6.6. Emisión de partículas o fotones.....	15
6.7. Vida media.....	16
6.8. Historia de la medicina nuclear.....	17
6.9. Fundamentos de la protección radiológica.....	19
6.10 Principios generales de la protección radiológica.....	21
6.11. Situaciones y tipos de exposición a la radiación.....	23
6.12. Protección radiológica en el ámbito médico.....	24
6.13. Marco normativo y organizacional de la protección radiológica.....	25
6.14. Aplicación de la protección radiológica en el ámbito hospitalario.....	26
6.15. Elementos básicos de protección: tiempo, distancia y blindaje.....	27
6.16. Radioprotección en medicina nuclear.....	28
6.17. Instalaciones de Medicina Nuclear.....	34
6.18. Radiofármacos.....	43
6.19. Análisis detallado de las etapas en las que el trabajador se encuentra expuesto a la radiación.....	44

6.20. Centellograma óseo total.....	47
6.21 Instrumentos de medición (cámara ambiental).	50
7. Estrategia metodológica.....	53
7.1. Lógica de la investigación.....	53
7.2. Tipo de investigación.....	53
7.3. Diseño.....	53
7.4. Dimensión temporal.....	53
7.5. Unidad de observación.....	54
7.6. Criterios de inclusión:	54
7.7. Criterios de exclusión:	54
8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	56
8.1. Entrevistas.....	57
9. Análisis e interpretación de los datos.....	59
9.1. Tiempo.....	65
9.2. Distancia.....	65
9.3. Blindaje	66
9.4. Entrevistas.....	69
10. Conclusión.....	76
11. Referencias.....	78
12. FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN.....	79

Agradecimientos.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, por su apoyo incondicional, su esfuerzo constante y por haberme acompañado en cada etapa de este camino, brindándome siempre la fuerza necesaria para seguir adelante.

Al equipo del área de Física Médica, por su colaboración, buena predisposición y por compartir sus conocimientos, lo cual fue de gran valor para la realización de este proyecto.

Finalmente, a mis compañeros de trabajo, por el apoyo brindado, el compañerismo y la motivación constante a lo largo de esta etapa.

1. Introducción.

La Medicina Nuclear es una especialidad médica que utiliza radiofármacos para el diagnóstico de diversas patologías. Esta práctica involucra el manejo de material radiactivo, lo que implica riesgos potenciales para el personal de salud expuesto y el público. Por esta razón, la radioprotección se vuelve un eje central en el funcionamiento de cualquier servicio de Medicina Nuclear.

Los principios fundamentales de la radioprotección: justificación, optimización y limitación de dosis guían las acciones destinadas a minimizar la exposición innecesaria a la radiación ionizante en el personal expuesto. Estos principios deben aplicarse rigurosamente en cada etapa del proceso, desde la preparación y administración de radiofármacos hasta la atención al paciente y el control ambiental.

2. Justificación.

Este trabajo surge del interés personal, profesional, debates entre colegas e ideas sobre la aplicación práctica de la radioprotección en el servicio de Medicina Nuclear, en el cual me desempeño laboralmente. La observación cotidiana de los procedimientos permite identificar no solo las fortalezas en el cumplimiento de las normas de seguridad radiológica, sino también los desafíos que enfrentan los profesionales en su Implementación. De esta manera, se busca concientizar a los de utilizar los elementos de protección frente a la radiación ionizante.

3. Pregunta-problema.

¿Cuál es la importancia de aplicar las medidas de protección del personal ocupacionalmente expuesto a la radiación, como el tiempo, la distancia y el blindaje, en el personal ocupacionalmente expuesto de los servicios de medicina nuclear durante estudios diagnósticos con el uso de ^{99}Tcm ?

4. Objetivos.

4.1. General.

Evaluar la importancia de la radioprotección, considerando tiempo, distancia y blindaje en los procedimientos diagnósticos en los servicios de medicina nuclear

4.2. Específicos.

- Analizar el tiempo de exposición a la radiación, en la dosis absorbida por el personal expuesto de los servicios de medicina nuclear
- Evaluar cómo el espesor del blindaje correcto disminuye la tasa de dosis del personal expuesto en los servicios de medicina nuclear.
- Describir cómo varía la tasa de dosis según la distancia en la que el personal expuesto se sitúa en los servicios de medicina nuclear.

5. Estado del Arte o Antecedentes.

5.1 Antecedentes históricos de la medicina nuclear y la radiación.

- **Descubrimiento de los rayos X (1895).**

Este hallazgo marcó el inicio del diagnóstico por imágenes con radiación y motivó el desarrollo de prácticas de protección debido a los primeros efectos nocivos observados.

APA: Röntgen, W. C. (1895). *On a new kind of rays*. Würzburg Physical-Medical Society.

- **Primeros efectos adversos y surgimiento de la radioprotección (1900–1930)**

Los daños cutáneos y biológicos derivados de exposiciones repetidas generaron preocupación y dieron lugar a las primeras recomendaciones de seguridad.

APA: National Research Council. (2019). *A history of radiation protection*. National Academies Press.

- **Creación de la International Commission on Radiological Protection (ICRP) (1928).**

Se establecen los primeros lineamientos formales de límites de dosis y principios de seguridad radiológica.

APA: ICRP. (1928). *History of the ICRP*. International Commission on Radiological Protection.

5.2 Antecedentes en medicina nuclear (desarrollo histórico y evolución).

- **Primeras aplicaciones de radionucleidos en medicina (1950–1970).**

Se introducen radioisótopos para estudios de tiroides, hueso y riñón, iniciando formalmente la medicina nuclear.

APA: Harper, P. V. (1972). Development of early radiopharmaceuticals. *Seminars in Nuclear Medicine*, 2(4), 345–352.

- **Consolidación de la medicina nuclear como especialidad (1960–1990).**

Avances como la gammacámara y tomografías SPECT impulsan el diagnóstico funcional.

APA: Blau, M., & Bender, M. A. (1960). The early evolution of nuclear medicine. *Journal of Nuclear Medicine*, 1(1), 1–16.

- **Estandarización de procedimientos (2000).**

Organismos internacionales publican guías clínicas para estudios diagnósticos y terapéuticos.

APA: Society of Nuclear Medicine. (2000). *Procedure guidelines for nuclear medicine*. SNM.

- **Estado actual de la medicina nuclear (2023).**

La OMS reporta crecimiento global en PET/CT, PET/MRI y terapias con radionucleidos.

APA: World Health Organization. (2023). *Global status report on nuclear medicine*. WHO.

5.3 Antecedentes sobre radioisótopos (producción y uso).

- **Introducción del Tecnecio-99m (1960).**

Se convierte en el radionucleidos más utilizado por su semivida adecuada y energía óptima para diagnóstico.

APA: Richards, P. (1965). Development of ^{99m}Tc radiopharmaceuticals. *Journal of Nuclear Medicine*, 6, 232–247.

- **Producción moderna de radionucleidos médicos (1970–2010).**

El desarrollo de ciclotrones y generadores permitió amplia disponibilidad clínica.

APA: Saha, G. B. (2010). *Fundamentals of nuclear pharmacy* (6th ed.). Springer.

- **Radioisótopos PET y avances en imagen molecular (2014).**

El 18F, 11C y 68Ga impulsan estudios neurológicos, cardíacos y oncológicos.

APA: Phelps, M. E. (2014). *PET: Molecular imaging and its biological applications*. Springer.

- **Terapias con radionucleidos (2017–actualidad).**

Expansión del uso de Lutecio-177, Iodo-131 y emisores alfa dirigidos a tumores específicos.

APA: Dash, A., et al. (2017). Therapeutic radionuclides in nuclear medicine. *Journal of Nuclear Medicine*, 58(1), 54–65.

5.4 Antecedentes sobre radiofármacos (desarrollo, producción y seguridad).

- **Primeros radiofármacos para diagnóstico funcional (1950–1980).**

Se desarrollan compuestos para estudios tiroideos, renales y óseos.

APA: Harper, P. V. (1972). *Seminars in Nuclear Medicine*.

- **Radiofármacos con Tecnecio-99m (1995–2010).**

Su estabilidad y disponibilidad lo hacen el trazador dominante en medicina nuclear.

APA: Saha, G. B. (2004). *Radiopharmaceuticals in nuclear medicine*. Springer.

- **Radiofármacos avanzados para PET y SPECT (2016).**

Los compuestos dirigidos permiten una mayor precisión en patología oncológica, neurológica y cardiológica.

APA: Wernick, M. N., & Aarsvold, J. N. (2016). *Emission tomography*. Elsevier.

- **Medicina personalizada y radiofármacos terapéuticos (2020).**

Aparecen trazadores dirigidos a receptores PSMA, DOTATATE y otros.

APA: Herrmann, K., et al. (2020). Radiotheranostics: A new era in cancer therapy. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 17(12), 750–764.

- **Seguridad en el manejo de radiofármacos (2022).**

Nuevos estándares enfatizan el control de contaminación y blindajes específicos.

APA: IAEA. (2022). *Safe handling of radiopharmaceuticals in nuclear medicine*. IAEA.

5.5 Antecedentes normativos en radioprotección

- **ICRP 103 (2007).**

Establece los principios modernos de justificación, optimización (ALARA) y limitación de dosis.

APA: ICRP. (2007). *The 2007 recommendations of the ICRP*. Publication 103.

- **IAEA Safety Reports para medicina nuclear (2005–2018).**

Lineamientos específicos para radioprotección, monitoreo y blindaje en áreas con fuentes no selladas.

APA: International Atomic Energy Agency. (2018). *Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation* (SSG-46).

- **Normativa argentina de la ARN (2015–2024).**

Actualiza regulaciones de licenciamiento, protección del personal y operación segura.

APA: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2024). *Normativa para el uso de radioisótopos no sellados en medicina nuclear*. ARN.

5.6 Antecedentes recientes en dosimetría y exposición ocupacional.

- **Tendencias actuales de dosis ocupacional (2020–2025).**

Evidencian mejoras en la reducción de dosis con la aplicación de distancias, blindajes y optimización de tiempos.

APA: Silva, R., & Montes, P. (2022). Occupational dose trends in nuclear medicine staff. *Health Physics*, 123(4), 389–397.

- **Revisión global de seguridad en servicios de medicina nuclear (2024).**

Analiza desafíos actuales y rol del personal expuesto.

APA: Kahn, A., & Foster, L. (2024). Guardians of precision: Radiation protection and safety in nuclear medicine. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 51(3), 455–469.

6. Marco teórico.

6.1. Radiación ionizante.

La radiación ionizante se define como la energía emitida en forma de partículas o de ondas electromagnéticas que posee la capacidad de ionizar la materia con la que interactúa. La ionización ocurre cuando la radiación tiene suficiente energía para remover electrones de los átomos o moléculas, produciendo iones. Este proceso puede generar cambios físicos, químicos y biológicos en los materiales y tejidos irradiados¹.

En el ámbito de la medicina, la radiación ionizante es ampliamente utilizada con fines diagnósticos y terapéuticos, particularmente en disciplinas como la radiología y la medicina nuclear. Sin embargo, debido a su capacidad de producir efectos biológicos en los tejidos vivos, su utilización requiere la aplicación de medidas de protección radiológica orientadas a minimizar los riesgos asociados a la exposición².

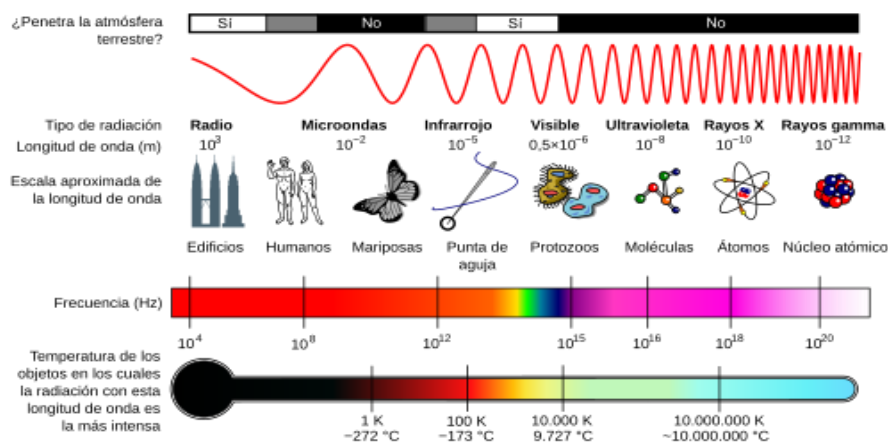


Figura 1

1: Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The essential physics of medical imaging* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

2: International Atomic Energy Agency. (2014). *Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards*. IAEA.

Figura 1: https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_ionizante

6.2. Tipos de radiación ionizante.

La radiación ionizante puede clasificarse según su naturaleza en radiación corpuscular y radiación electromagnética.

La radiación corpuscular está constituida por partículas con masa y carga eléctrica que son emitidas por núcleos atómicos inestables durante procesos de desintegración radiactiva. Dentro de este grupo se encuentran las partículas alfa (α) y beta (β).

Las partículas alfa están formadas por dos protones y dos neutrones, lo que equivale a un núcleo de helio. Poseen una alta masa y carga positiva, lo que les confiere una gran capacidad de ionización, aunque presentan un bajo poder de penetración. Debido a estas características, pueden ser detenidas por una hoja de papel o por la capa externa de la piel³.

Las partículas beta corresponden a electrones o positrones emitidos por el núcleo durante procesos de desintegración radiactiva. Poseen menor masa que las partículas alfa y, por lo tanto, presentan una mayor capacidad de penetración en los tejidos, aunque su capacidad de ionización es menor en comparación con las partículas alfa⁴.

Por otro lado, la radiación electromagnética se caracteriza por estar compuesta por fotones, los cuales no poseen masa ni carga eléctrica. Dentro de este grupo se incluyen los rayos gamma (γ) y los rayos X.

Los rayos gamma se originan en el núcleo de los átomos durante procesos de desintegración radiactiva, mientras que los rayos X se generan generalmente a partir de interacciones electrónicas en equipos generadores de radiación. Ambos tipos de radiación

TR-Fernández Camila Lujan.

3: Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012). *Physics in nuclear medicine* (4th ed.). Elsevier.

4: Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The essential physics of medical imaging* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

poseen una elevada capacidad de penetración y menor capacidad de ionización en comparación con las partículas cargadas⁵.

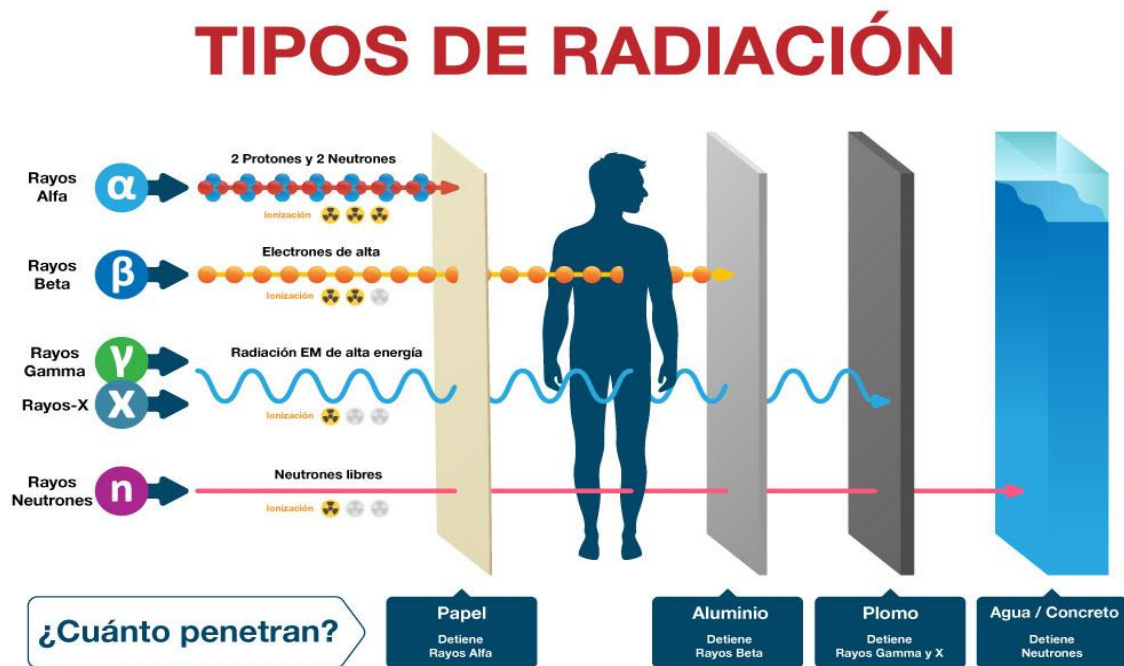


Figura 2

6.3. Capacidad de ionización.

La capacidad de ionización de una radiación depende principalmente de su energía, masa y carga eléctrica. Las radiaciones con mayor masa y carga, como las partículas alfa, tienden a producir una mayor cantidad de ionizaciones a lo largo de su recorrido en la materia. En contraste, las radiaciones electromagnéticas como los rayos X y gamma poseen una menor densidad de ionización, pero una mayor capacidad de penetración en los tejidos⁶.

5: International Atomic Energy Agency. (2014). *Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards*. IAEA.

6: Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The essential physics of medical imaging* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Figura 2: <https://aesl.mx/2021/09/20/las-radiaciones/>

La interacción de la radiación ionizante con la materia puede producir efectos físicos y biológicos significativos, razón por la cual su utilización en el ámbito médico requiere el cumplimiento de normas de seguridad y principios de protección radiológica destinados a limitar la exposición innecesaria⁷.

6.4. Desintegración o decaimiento radiactivo.

La desintegración o decaimiento radiactivo es un proceso físico natural mediante el cual un núcleo atómico inestable se transforma espontáneamente en otro núcleo más estable. Durante este proceso, el núcleo libera energía en forma de radiación, que puede manifestarse como partículas subatómicas o como radiación electromagnética⁸.

6.5. Núcleo inestable.

Los núcleos atómicos están formados por protones y neutrones que se mantienen unidos por fuerzas nucleares. Cuando la relación entre protones y neutrones no es estable, el núcleo presenta un exceso de energía que lo vuelve inestable. Para alcanzar un estado de mayor estabilidad, el núcleo experimenta procesos de desintegración radiactiva, liberando partículas o fotones⁹.

7: International Atomic Energy Agency. (2014). *Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards*. IAEA.

8: Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012). *Physics in nuclear medicine* (4th ed.). Elsevier.

9: Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The essential physics of medical imaging* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Estos núcleos inestables reciben el nombre de radionucleidos o radioisótopos y son ampliamente utilizados en medicina nuclear para la obtención de imágenes diagnósticas y en tratamientos terapéuticos¹⁰.

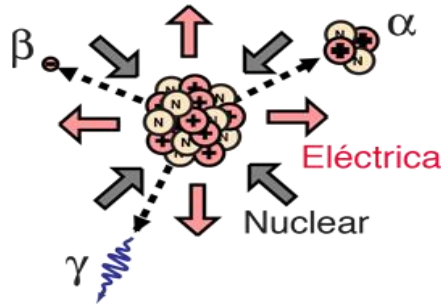


Figura 3

6.6. Emisión de partículas o fotones.

Durante el proceso de desintegración radiactiva pueden emitirse distintos tipos de radiación, dependiendo de las características del radionucleidos

Entre los principales tipos de desintegración se encuentran:

- **Desintegración alfa (α):** emisión de partículas alfa compuestas por dos protones y dos neutrones.
- **Desintegración beta (β):** emisión de electrones (β^-) o positrones (β^+).
- **Emisión gamma (γ):** liberación de energía en forma de fotones gamma, generalmente asociada a la reorganización del núcleo después de otros procesos de desintegración.

Estos procesos permiten que el núcleo alcance un estado energético más estable¹¹

10: Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012). *Physics in nuclear medicine* (4th ed.). Elsevier.

Figura 3: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Nuclear/radact.html>

11: Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The essential physics of medical imaging* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

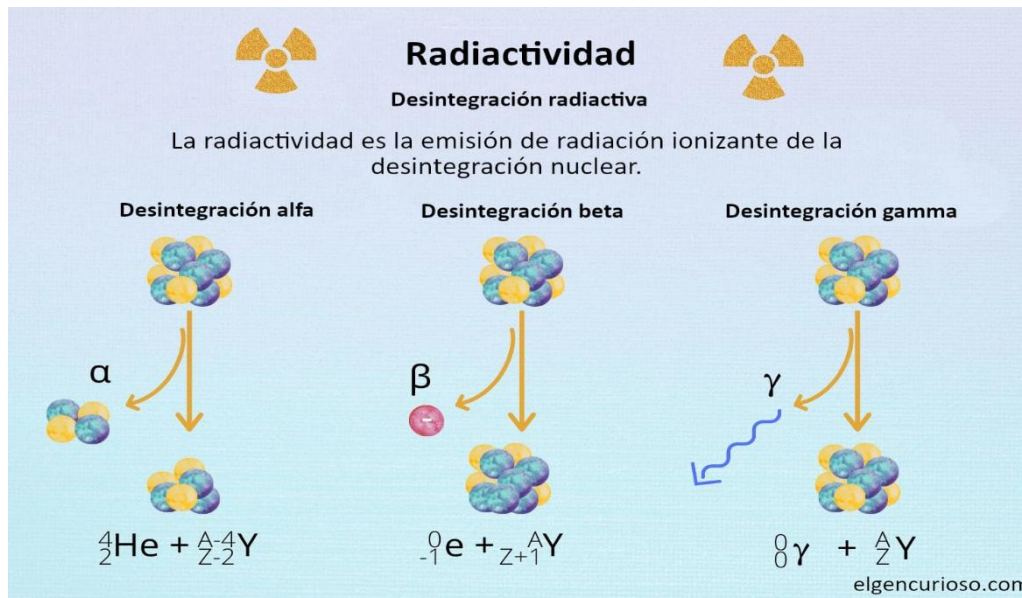


Figura 4.

6.7. Vida media.

Un concepto fundamental asociado a la desintegración radiactiva es la vida media o periodo de semidesintegración. La vida media se define como el tiempo necesario para que la mitad de los núcleos radiactivos presentes en una muestra se desintegran¹².

Este parámetro es característico de cada radionucleidos y resulta de gran importancia en medicina nuclear, ya que determina la duración de la actividad radiactiva de un radiofármaco y, por lo tanto, influye en su utilización clínica y en la planificación de los procedimientos diagnósticos o terapéuticos¹³.

Figura 4: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSvT6bbMjRV-MoHLDa5diS-4gENozcGZdwiCQ&s>

12: Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012). *Physics in nuclear medicine* (4th ed.). Elsevier.

13: International Atomic Energy Agency. (2014). *Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards*. IAEA.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \approx \frac{T_{1/2}}{0,693}$$

Vida media

Constante de decaimiento

Figura 5.

6.8. Historia de la medicina nuclear.

La medicina nuclear es una especialidad médica que se basa en la utilización de radioisótopos y radiofármacos con fines diagnósticos y terapéuticos. Su origen está estrechamente vinculado al descubrimiento de la radiactividad y al desarrollo de la física nuclear a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX.

El primer hito fundamental ocurrió en 1896, cuando Henri Becquerel descubrió la radiactividad natural. Este hallazgo permitió comprender que ciertos elementos eran capaces de emitir energía espontáneamente, fenómeno que posteriormente sería aplicado en el ámbito médico.

Posteriormente, Marie y Pierre Curie profundizaron el estudio de la radiactividad mediante el descubrimiento del polonio y el radio en 1898, sentando las bases para la identificación y producción de nuevos radioisótopos¹⁴.

Figura 5: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Nuclear/meanlif.html>

14: Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2012). *Physics in nuclear medicine* (4th ed.). Elsevier.

Un avance decisivo para la medicina nuclear fue la introducción del concepto de trazadores radiactivos por George de Hevesy en 1913. Este científico demostró que pequeñas cantidades de sustancias marcadas radiactivamente podían utilizarse para estudiar procesos biológicos sin alterar su funcionamiento normal¹⁵.

Durante las décadas de 1930 y 1940 comenzaron las primeras aplicaciones clínicas de radioisótopos, especialmente en el estudio y tratamiento de enfermedades tiroideas. Uno de los radioisótopos más relevantes fue el yodo-131, cuyo uso terapéutico marcó un antes y un después en la especialidad. Estorch (2022) destaca que *“el yodo-131 constituyó la primera terapia eficaz basada en radionucleidos en la práctica clínica”* (p. 66).

A partir de la década de 1950, la medicina nuclear se consolidó como especialidad médica, impulsada por el desarrollo de equipamiento específico como la gamma cámara. Hal Anger diseñó este dispositivo, que permitió obtener imágenes funcionales del organismo. En este sentido, Cherry et al. (2012) señalan que *“the development of the Anger scintillation camera revolutionized diagnostic nuclear medicine”* (p. 237).

El progreso tecnológico continuó con la incorporación del tecnecio-99m, radioisótopo que se convirtió en el más utilizado en estudios diagnósticos debido a sus propiedades físicas favorables. Según los autores, *“technetium-99m rapidly became the radionuclide of choice for most diagnostic procedures”* (Cherry et al., 2012, p. 92).

En las décadas siguientes, el desarrollo de técnicas tomográficas como la SPECT y la PET permitió obtener imágenes tridimensionales y evaluar procesos metabólicos y moleculares. Carlsson (1995) resume esta evolución al afirmar que *“nuclear medicine has evolved from simple measurements to sophisticated tomographic imaging of organ function”* (p. 1097).

En la actualidad, la medicina nuclear se integra con otras modalidades de diagnóstico por imágenes, dando lugar a sistemas híbridos como PET/CT y SPECT/CT, y consolidándose como una herramienta esencial en oncología, cardiología y neurología. De este modo, la especialidad continúa evolucionando sobre la base de principios científicos establecidos hace más de un siglo¹⁷.



Figura 6.

6.9. Fundamentos de la protección radiológica.

La protección radiológica constituye un conjunto de principios, criterios y acciones orientadas a prevenir o reducir los efectos nocivos de la radiación ionizante sobre las personas y el ambiente, sin limitar los beneficios asociados a su utilización en el ámbito sanitario. Su desarrollo se basa en el conocimiento científico de la interacción de la radiación con la materia viva y en la necesidad de establecer un equilibrio entre riesgo y beneficio¹⁸.

17: Mettler, F. A., & Guiberteau, M. J. (2019). *Essentials of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* (7th ed.). Elsevier.

Figura 6: Imagen creada en canva.

18: International Commission on Radiological Protection. (2007). *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (ICRP Publication 103). Elsevier.



Figura 7.

La radiación ionizante puede producir efectos biológicos que se clasifican, de manera general, en efectos deterministas y efectos estocásticos. Los efectos deterministas, también denominados reacciones tisulares, presentan un umbral de dosis a partir del cual se manifiestan, y su gravedad aumenta con la dosis absorbida. En cambio, los efectos estocásticos, como el cáncer inducido por radiación, no presentan un umbral conocido y su probabilidad de aparición se incrementa con la dosis, mientras que su severidad es independiente de ella¹⁹.

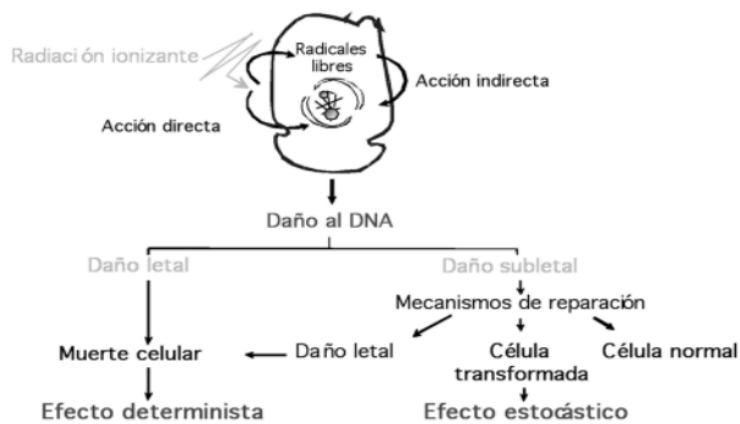


Figura 8.

Figura 7: <https://sifemcare.com/prendas-plomadas-accesorios-de-proteccion-radiologica/>

19: Organización Mundial de la Salud. (2016). *Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation*. WHO.

Figura 8: <https://salud-ambiental.com/wp-content/uploads/revista/rsa.10.1-2.2010/rsa.10.1-2.2010.43-48.pdf>

Ante la imposibilidad de definir un nivel de dosis completamente exento de riesgo para los efectos estocásticos, el sistema moderno de protección radiológica adopta un enfoque prudente, considerando que cualquier exposición, por mínima que sea, puede implicar un riesgo potencial. Este criterio justifica la necesidad de minimizar las exposiciones siempre que sea razonablemente posible²⁰.



Figura 9.

6.10 Principios generales de la protección radiológica.

El sistema de protección radiológica se estructura sobre tres principios fundamentales que guían la toma de decisiones en todas las prácticas que involucran radiaciones ionizantes: justificación, optimización y limitación de dosis².

20: International Atomic Energy Agency. (2014). *Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards* (General Safety Requirements Part 3, No. GSR Part 3). IAEA.

Figura 9: <https://www.sociedadnuclear.mx/alara/>

21: National Council on Radiation Protection and Measurements. (2001). *Evaluation of the linear-nonthreshold dose-response model for ionizing radiation* (Report No. 136). NCRP.

3 Pilares Básicos en Protección Radiológica



Figura 10.

El principio de justificación establece que ninguna práctica que implique exposición a radiación ionizante debe llevarse a cabo si no aporta un beneficio neto para el individuo o para la sociedad. En el ámbito de la salud, este principio adquiere especial relevancia, ya que cada procedimiento diagnóstico o terapéutico debe estar debidamente indicado desde el punto de vista clínico, evitando exposiciones innecesarias o repetidas que no aporten información adicional relevante.

El principio de optimización indica que las exposiciones deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores técnicos, económicos y sociales. En el contexto de la producción de bioimágenes, este principio se traduce en la selección adecuada de los parámetros técnicos, la correcta utilización de los equipos y la aplicación de protocolos que permitan obtener imágenes de calidad diagnóstica con la menor dosis posible²².

Figura 10: <https://rinconeducativo.org/wp-content/uploads/2018/02/icrp.png>

22: National Council on Radiation Protection and Measurements. (2001). *Evaluation of the linear-nonthreshold dose-response model for ionizing radiation* (Report No. 136). NCRP.

TR-Fernández Camila Lujan.

El principio de limitación de dosis establece valores máximos de exposición para las personas ocupacionalmente expuestas y para el público en general. Estos límites tienen como objetivo prevenir la aparición de efectos deterministas y reducir la probabilidad de efectos estocásticos. Sin embargo, en el caso de los pacientes, no se aplican límites de dosis estrictos, dado que la exposición se realiza de manera intencional con un fin diagnóstico o terapéutico. En estas situaciones, la protección se fundamenta exclusivamente en la justificación y la optimización del procedimiento²³.

6.11. Situaciones y tipos de exposición a la radiación.

Para una correcta aplicación de la protección radiológica, las exposiciones a la radiación ionizante pueden clasificarse según la situación en la que se producen y según el tipo de personas expuestas. Desde el punto de vista de la situación, se reconocen exposiciones planificadas, que corresponden a aquellas derivadas del uso deliberado y controlado de fuentes de radiación, exposiciones de emergencia, asociadas a eventos accidentales, y exposiciones existentes, vinculadas a fuentes de radiación ya presentes en el entorno.

En el ámbito sanitario, las prácticas de diagnóstico por imágenes y de medicina nuclear se encuadran dentro de las situaciones de exposición planificada, dado que implican el uso intencional de radiación ionizante bajo condiciones controladas²⁴.

23: National Council on Radiation Protection and Measurements. (2001). *Evaluation of the linear-nonthreshold dose-response model for ionizing radiation* (Report No. 136). NCRP.

24: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2008). *Sources and effects of ionizing radiation*. United Nations.

Según el tipo de personas expuestas, se distinguen la exposición ocupacional, correspondiente al personal que trabaja con radiaciones ionizantes; la exposición del público, que afecta a personas que no participan directamente en las prácticas radiológicas; y la exposición médica, que comprende la recibida por los pacientes como consecuencia de procedimientos diagnósticos o terapéuticos, así como la exposición de cuidadores y acompañantes.

La exposición médica representa una de las principales fuentes de exposición artificial a la radiación en la población, lo que resalta la importancia de aplicar criterios estrictos de protección radiológica en el ámbito de la salud²⁵.

6.12. Protección radiológica en el ámbito médico

La aplicación de la protección radiológica en medicina presenta características particulares, ya que la radiación se utiliza de manera intencional con el objetivo de obtener un beneficio clínico directo para el paciente. Por este motivo, las estrategias de protección se orientan a garantizar que cada procedimiento esté debidamente indicado y que la dosis administrada sea la mínima necesaria para cumplir con el objetivo diagnóstico o terapéutico.

La protección del paciente se basa en la correcta indicación del estudio, la selección adecuada de la técnica, la optimización de los parámetros de exposición y el uso de herramientas que permitan evaluar y comparar las dosis utilizadas en los distintos procedimientos. Estas estrategias contribuyen a identificar prácticas inadecuadas y a promover la mejora continua en la utilización de la radiación ionizante²⁶.

25: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2008). *Sources and effects of ionizing radiation*. United Nations.

26: International Commission on Radiological Protection. (2018). *Diagnostic reference levels in medical imaging* (ICRP Publication 135). Elsevier.

Asimismo, resulta fundamental considerar la radiosensibilidad de determinados grupos de pacientes, como los niños y las mujeres embarazadas, así como la situación de aquellos que requieren estudios repetidos. En estos casos, la optimización de la dosis adquiere un rol central para minimizar los riesgos asociados a la exposición²⁷.

6.13. Marco normativo y organizacional de la protección radiológica.

La protección radiológica en los servicios de salud se sustenta en un marco normativo y organizacional que establece responsabilidades y requisitos para garantizar el uso seguro de la radiación ionizante. Este marco incluye la regulación de las instalaciones, la capacitación del personal, la implementación de procedimientos escritos y la supervisión de las prácticas radiológicas.

Dentro de este contexto, se promueve la adopción de programas de garantía de calidad que aseguren el correcto funcionamiento de los equipos, la consistencia de los procedimientos y la detección temprana de desviaciones que puedan incrementar las dosis innecesariamente. Asimismo, se enfatiza la importancia de la cultura de la seguridad, entendida como el compromiso institucional y profesional con la protección radiológica y la prevención de incidentes²⁸.

27: International Commission on Radiological Protection. (2018). *Diagnostic reference levels in medical imaging* (ICRP Publication 135). Elsevier.

28: Organización Panamericana de la Salud. (2015). *Protección radiológica en servicios de salud*. OPS.

6.14. Aplicación de la protección radiológica en el ámbito hospitalario.

En el entorno hospitalario, la protección radiológica se materializa a través de la implementación de medidas técnicas, organizativas y operativas destinadas a proteger al paciente, al personal ocupacionalmente expuesto y al público. Estas medidas incluyen el diseño adecuado de las instalaciones, el uso de blindajes estructurales, la señalización de áreas con radiación, el control de accesos y la utilización de elementos de protección personal.

La dosimetría personal y ambiental constituye una herramienta fundamental para el control de las exposiciones, permitiendo evaluar el cumplimiento de los criterios de protección y detectar situaciones que requieran acciones correctivas. De igual manera, la formación continua del personal y el trabajo interdisciplinario resultan esenciales para garantizar prácticas seguras y optimizadas.

En este marco, el licenciado en producción de bioimágenes desempeña un rol clave en la aplicación cotidiana de la protección radiológica, ya que participa activamente en la ejecución de los procedimientos, en la optimización de las dosis y en la preservación de la calidad diagnóstica de las imágenes²⁹.

29: International Commission on Radiological Protection. (2007). *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (ICRP Publication 103). Elsevier

6.15. Elementos básicos de protección: tiempo, distancia y blindaje.

El control de la exposición del personal ocupacionalmente expuesto se basa en tres variables fundamentales: **tiempo, distancia y blindaje**. Estas medidas constituyen la base práctica de la protección radiológica en cualquier servicio de Medicina Nuclear (OIEA, 2018).

- **Tiempo:** la dosis recibida es directamente proporcional al tiempo de exposición. Por lo tanto, reducir el tiempo de permanencia en zonas con radiación disminuye la dosis absorbida. Esto se logra planificando las tareas, preparando materiales con antelación y utilizando técnicas que agilicen los procedimientos.
- **Distancia:** la intensidad de la radiación disminuye con el cuadrado de la distancia (ley del inverso del cuadrado). Duplicar la distancia respecto a la fuente reduce la exposición en un 75%. En la práctica, se utilizan herramientas de manipulación remota, bandejas extensibles y barreras móviles para aumentar la distancia entre el operador y la fuente radiactiva.
- **Blindaje:** consiste en interponer materiales adecuados para atenuar la radiación. El plomo y el tungsteno se utilizan para radiaciones gamma, mientras que el acrílico o el plexiglás son útiles para partículas beta. En los servicios de Medicina Nuclear, el blindaje incluye desde contenedores plomados para radiofármacos hasta paredes y puertas reforzadas, diseñadas según los cálculos de protección radiológica establecidos por la ARN³⁰.

30: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2012). *Guía de seguridad radiológica para instalaciones de medicina nuclear*. ARN.

6.16. Radioprotección en medicina nuclear

En el ámbito de la medicina nuclear la radioprotección es regulada por la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN). La ARN, en su carácter de autoridad nacional competente para la regulación y fiscalización en las áreas de seguridad radiológica y nuclear, protección y seguridad física, y salvaguardias y no proliferación; desarrolla las funciones establecidas por la Ley Nacional de la Actividad Nuclear. Entre ellas, la ARN establece normas y guías regulatorias, que conforman el marco regulatorio de la actividad nuclear en la República Argentina. La ARN elabora y actualiza normas regulatorias de cumplimiento obligatorio para todas las actividades que regula. Las normas establecen los requisitos para las instalaciones y prácticas, y para el personal que se desempeña en ellas. El cumplimiento de las normas regulatorias minimiza los riesgos radiológicos asociados al uso de los materiales radiactivos y nucleares. La ARN también elabora guías regulatorias complementarias, de carácter orientativo, que contienen recomendaciones para cumplir con los requisitos de las normas vinculadas.

El cuadro normativo de la ARN se establece a partir de la propia experiencia regulatoria, los estándares del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y los criterios de seguridad instituidos en las convenciones internacionales; y los criterios científicos recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR)³¹.

31: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

5.8.2 OBJETIVO.

La presente norma establece los requisitos para la protección de las personas y el ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación.

5.8.3 ALCANCE.

La presente norma se aplica a todas las instalaciones y prácticas que regula la Autoridad Regulatoria, de acuerdo a las atribuciones que le confiere la legislación vigente. Esta norma no abarca los equipos destinados específicamente a generar rayos X, en los términos de la Ley N° 17.557, y sí comprende los aceleradores lineales de uso médico que, como consecuencia de su operación, den lugar o produzcan radiación ionizante adicional a los rayos X. En esta norma se consideran tres situaciones de exposición a la radiación ionizante: situación de exposición planificada, situación de exposición en emergencia y situación de exposición existente; para la exposición ocupacional, la exposición del público y la exposición médica, según corresponda. El cumplimiento de esta norma, y de las normas y los requerimientos establecidos por la Autoridad Regulatoria, no exime del cumplimiento de otras normas y requerimientos establecidos por otras autoridades competentes³².

32: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

5.8.4 Exposición ocupacional

D.1.7.1. Límites de dosis

- 65. La Entidad Responsable debe asegurar que no se superen los siguientes límites de dosis para trabajadores:
 - a. una dosis efectiva de 20 mSv por año. Este valor debe ser considerado como el promedio en 5 años consecutivos (100 mSv en 5 años), no pudiendo excederse 50 mSv en ninguno de los años individuales
 - b. una dosis equivalente en cristalino de 20 mSv por año. Este valor debe ser considerado como el promedio en 5 años consecutivos (100 mSv en 5 años), no pudiendo excederse 50 mSv en ninguno de los años individuales
 - c. Una dosis equivalente en piel o extremidades de 500 mSv por año.
- 66. La Entidad Responsable debe asegurar el cumplimiento de los límites de dosis para trabajadores expuestos a la incorporación de radón-222 y sus productos de decaimiento de período corto.
- 67. Los límites de dosis para trabajadores se aplican a las dosis recibidas durante un año de trabajo, y para la verificación del cumplimiento de tales límites se debe proceder de la siguiente manera³³.

33: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

$$\frac{H_p(0,07)}{500 \text{ mSv}} \leq 1$$

$$\frac{H_p(3)}{20 \text{ mSv}} \leq 1$$

$$\frac{H_p(10)}{20 \text{ mSv}} + \sum_j \frac{I_j}{LI_j} \leq 1$$

Donde:

Figura 11.

1. $H_p(0,07)$ es el equivalente de dosis personal a una profundidad de = 0,07 mm, integrada en un año.
 2. $H_p(3)$ es el equivalente de dosis personal a una profundidad de = 3 mm, integrada en un año.
 3. $H_p(10)$ es el equivalente de dosis personal a una profundidad de = 10 mm, integrada en un año. I_j es la incorporación del radionucleido j en un año. LI_j es el límite anual de incorporación para el radionucleido j, resultante de dividir 20 mSv por el factor dosimétrico de dosis efectiva comprometida para trabajadores, por unidad de incorporación de dicho radionucleido j.
- 68. Todo trabajador debe ser mayor de 18 años.
 - 69. La Autoridad Regulatoria podrá establecer restricciones de dosis para la exposición ocupacional en los casos que considere apropiado³⁴.

34: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

Figura 11: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

D.1.7.2. Seguridad radiológica de las trabajadoras y de los estudiantes menores de 18 años

- 70. La Entidad Responsable y el responsable Primario o el responsable por la Seguridad Radiológica, según corresponda, deben informar a toda trabajadora la importancia de comunicar su embarazo o si está amamantando a efectos de implementar las condiciones de trabajo, en relación con la exposición ocupacional, para asegurar que el embrión/feto o el lactante reciba el mismo grado de seguridad radiológica que se requiere para el público.
- 71. La Entidad Responsable debe brindar el acceso a la información pertinente a toda trabajadora que esté embarazada o amamantando.
- 72. Para estudiantes de 16 a 18 años de edad, que en sus estudios requieren el uso de fuentes de radiación, el límite de dosis efectiva es 6 mSv por año, el límite de dosis equivalente en cristalino es 20 mSv por año y el límite de dosis equivalente en piel o extremidades es 150 mSv por año.

D.1.7.4. Vigilancia de la salud de los trabajadores

- 76. La Entidad Responsable debe asegurar la vigilancia de la salud de los trabajadores.
- 77. La vigilancia de la salud de los trabajadores debe basarse en los principios generales de la medicina ocupacional y debe, según corresponda:
 - a. evaluar la salud de los trabajadores.
 - b. evaluar la compatibilidad de la salud y la aptitud psicofísica de los trabajadores con las condiciones de su trabajo.
 - c. mantener actualizados los registros requeridos³⁵.

35: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

- d. recopilar información pertinente y necesaria en caso de enfermedad profesional o exposición en un accidente.
- 78. Ningún trabajador puede emprender sus tareas o continuar en las mismas en oposición al dictamen médico competente.
- 79. Cuando se estime que un trabajador ha recibido una dosis efectiva superior a 100 mSv en un año, se debe realizar una evaluación dosimétrica y médica previa a su reintegro al trabajo. La Entidad Responsable admitirá o no su reintegro a tareas inherentes a las de un trabajador conforme con el dictamen médico competente.
- 80. La Entidad Responsable debe asegurar que se lleven registros individuales de cada trabajador que realiza tareas en área controlada, y dichos registros deben estar a disposición de la Autoridad Regulatoria. En los registros, según corresponda, se debe consignar la siguiente información:
 - a. las tareas que realiza el trabajador y el tipo de exposición.
 - b. el registro dosimétrico o registro de dosimetría individual.
 - c. el resultado de las evaluaciones de las dosis ocupacionales.
 - d. los dictámenes médicos competentes.
- 81. La Entidad Responsable debe notificar al trabajador el registro dosimétrico con la periodicidad que corresponda y debe entregar a todo trabajador que se desvincule de la organización su registro dosimétrico correspondiente a todo el lapso que estuvo vinculado a la misma.
- 82. La Entidad Responsable debe conservar los registros del requisito N° 80 durante 30 años posteriores al momento en que el trabajador haya cesado en las tareas asociadas a exposición ocupacional³⁶.

36: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

- 83. La Entidad Responsable debe requerir a todo trabajador ingresante a la organización el registro dosimétrico correspondiente a las tareas previamente desarrolladas en otra organización.
- 84. Cuando la Entidad Responsable de una instalación o de una práctica no rutinaria cese en su actividad, debe remitir los registros del requisito N° 80 de esa instalación o de esa práctica no rutinaria a la Autoridad Regulatoria.
- 85. Todas las dosis recibidas en accidentes se deben registrarse, distinguiéndose claramente de las dosis recibidas en operación normal. Estas dosis no se incorporan al cómputo anual de dosis. 86. La Entidad Responsable debe asegurar que se lleven, además de los registros mencionados en el requisito N° 80, aquellos registros particulares que en cada caso determine la Autoridad Regulatoria.

6.17. Instalaciones de Medicina Nuclear.

- 12. Para operar una instalación o para llevar a cabo una práctica de medicina nuclear, se debe contar con la licencia de operación otorgada por la Autoridad Regulatoria y con un responsable.
- 13. En las instalaciones de medicina nuclear, los sistemas de protección deben estar optimizados para que la dosis efectiva de radiación que reciba cada trabajador no supere el valor de 6 mSv en un (1) año. Cuando la jornada de labor sea menor que ocho (8) horas, no deberá superarse la parte proporcional de la restricción de dosis establecida.
- 14. Los radionucleidos que se utilicen o estén almacenados en la instalación deben ser autorizados, y la actividad total de cada uno de ellos no debe exceder los valores establecidos en la licencia de operación³⁷.

37: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

- 15. Los radionucleidos o radiofármacos sólo pueden adquirirse a proveedores autorizados por la Autoridad Regulatoria o ser importados en forma directa por el titular de la licencia de operación. Sólo pueden transferirse a otros titulares de licencia, para la misma práctica.

D.2. Licencia de Operación

D.2.1. Solicitud de la Licencia de Operación

- 16. El solicitante debe presentar la documentación técnica necesaria para demostrar, a satisfacción de la Autoridad Regulatoria, que el diseño y la operación de la instalación de medicina nuclear cumplen, como mínimo, los requisitos de seguridad radiológica establecidos en la presente norma y en las demás normas de la Autoridad Regulatoria que sean de aplicación.
- 17. La documentación técnica debe contener como mínimo, lo siguiente:
 - a. Descripción de la instalación, incluyendo:
 - la distribución en planta (acompañada de esquemas o planos).
 - los detalles constructivos vinculados a la seguridad radiológica de los locales donde se emplee material radiactivo (p. ej. revestimientos en pisos, paredes y superficies de trabajo).
 - los blindajes previstos.
 - los sistemas de ventilación, cuando corresponda
 - b. Detalle del equipamiento previsto.
 - c. Detalle del personal de operación previsto.
 - d. Descripción del sistema de calidad³⁸.

38: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

D.2.2. Instalación.

- 18. La instalación debe contar como mínimo con:
 - a. Un local exclusivo (cuarto de preparados o “cuarto caliente”) para la preparación de los radionucleidos, que deberá contar con materiales de construcción, dimensiones y blindajes apropiados, y con áreas debidamente separadas y señalizadas para el almacenamiento del material radiactivo y el almacenamiento transitorio de los residuos radiactivos.
 - b. Un local destinado a la administración de radionucleidos al paciente.
 - c. Un local con dimensiones apropiadas para cada equipo de medicina nuclear.
 - d. Una sala de espera con un área exclusiva y debidamente delimitada, para pacientes a los cuales se les hayan administrado radionucleidos con fines de diagnóstico.
 - e. Un cuarto de baño exclusivo para pacientes a los cuales se les haya administrado radionucleidos.
- 19. En aquellas instalaciones de medicina nuclear en las que se internen los pacientes tratados con dosis terapéuticas de I 131 u otros radionucleidos, se deberá disponer de una sala de internación, con cuarto de baño exclusivo y adecuadamente acondicionada para tal fin.
- 20. El revestimiento de los pisos y las superficies de trabajo de los locales donde se utilice material radiactivo, debe ser de acabado liso, libre de discontinuidades, impermeable y fácilmente descontaminable.
- 21. Aquellos locales en los que se utilicen sustancias volátiles, gases o aerosoles radiactivos, deberán contar con un sistema de ventilación a satisfacción de la Autoridad Regulatoria³⁹.

39: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

- 22. El cuarto de preparados debe contar, como mínimo, con dos piletas separadas.
Una de ellas estará destinada al lavado de elementos contaminados (“pileta activa”), y la otra al lavado de elementos no contaminados. Esta última debe estar ubicada en una zona dentro del cuarto caliente en la cual la probabilidad de contaminación sea baja.
- 23. Los desagües de la “pileta activa” deben conectarse a la red cloacal de forma tal que se minimicen las dosis a trabajadores debidas a eventuales retenciones de material radiactivo en la cañería de desagote.
- 24. Deben existir barreras físicas y señalizaciones de seguridad, que permitan restringir el acceso a los locales en los que se trabaja con materiales radiactivos.
- 25. Cualquier proyecto de modificación al diseño de la instalación descrita en la documentación técnica y que pudiere afectar la seguridad radiológica, deberá ser comunicado a la Autoridad Regulatoria por el solicitante de la licencia de operación, previamente a la ejecución del proyecto.
- 26. En el caso de instalaciones de medicina nuclear nuevas, el diseño debe prever una ubicación de los locales tal que se minimicen los recorridos en el transporte interno del material radiactivo y se evite el paso de este material a través de locales tales como consultorios, salas de espera, etc.

D.2.3. Dotación de Personal

- 27. La dotación de personal de la instalación de medicina nuclear debe estar de acuerdo con los tipos de estudios o tratamientos que se realicen en ella, el equipamiento de medicina nuclear utilizado y la carga de trabajo. La dotación mínima debe estar integrada por:
 - a. Personal médico con permiso individual para los estudios o tratamientos que se realizan, en número suficiente para cubrir todo el horario en que se administre material radiactivo a los pacientes⁴⁰.

40: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

- b. Personal profesional o técnico con permiso individual y preparación adecuada para la manipulación de material radiactivo, en número adecuado a la carga de trabajo de la instalación de medicina nuclear.
- 28. En aquellas instalaciones que utilicen equipamiento de medicina nuclear de alta complejidad (tal como PET o SPECT con más de un cabezal) que se emplee para mediciones en coincidencia, el plantel mínimo debe completarse, a satisfacción de la Autoridad Regulatoria, con un especialista en física médica según lo definido en la definición N° 7, con dedicación parcial.
- 29. Cuando la complejidad de los procesos radioquímicos que se realicen en la instalación de medicina nuclear así lo requiera, el plantel mínimo deberá completarse con un especialista en radioquímica o radiofarmacia con permiso individual, con dedicación parcial a satisfacción de la Autoridad Regulatoria.

D.2.4. Equipamiento Mínimo.

- 30. El equipamiento mínimo requerido para la operación de la instalación de medicina nuclear debe consistir en:
 - a. Monitor portátil de radiación y contaminación con respuesta adecuada a los radionucleidos y actividades empleadas
 - b. Calibrador de actividades (“activímetro”) que utilice como elemento de medición una cámara de ionización o un sistema de medición de tecnología más avanzada, con respuesta adecuada a los radionucleidos y actividades empleados
 - c. Equipamiento de medicina nuclear en cantidad y tipo acordes con la licencia de operación solicitada⁴¹.

41: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

D.3. Operación

- 31. La operación de la instalación de medicina nuclear debe enmarcarse dentro de un sistema de calidad que contenga procedimientos escritos, como mínimo para:
 - a. Compra, recepción y almacenamiento, e inventario del material radiactivo.
 - b. Manipulación del material radiactivo dentro de la instalación y para aquellos casos en que deba ser utilizado fuera de ella (quirófanos, salas de internación, etc.).
 - c. Vigilancia radiológica de áreas y personal.
 - d. Mantenimiento y control de calidad del equipamiento de medicina nuclear, del “activímetro” y del equipamiento de protección radiológica.
 - e. Protección radiológica del paciente.
 - f. Gestión de los residuos radiactivos.
 - g. Situaciones anormales.
- 32. Toda modificación en las condiciones de operación autorizadas debe ser aprobada previamente por la Autoridad Regulatoria.
- 33. Al efectuarse la recepción de material radiactivo debe verificarse la integridad del bulto y del contenido, y la ausencia de contaminación superficial arrastrable
- 34. La manipulación del material radiactivo debe realizarse exclusivamente en los locales correspondientes, descritos en el criterio N° 18, y en condiciones de seguridad que permitan minimizar las dosis por irradiación y la probabilidad de contaminación⁴².

42: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

- 35. Si se llevaran a cabo estudios o tratamientos que requirieran el traslado de material radiactivo fuera del ámbito de la instalación de medicina nuclear (p. ej. estudios intra operatorios), los mismos deberán ser realizados bajo supervisión del responsable y en adecuadas condiciones de seguridad radiológica.
- 36. Cualquier acción que implique el traslado de material radiactivo por la vía pública debe llevarse a cabo en las condiciones establecidas por la Norma A.R. 10.16.1 – “Transporte de Materiales Radiactivos”.
- 37. Todos los trabajadores que se desempeñen en la instalación de medicina nuclear deben recibir capacitación y entrenamiento apropiados en protección radiológica antes de comenzar a desempeñar sus funciones y con posterioridad, con una periodicidad adecuada. Además, la instrucción del personal se realizará cada vez que ocurran cambios significativos en sus responsabilidades, en las técnicas empleadas, en la instalación, en las funciones, en las normas aplicables o en las condiciones de la licencia de operación.
- 38. El personal que deba concurrir esporádicamente a la instalación en razón de sus funciones o responsabilidades (personal de mantenimiento, personal de servicio, etc.) debe recibir, previamente a su concurrencia, instrucciones básicas de protección radiológica.
- 39. El personal de la instalación de medicina nuclear debe contar con los elementos de protección personal adecuados para cada tarea.
- 40. La instalación de medicina nuclear debe contar con los elementos de descontaminación adecuados al tipo de radionucleidos que se empleen, su actividad y su forma física y química. Las previsiones para la gestión de los residuos radiactivos resultantes de la eventual descontaminación, deben estar incluidas en el procedimiento mencionado en el criterio N° 31 f⁴³.

43: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

- 41. La liberación de efluentes líquidos, gaseosos o aerosoles debe ser tan baja como resulte posible. Si se han establecido límites de descarga en la licencia de operación, éstos no deben excederse.
- 42. Los pacientes a los que se les administre radionucleidos con fines terapéuticos deben recibir, previamente, instrucciones escritas sobre las acciones a tomar para mantener las dosis de familiares y público en general, tan bajas como sea posible.
- 43. En aquellas instalaciones de medicina nuclear en las que se internen los pacientes tratados con dosis terapéuticas de I-131 u otros radionucleidos, las salas de internación deberán contar con una señalización adecuada. Todas las operaciones vinculadas con la atención de los pacientes, así como el régimen de visitas si lo hubiere, deberán llevarse a cabo siguiendo procedimientos que aseguren que las dosis a los trabajadores y al público sean tan bajas como resulte posible.
- 44. Los procedimientos para situaciones anormales mencionados en el criterio N° 31g deben incluir evaluaciones dosimétricas y acciones correctivas apropiadas para el caso de contaminaciones significativas
- 45. Las fuentes radiactivas selladas o no selladas destinadas a controles de calidad o calibraciones deben estar inventariadas y deben guardarse debidamente blindadas y señalizadas, en un área especialmente destinada a tal fin, en el cuarto de preparados.

D.4.2. Vigilancia Radiológica Individual

- 47. Debe llevarse a cabo el control dosimétrico individual de los trabajadores en los casos que corresponda.
- 48. El responsable debe determinar la nómina de los trabajadores afectados al control dosimétrico individual. El personal que realiza tareas de elución, fraccionamiento, administración o cualquier otra tarea relacionada con la manipulación de radionucleidos, debe contar, además, con dosímetro de mano⁴⁴.

44: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

- 49. El dosímetro personal de cada trabajador debe ser de uso exclusivo en cada instalación de medicina nuclear.
- 50. La dosimetría personal sólo podrá ser llevada a cabo por aquellos servicios de dosimetría que participen en ejercicios periódicos de intercomparación efectuados por organismos reconocidos por la Autoridad Regulatoria.
- 51. Debe vigilarse la contaminación interna del personal que realiza rutinariamente tareas con radionucleidos que puedan dar lugar a una incorporación, con una frecuencia adecuada a la carga de trabajo o cuando se sospeche la existencia de una contaminación resultante de una situación anormal.
- 52. Las dosis individuales deben computarse e informarse al personal en forma mensual. El titular de la licencia de operación debe entregar a cada persona sujeta a dosimetría individual, cuando deje de prestar servicio en la instalación de medicina nuclear, una certificación de la dosis individual recibida en cada año de trabajo en dicha instalación.

Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Normas básicas de seguridad radiológica*.

ARN⁴⁵.

45: Autoridad Regulatoria Nuclear. (2010). *Norma básica de seguridad radiológica* (AR 10.1.1). ARN.

6.18. Radiofármacos.

Un radiofármaco es un compuesto radiactivo utilizado para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. En Argentina, el 95 % de los radiofármacos utilizados en medicina nuclear son de diagnóstico mientras que aproximadamente un 5 % se usan para terapia.

Los radiofármacos pueden clasificarse, según su estructura química, en radionucleidos primos y compuestos marcados. Los radionucleidos primarios son soluciones de compuestos inorgánicos del radioisótopo. Los compuestos marcados son esencialmente una asociación entre dos componentes: un radionucleído y una molécula que funciona como “vehículo”. Esta última dirige al radiofármaco selectivamente a un tejido específico en respuesta a condiciones fisiológicas o patrones de expresión genética específicos⁴⁶.

El trayecto del radiofármaco

A partir del uranio se obtiene el generador de tecnecio

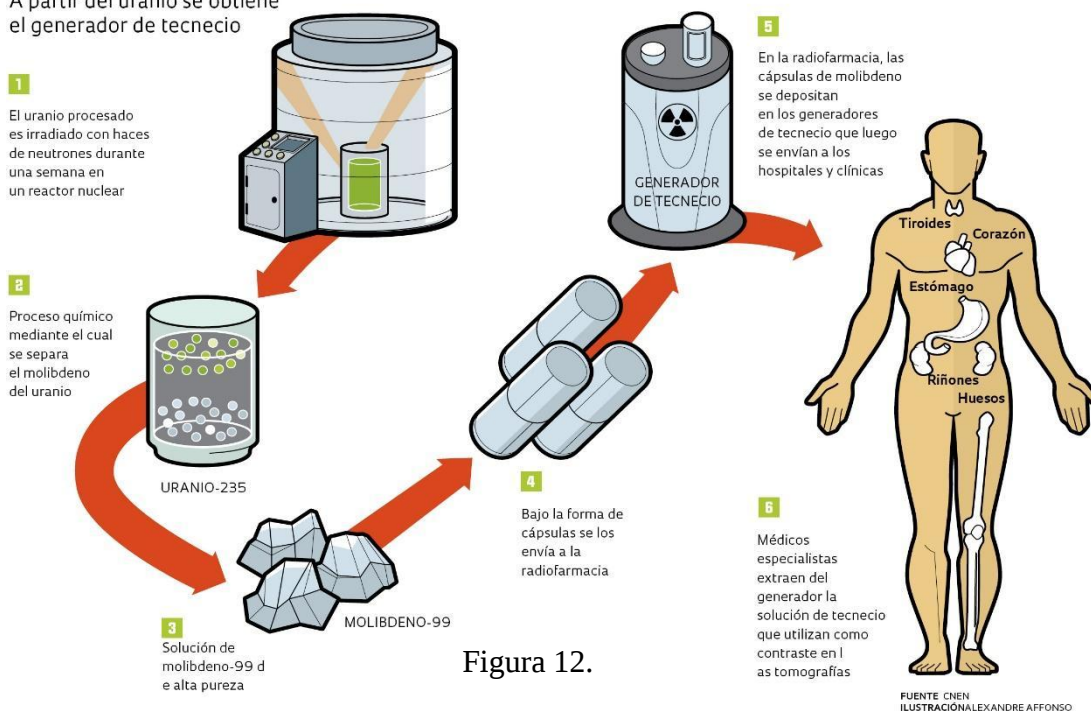


Figura 12.

46: Chain, C. Y., & Illanes, L. (2015). *Radiofármacos en medicina nuclear: Fundamentos y aplicación clínica*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.

Figura 12: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2014/09/078-081_Reator-Ipen_221.jpg

TR-Fernández Camila Lujan.

6.19. Análisis detallado de las etapas en las que el trabajador se encuentra expuesto a la radiación.

- Elución del generador: en esta etapa se obtiene del generador de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ un vial con 5 ml de pertecneciato de sodio a partir de un vial con 5 ml de solución fisiológica que se hace pasar a través del mismo. Este generador de radionucleídos está formado por una columna cromatográfica cargada con alúmina, en donde el ^{99}Mo , producto de la fisión del ^{235}U , es adsorbido y el $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ es eluído mediante una solución salina, obteniéndose finalmente $^{99\text{m}}\text{TcO}_4\text{Na}$ (pertenecniato de sodio). La ventaja de este sistema es que tiene fácil disponibilidad, es simple de operar y suministra un producto de alta pureza. Vista interna de un generador de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. A la derecha se coloca el vial con solución fisiológica y a la izquierda se coloca el vial evacuado en el que se recupera el $^{99\text{m}}\text{TcO}_4\text{Na}$. Aunque el propio generador tiene la fuente radiactiva blindada (la columna donde está adsorbido el ^{99}Mo está protegida), es la radiación proveniente del vial colector lo que nos va a interesar analizar. Este vial inicialmente se encuentra vacío, pero a medida que la solución fisiológica pasa por la columna de ^{99}Mo , va llevándose pertecnectato que terminará en el vial colector hasta llegar a actividades finales que pueden estar en el rango de 100 mCi a 3 Ci. Los generadores más utilizados son los de 250 o 500 mCi. El tiempo que toma eluir el generador es aproximadamente de un minuto y dependiendo del día de la semana que se realice la elución, se colectará mayor o menor actividad⁴⁷.

47: International Atomic Energy Agency. (2005). *Radiation protection in nuclear medicine*. Vienna: IAEA.

- Corrientemente se cree que al estar el generador blindado y además encontrarse en un bunker de plomo (de aproximadamente 5 cm de espesor), que convenientemente protege de la radiación directa al dosímetro de cuerpo entero, no hay que tomar otros recaudos en lo que se refiere a la radioprotección. Sin embargo, no está de más aclarar que el vial con actividad emite radiación en todas las direcciones (isotrópicamente) por lo que si el técnico permanece al lado del generador mientras la actividad se colecta, su dosímetro no va a registrar nada pero se estará irradiando innecesariamente otras partes del cuerpo (cerebro, cristalino, etc). Hagamos un cálculo grosero mínimo; supongamos que 10 veces al mes se eluyen 250 mCi; que cada una de esas veces el técnico se para al lado del bunker observando el vial durante un minuto. Considerando que entre el vial radiactivo y la cabeza del técnico hay 30 cm, la dosis mensual es de 0,13 mSv, un número para nada despreciable si lo comparamos por ejemplo con el límite de dosis para cristalino de 20 mSv. Es importante entonces permanecer lo más alejado posible del generador mientras se está eluyendo.
- Fraccionamiento: una vez que se tiene el vial multidosis con la actividad que se utilizará durante la jornada laboral, debe fraccionarse a partir del mismo la actividad que se inyectará a cada paciente.

De ese vial con 5 ml de pertecnectato de sodio se extraerán mediante el uso de jeringas entre 3 y 30 mCi dependiendo del tipo de estudio. Idealmente, dependiendo del radionucleido utilizado, este vial multidosis se encuentra en un contenedor blindado de 5 mm de plomo y todo el procedimiento se realiza detrás de una pantalla plomada para disminuir la dosis que recibiría en el cuerpo entero. Es muy interesante la discusión que se plantea siempre en los servicios de medicina nuclear, acerca de en qué mano hay que ponerse el dosímetro de extremidades, si en la mano hábil o en la no hábil. La respuesta no es concreta todavía, ya que justamente parece depender de la etapa en la que se prepara el radiofármaco⁴⁸.

48: International Atomic Energy Agency. (2005). *Radiation protection in nuclear medicine*. Vienna: IAEA.

- Transporte: esta etapa se refiere a la operación de llevar la jeringa con la actividad a inyectar desde el cuarto caliente hacia el inyectorio. Este procedimiento se realiza con la jeringa contenida en un portajeringas de 5 mm de plomo como mínimo.
Dependiendo de la configuración del Servicio puede realizarse a través de una ventana (usualmente denominada transfer) que comunica directamente el cuarto caliente con el inyectorio, o puede ser necesario tener que realizar una corta caminata con el portajeringas en la mano.
- Inyección: es el segundo momento (el primero es el fraccionamiento) en el que el técnico necesariamente tiene que manipular la jeringa sin blindaje. Si bien la duración del procedimiento generalmente es corta, las manos del operador se exponen a altas actividades.
- Posicionamiento del paciente en el equipo: una vez que se cumple el tiempo previsto para garantizar una buena biodistribución, el operador acompaña al paciente a la sala del equipo, de ser necesario lo ayuda a subirse a la camilla y a acostarlo para evitar mareos. En esta etapa es clave el estado físico del paciente. Una persona adulta en buen estado hará que este procedimiento sea más sencillo permitiéndole al técnico permanecer a una cierta distancia para disminuir la dosis de radiación que recibe. Los pacientes pediátricos, en cambio, o personas mayores con dificultad para moverse, alteran la duración de este procedimiento y generalmente necesitan que el personal a cargo esté en contacto directo con ellos, para calmar a los pacientes más pequeños y para sostener firmemente a los pacientes mayores con dificultad para moverse libremente. La duración de este procedimiento varía entre 1 y 3 minutos aproximadamente. La distancia entre el técnico y el paciente depende exclusivamente del estado físico de este último⁴⁹.

49: International Atomic Energy Agency. (2005). *Radiation protection in nuclear medicine*. Vienna: IAEA.

La dosis que recibe el técnico en cada etapa puede variar dependiendo de:

- 1) el radionucleído utilizado, es decir, radionucleidos con mayores emisiones energéticas, producen una dosis mayor
- 2) la vida media del radionucleído, mientras mayor es la vida media del mismo, más tiempo tarda en decaer su actividad y por lo tanto la tasa de dosis que emite, y finalmente
- 3) según el tipo de estudio realizado, estudios que requieran mayor trato con el paciente en los momentos inmediatamente posteriores a la inyección producirán una dosis mayor⁵⁰.

6.20. Centellograma óseo total.

El centellograma óseo corporal total, o de cuerpo entero, es el estudio de elección en numerosas patologías en que pueden estar involucrados los huesos. Se realiza para detectar tumores óseos, metástasis óseas causadas por otros tumores, infección ósea u otras enfermedades del metabolismo óseo, incluso de origen desconocido. A pesar de que se adquiere en modo planar y de ser el estudio más simple de Medicina Nuclear convencional, tiene una altísima sensibilidad. Esta es una de las razones, sino la principal, por las que sigue teniendo tanta vigencia. Un estudio catalogado como normal, descarta completamente patologías relacionadas con el sistema óseo.

Otro protocolo para adquirir un centellograma óseo se utiliza cuando el paciente puede ser:

portador de una patología ósea localizada, por ejemplo, una infección. Se realiza la toma de imágenes en tres fases: dinámico, estático y pool sanguíneo. El paciente es trasladado a la sala del equipo y en ese momento se le administra vía endovenosa el material radiactivo, e inmediatamente comienza la adquisición del estudio dinámico, posteriormente el estático y a los 5 minutos se toman las imágenes de pool sanguíneo. A las 2 hs post inyección se adquiere una imagen estática convencional del sitio en estudio.

50: International Atomic Energy Agency. (2005). *Radiation protection in nuclear medicine*. Vienna: IAEA.

TR-Fernández Camila Lujan.

El radiofármaco más utilizado para realizar los estudios óseos, es el metilendifosfonato (MDP) marcado con ^{99m}Tc , que se administra por vía endovenosa. La actividad necesaria para obtener una buena imagen es de 20 mCi. El tiempo de biodistribución para este radiofármaco es de al menos dos horas.

Entonces, para adquirir un estudio de este tipo el operador se expone principalmente en las siguientes situaciones:

1) Durante el fraccionamiento: con su mano no hábil manipulará el vial multidosis que se encuentra idealmente en un contenedor blindado. En general, como los volúmenes que se manipulan son pequeños y los viales pueden extraerse fácilmente del contenedor, el técnico toma el vial multidosis con la mano no hábil y con la otra extrae la actividad necesaria para el estudio. Para dar una idea de las dosis que se podrían recibir, se puede recurrir al Radionuclide Data Handbook (ver bibliografía) y utilizar los factores publicados para hacer algunas cuentas. Si suponemos que el vial multidosis de 250 mCi se tiene en la mano, sin blindaje, durante 30 segundos, la dosis por operación podría ser de 21 mSv. Ni siquiera vale la pena hacer la cuenta por la dosis anual si tenemos en cuenta que el límite de dosis anual para extremidades es de 500 mSv. Si a este valor lo multiplicamos por el factor de atenuación de 5 mm de plomo, la dosis por operación sería de 4 uSv y tendríamos una dosis anual de 4,87 mSv (suponiendo que se realiza la operación 5 veces por día, los 5 días a la semana y durante 50 semanas por año).

2) Durante el transporte: en esta etapa la jeringa se encuentra en un portajeringa de 6 o 9 mm de plomo, que permite transportar la actividad sin que el técnico se irradie innecesariamente. Si transportamos durante 10 segundos una jeringa con 20 mCi de ^{99m}Tc

sin usar ningún blindaje, se estima una dosis en mano de 2,6 Sv. Pero si usamos un portajeringa de 6 mm de plomo esa dosis se reduce a 21 uSv por cada operación.

Portajeringas utilizados habitualmente en Medicina Nuclear convencional

3) Durante la inyección: en este momento la jeringa se encuentra fuera del blindaje y es una de las instancias de mayor exposición para el técnico. La duración promedio de este procedimiento es de 30 segundos. Aquí podemos hacer un cálculo de la dosis que recibiría un técnico en cuerpo entero. Si suponemos que el dosímetro de cuerpo entero está a 50 cm de la aguja (porque por ejemplo el técnico se inclina para inyectar al paciente, o se sienta al lado de él), la dosis por paciente sería de 0,18 uSv. Si consideramos 5 pacientes por día, durante 5 días por semana y contemplamos 50 semanas al año, la dosis total anual en cuerpo entero sería de 225 mSv.

4) Tiempo de biodistribución: En este estudio, una vez que el paciente está inyectado puede permanecer en una sala de espera destinada a este fin o bien retirarse del Servicio y volver a las 2 horas. Este es el momento en el que el paciente está más radioactivo, por lo que es importante para el técnico no interactuar con él a menos que sea estrictamente necesario. Para hacer un cálculo de la dosis recibida por el técnico en esta etapa habría que tener datos de la atenuación del paciente para los fotones gamma de 140 keV. Podría suponerse que el paciente es 100 % agua y buscar los valores publicados. Otra opción más realista es medir la dosis que recibe el técnico debido a la radiación que emite el paciente con un dosímetro electrónico.

5) Posicionamiento del paciente y adquisición de la imagen: la duración promedio de este estudio es de 20 minutos. En este momento la actividad inyectada se redujo un 20%, respecto de la inicial (sin tener en cuenta el decaimiento biológico). Este es otro de los momentos de mayor exposición, y uno de los de mayor duración, ya que el técnico además de

50: International Atomic Energy Agency. (2005). *Radiation protection in nuclear medicine*. Vienna: IAEA.

TR-Fernández Camila Lujan.

posicionar al paciente, tiene que establecer la configuración de los cabezales de la cámara y verificar que todo esté en condiciones de iniciar correctamente. En los servicios que cuentan con una cámara gamma o SPECT dedicado (sin CT) en general la consola de adquisición, es decir la computadora desde la cual se inicia el estudio y en donde se ven las imágenes, se encuentra dentro de la sala del equipo, a una distancia de entre 1,5 y 2 metros. 6) Despedida del paciente: en este momento la actividad inicial se redujo aproximadamente un 25%. Es otro de los momentos en los que el técnico tiene contacto directo con el paciente inyectado⁵¹.

6.21 Instrumentos de medición (cámara ambiental).

Desde la perspectiva de la protección radiológica, los detectores de medición cumplen un rol clave en la aplicación de los principios establecidos por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, particularmente en relación con la optimización de la protección (principio ALARA) y la limitación de dosis. Estos instrumentos permiten detectar incrementos anómalos en los niveles de radiación y facilitan la adopción de medidas correctivas inmediatas.

Asimismo, organismos internacionales como la Organismo Internacional de Energía Atómica destacan la importancia del monitoreo radiológico mediante equipos calibrados y adecuados, con el fin de garantizar la confiabilidad de las mediciones y la protección de la salud humana y del ambiente⁵².

51: International Atomic Energy Agency. (2005). *Radiation protection in nuclear medicine*. Vienna: IAEA.

52: International Commission on Radiological Protection. (2007). *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (ICRP Publication 103). Elsevier.

En el servicio contamos con el **survey meter OD-02** de la marca PTW, un instrumento portátil diseñado para la detección y medición de radiación ionizante en el ambiente, siendo ampliamente utilizado en el ámbito de la protección radiológica. Estos dispositivos permiten evaluar niveles de radiación en tiempo real, contribuyendo a la seguridad del personal ocupacionalmente expuesto y del público.

Su funcionamiento se basa en la utilización de un detector externo o sonda, capaz de registrar la interacción de la radiación con el medio y transformarla en señales eléctricas que son procesadas y visualizadas en una pantalla. Este principio corresponde a los fundamentos generales de los sistemas de detección de radiación, donde se cuantifican magnitudes como la tasa de dosis o el equivalente de dosis ambiental $H^*(10)$, especialmente relevante en equipos diseñados para monitoreo ambiental.

El equipo es fabricado por STEP Sensortechnik und Elektronik y su diseño portátil permite su utilización en diversas áreas, tales como servicios de diagnóstico por imágenes, medicina nuclear, industria y monitoreo ambiental. Su uso resulta fundamental para el control operativo de la radiación y la verificación de condiciones seguras de trabajo.

Por otro lado, también se cuenta con el contador Geiger **500P+** de la marca GammaSys, un instrumento portátil ampliamente utilizado para la detección y medición de radiación ionizante, especialmente en aplicaciones de protección radiológica, monitoreo ambiental y control de contaminación. Este tipo de dispositivo permite identificar la presencia de radiación en tiempo real y estimar su intensidad, contribuyendo a la seguridad del personal ocupacionalmente expuesto y del público.

Su funcionamiento se basa en el uso de un tubo Geiger-Müller, un detector gaseoso que opera a alto voltaje. Cuando la radiación ionizante interactúa con el gas contenido en el tubo, produce ionizaciones que desencadenan una avalancha de cargas eléctricas, generando pulsos detectables. Estos pulsos son contabilizados por el sistema electrónico del equipo y pueden expresarse en unidades como cuentas por segundo (cps) o cuentas por minuto (cpm), lo que permite evaluar la intensidad de la radiación incidente. Este principio corresponde a los fundamentos clásicos de detección de radiación mediante detectores gaseosos⁵³.

53: Knoll, G. F. (2010). *Radiation detection and measurement* (4th ed.). John Wiley & Sons.

STEP Sensortechnik und Elektronik. (2016). *Technical description and operating instructions: Survey meter OD-02 / OD-02 Hx*.

7. Estrategia metodológica.

7.1. Lógica de la investigación.

La investigación del tipo mixto cuanti-cualitativa, cualitativa, debido a que el análisis bibliográfico, permitió comprender la importancia de la radioprotección en los servicios de medicina nuclear, y tener una mayor comprensión de dicha función, mientras que la lógica cuantitativa nos permite tomar datos numéricos que se correlacionan con el análisis bibliográfico.

7.2. Tipo de investigación.

La investigación fue exploratoria y descriptiva ya que permitió profundizar en un tema donde la información es escasa y donde no se conocen antecedentes de la investigación en la provincia de Rio Negro.

Con esta investigación se demuestra cuán importante es la radioprotección en los servicios de medicina nuclear.

7.3. Diseño.

El diseño de la investigación es de campo, ya que los datos obtenidos del servicio de Medicina Nuclear de Fundacion Medica de Rio Negro y Neuquen.

7.4. Dimensión temporal.

Es de corte longitudinal, ya que los datos fueron recolectados durante la elaboración del trabajo, en el periodo de Noviembre 2025 a Marzo 2026.

7.5. Unidad de observación.

La investigación se llevó a cabo en el servicio de medicina nuclear de la Fundación medica de Rio Negro y Neuquén de la ciudad de Cipolletti, sito en calle Hipólito Irigoyen 47.

7.6. Criterios de inclusión:

- Temática relacionada con la radioprotección en Medicina Nuclear, incluyendo: seguridad radiológica, uso de radiofármacos, blindaje, dosimetría ocupacional y del paciente, control de calidad y organización del servicio.
- Publicaciones que aborden normativas nacionales e internacionales aplicables a Medicina Nuclear (CNEA, ARPANSA, IAEA, etc.).
- Artículos publicados entre 2010 y 2025, para garantizar la actualidad de la evidencia.
- Estudios de tipo revisión, descriptivos, observacionales, experimentales, reportes técnicos y guías oficiales.
- Trabajos publicados en inglés o español.
- Fuentes provenientes de revistas científicas, organismos internacionales o documentos institucionales de reconocida validez.
- Estudios que describan el funcionamiento del servicio de Medicina Nuclear en relación con aspectos técnicos y de protección radiológica.

7.7. Criterios de exclusión:

- Estudios centrados en radioprotección aplicada a otras áreas (radioterapia, radiología convencional, hemodinamia, odontología o radiología

intervencionista), salvo que incluyan apartados comparativos útiles para el análisis.

- Publicaciones anteriores a 2010, por considerarse desactualizadas para la realidad tecnológica y normativa vigente.
- Artículos sin revisión por pares, blogs, contenido no académico o fuentes de baja confiabilidad.
- Documentos cuyo acceso fuese incompleto o sin disponibilidad del texto completo.
- Estudios en idiomas distintos al inglés o español.
- Trabajos exclusivamente orientados a aspectos clínicos de enfermedades o interpretación diagnóstica, sin relación con la seguridad radiológica.

8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para el desarrollo de este trabajo se llevaron a cabo entrevistas y una serie de mediciones en las tareas que realiza el personal ocupacional expuesto a la radiación en los servicios de medicina nuclear que son las siguientes: elución del material radioactivo, marcación, fraccionamiento, inyección y el paso de pacientes considerando como variables el tiempo, la distancia y el blindaje en cada una de las tareas mencionadas anteriormente.

Dichas mediciones se llevaron a cabo con una cámara ambiental empleada por los físicos médicos (**survey meter OD-02** de la marca PTW) para hacer la medición de radiación ambiental.



Las mediciones que realicé fueron de la tasa de dosis y el tiempo a la altura del dosímetro y a 1 m de distancia.

Se registraron valores de dosis máxima y dosis promedio, utilizándose para el análisis la dosis promedio, debido a que representa de manera más fiel la exposición habitual, evitando la sobreestimación asociada a picos aislados.

La dosis recibida se obtuvo a partir de la tasa de dosis medida, utilizando la siguiente relación:

$$D = D' \cdot t$$

Donde:

- D: dosis recibida (μSv)
- D': tasa de dosis ($\mu\text{Sv/h}$)
- t: tiempo de exposición (horas).

8.1. Entrevistas.

Las entrevistas fueron realizadas de forma virtual mediante un formulario de google con cuatro preguntas, en el cual participaron un médico, cinco físicos médicos y seis técnicos en medicina nuclear de distintas partes de América Latina, que llevan a cabo sus tareas en servicios de medicina nuclear.

Las preguntas realizadas fueron las siguientes:

- 1) ¿Cuál es su profesión?
- 2) ¿Qué importancia tiene para usted la protección radiológica en los servicios de Medicina Nuclear? Justifique su respuesta.
- 3) En cuanto al tiempo, distancia y blindaje ¿Cuál cree que es la variable más importante en los servicios de Medicina Nuclear? Justifique su respuesta.
- 4) ¿En qué momento de la labor en Medicina Nuclear cree que el trabajador está más expuesto a la radiación? Justifique su respuesta

9. Análisis e interpretación de los datos.

Los resultados obtenidos se fueron anotando en una planilla de Excel donde se demuestra las dosis obtenidas en cada etapa del flujo de trabajo registrado con la cámara ambiental (**survey meter OD-02** de la marca PTW).

Las etapas del flujo de trabajo contempladas en las mediciones realizadas fueron las siguientes:

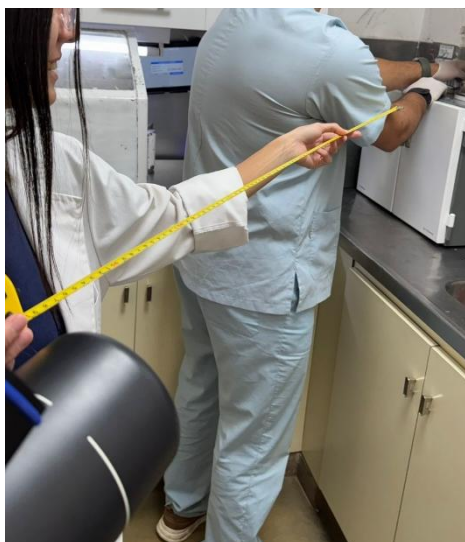
Elución midiando a la altura del dosímetro del Lic. En Producción de bio-imágenes.

ELUCIÓN				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
283	30	180	0:02:30	0,00086806
39	1,5	50	0:02:00	0,00003472
123	7	228	0:00:52	0,00007022
410	3,5	186	0:01:20	0,00005401
213,75	10,5		0:01:41	0,00025675



Elución midiendo a 1m del Lic. en producción de bio-imágenes.

ELUCIÓN				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
128	2	350	0:02:00	0,00004630
51	2	273	0:01:14	0,00002855
14,17	2	183	0:00:58	0,00002238
64,39	2		0:01:24	0,00003241



Marcación midiendo a la altura del dosímetro del Lic. en producción de bio-imágenes.

MARCACIÓN				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
835	2	157	0:02:00	0,00004630
53	5	12	0:02:00	0,00011574
118	50	134	0:01:30	0,00086806
335,3333333	19		0:01:50	0,00034336

Marcación midiendo a 1m del Lic.en producción de bio-imágenes

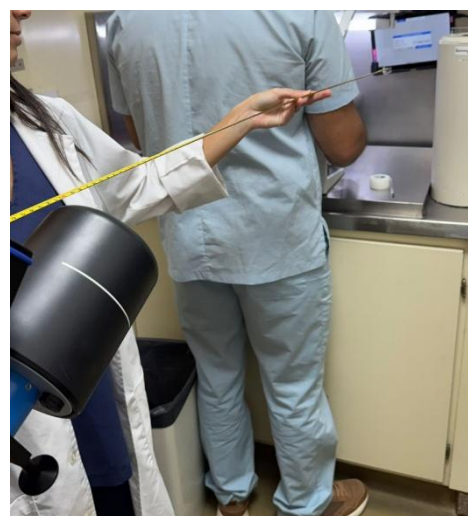
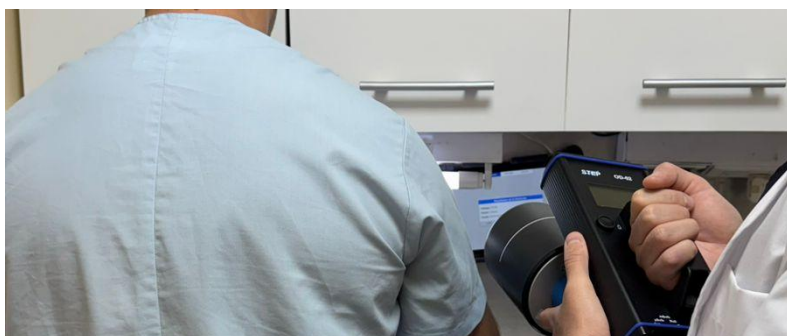
MARCACIÓN				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
41	8	280	0:02:06	0,00019444
22	9,5		0:01:18	0,00014294
28,3	3		0:00:43	0,00002488
30,43333333	6,833333333		0:01:22	0,00012076

Fraccionamiento del material radioactivo midiendo a la altura del dosímetro del lic.en producción de bio-imágenes.

FRACCIONAMIENTO				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
283	80	30	0:01:00	0,00092593
79	25	29	0:01:30	0,00043403
79	25	30	0:01:00	0,00028935
51,3	7	32	0:01:22	0,00011073
51,3	7	32	0:00:34	0,00004591
4,8	3,6	28	0:01:00	0,00004167
4,8	3,6	28	0:01:00	0,00004167
91,4	21,6		0:01:04	0,00026990

Fraccionamiento del material radioactivo midiendo a 1m del Lic.en producción de bio-imágenes.

FRACCIONAMIENTO				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
10,5	3,7	30	0:00:54	0,00003854
3,1	2,6	30	0:00:24	0,00001204
3,53	3,1	30	0:00:42	0,00002512
3,4	3	30	0:01:20	0,00004630
2,92	2,6	30	0:01:00	0,00003009
3,46	2,7	30	0:00:47	0,00002448
2,72	2,3	30	0:00:11	0,00000488
5,71	2,857142857		0:00:50	0,00003050



Inyección del material radioactivo midiendo a la altura del dosímetro del lic.en producción de bio-imágenes.

INYECCIÓN				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
84,5	25	28	0:01:00	0,00028935
119	90	29	0:00:30	0,00052083
114	70	30	0:00:45	0,00060764
98	40	32	0:00:32	0,00024691
148	25	31	0:00:50	0,00024113
205	20	32	0:01:00	0,00023148
71	24	27	0:00:32	0,00014815
119,9285714	42		0:00:44	0,00032650



Inyección del material radioactivo midiendo a 1m del Lic.en producción de bio-imágenes.

INYECCIÓN				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
21	15	30	0:00:33	0,00009549
13	10	30	0:00:27	0,00005208
7	6,3	30	0:00:32	0,00003889
11	9,8	30	0:00:22	0,00004159
6	4,5	30	0:00:22	0,00001910
6,3	6	30	0:00:32	0,00003704
15,6	8,4	30	0:00:34	0,00005509
13,66666667	8,571428571		0:00:29	0,00005701



TR-Fernández Camila Lujan.

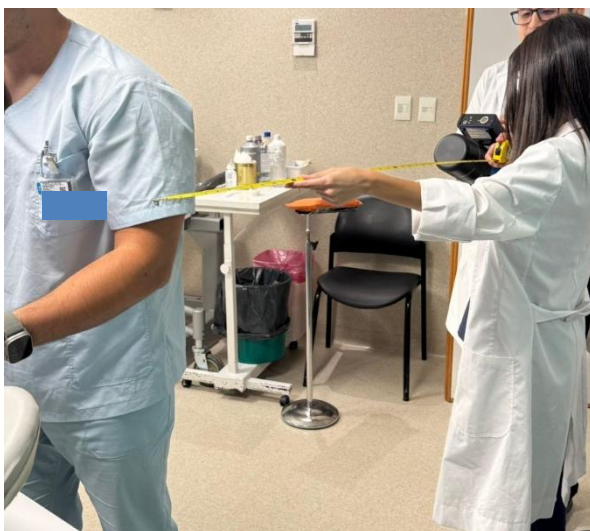
Atención de pacientes inyectados midiendo a la altura del dosímetro del Lic.en producción de bio-imágenes.

ATENCION DE PACIENTES INYECTADOS				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
11,53	7	28	0:01:00	0,00008102
14,45	3,4	30	0:03:30	0,00013773
12,38	3,6	30	0:00:30	0,00002083
12	7	30	0:01:00	0,00008102
9,33	3,98	30	0:01:30	0,00006910
16,71	9	27	0:02:57	0,00030729
10	4,47	27	0:02:01	0,00010433
12,34285714	5,492857143		0:01:47	0,00011448



Atención de pacientes inyectados midiendo a 1m del lic.en producción de bio-imágenes.

ATENCION DE PACIENTES INYECTADOS				
Dosis max [uSv/h]	Dosis Prom [uSv/h]	Actividad [mCi]	Tiempo [min]	DOSIS [uSv]
1,97	1,5	30	0:01:30	0,00002604
1,74	0,8	30	0:01:30	0,00001389
2,14	1,4	30	0:01:30	0,00002431
1,74	0,8	30	0:01:40	0,00001543
0,5	0,3	30	0:00:43	0,00000249
1,88	1,5	30	0:01:35	0,00002749
2,7	1,5	30	0:02:00	0,00003472
1,81	1,114285714		0:01:30	0,00002141



Con las mediciones obtenidas en cuanto al tiempo, distancia y blindaje se observó lo siguiente:

9.1. Tiempo.

Se observó que la dosis aumenta proporcionalmente con el tiempo de exposición. Procedimientos más prolongados generan un incremento significativo en la dosis acumulada, incluso cuando la tasa de dosis se mantiene constante. Esto confirma experimentalmente que reducir el tiempo de permanencia en zonas irradiadas disminuye la dosis recibida.

9.2. Distancia.

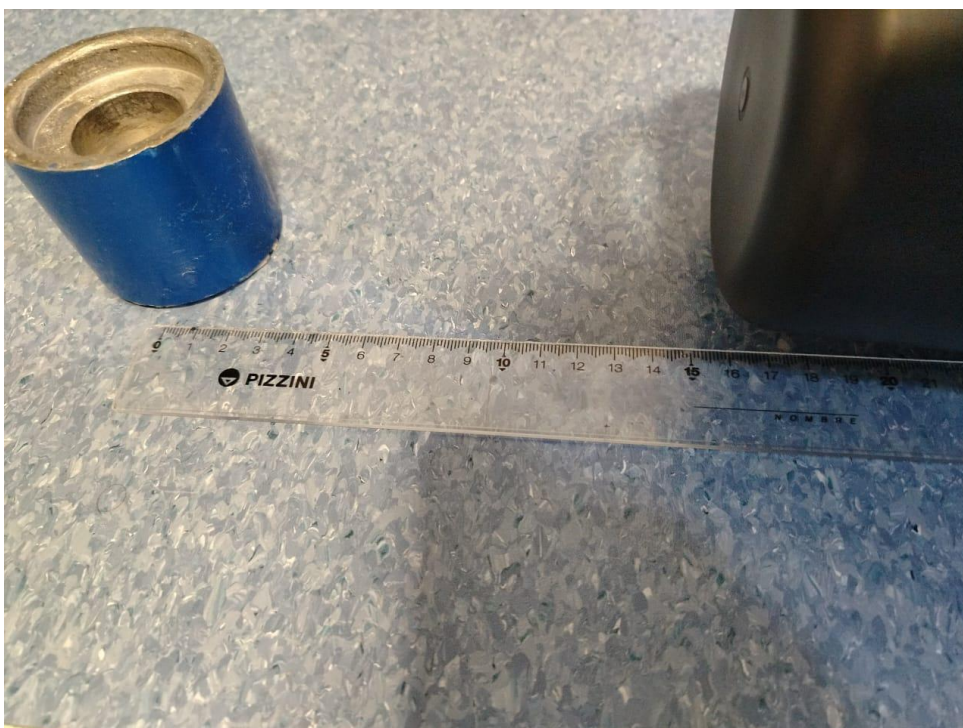
Las mediciones realizadas a distintas distancias mostraron una disminución significativa de la tasa de dosis al aumentar la distancia respecto de la fuente.

Los valores registrados a 1 metro fueron considerablemente menores en comparación con aquellos obtenidos a la altura del dosímetro, evidenciando el cumplimiento de la ley del inverso del cuadrado.

Esto demuestra que incrementar la distancia es una de las medidas más efectivas de protección radiológica.

9.3. Blindaje

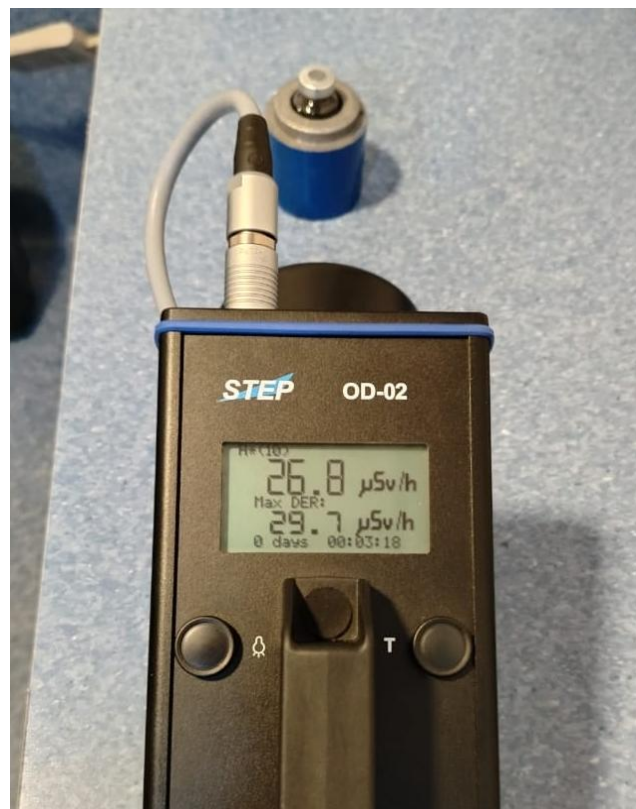
Para evaluar el efecto del blindaje, se realizó una prueba experimental con un frasco conteniendo solución de ^{99m}Tc de 30mCi a una distancia de 15 cm aproximadamente en tres condiciones:



1. Sin blindaje



2. Blindaje destapado.



3. Blindaje completamente cerrado.



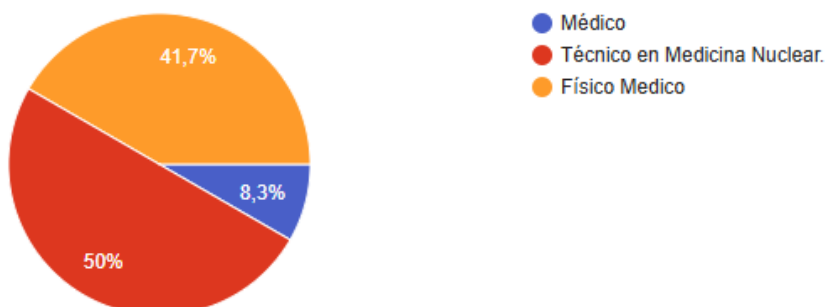
El ensayo con el frasco de 99mTc permitió observar:

- Mayor tasa de dosis sin blindaje
- Disminución parcial con blindaje abierto
- Reducción significativa con blindaje cerrado

Los resultados confirman que el uso adecuado del blindaje reduce considerablemente la exposición, siendo más efectivo cuando se encuentra completamente cerrado.

9.4. Entrevistas.

En cuanto a la pregunta 1; **¿Cuál es su profesión?** Podemos visualizar que el 50% de los que respondieron la encuesta son Técnicos en medicina nuclear, el 41,7% son físicos médicos y el 8,3% son médicos.



En cuanto a la pregunta 2; **¿Qué importancia tiene para usted la protección radiológica en los servicios de Medicina Nuclear? Justifique su respuesta.** El 100% de los profesionales que participaron señalaron que la protección radiológica en los servicios de medicina nuclear es muy importante. Y las justificaciones fueron las siguientes:

1. Debido al manejo de fuentes calientes que están emitiendo radiación de forma constante es muy importante tener los criterios básicos de protección radiológica para evitar la irradiación innecesaria en los POE.
2. La importancia erradica en qué debemos promover la menor cantidad de dosis de radiación en el personal ocupacionalmente expuesto, para ello se debe tener clara la importancia de los principios de la protección radiológica.
3. Respetando el principio de ALARA para minimizar exposición al paciente, al público y al personal.
4. Estamos expuestos de forma constante y sabemos que debemos optimizar nuestra dosimetría.
5. La protección radiológica es muy importante en todos los servicios donde se trabaja con radiación ionizante, pero en particular en medicina nuclear, se trabaja con

fuentes radiactivas abiertas. Las fuentes radiactivas abiertas pueden contaminar los espacios y así contaminar al paciente, trabajadores o público en general, aquí radica la importancia de la protección radiológica en esta área.

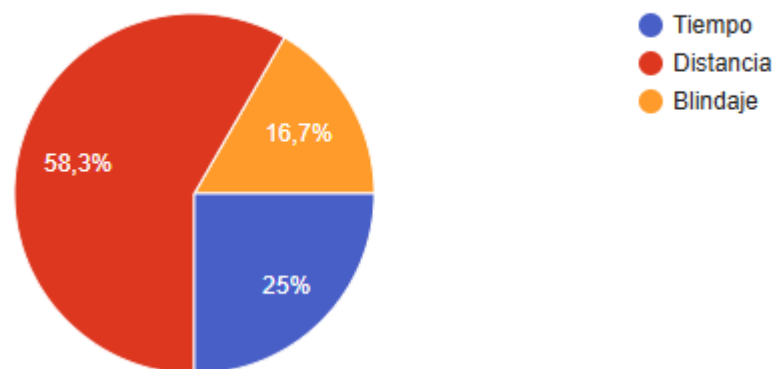
6. En el área de Medicina Nuclear se realiza el manejo de fuentes radiactivas abiertas y cerradas. La radiación se emite de forma isotrópica, y el personal ocupacionalmente expuesto, puede estar expuesto de manera continua durante el desarrollo de sus actividades.
7. Son muy importantes ya que nos permite reducir los riesgos por la exposición a la radiación ionizante tanto para el personal como para el público en general.
8. Es importante porque forma parte de la Seguridad Radiológica de la práctica médica tanto para el profesional como para el paciente.
9. Porque estamos en contacto todo el tiempo con la radioactividad a diferencia de otros servicios.
10. Es sumamente importante porque nos garantiza la seguridad tanto para el paciente, operador y público en general.
11. Es porque se manejan fuentes radioactivas abiertas que constantemente están irradiando, a diferencia de otros servicios donde la fuente de radiación se encuentra en funcionamiento solo durante unos milisegundos que es lo que dura el procedimiento.
12. Es muy importante, ya que permite el uso de radioisótopo, previniendo efectos nocivos para la salud a largo plazo.



En cuanto a la pregunta 3; **En cuanto al tiempo, distancia y blindaje ¿Cuál cree que es la variable más importante en los servicios de Medicina Nuclear? Justifique su respuesta.** El 58,3% de los profesionales señalaron que la variable más importante en los servicios de medicina nuclear es la distancia, el 25% señalaron que es el tiempo y el 16,7% señalaron que es el blindaje y las justificaciones fueron las siguientes:

1. Considero esta variable más importante debido a que se tiene el inverso cuadrado de la distancia por ende sabemos que disminuye significativamente estar alejado de un paciente que está emitiendo radiación.
2. En los tres aspectos, el que prioriza es el tiempo debido a que mientras el proceso este optimizado no deben tardar más tiempo del necesario para llevar a cabo la práctica. Por otro lado, la distancia está en mi segunda escala, pero no la considero como principal pues hay procedimientos que no se pueden evitar el acercamiento a la fuente. El blindaje es un asunto aún mucho más debatible dentro de la medicina nuclear.
3. Ya que disminuye la dosis con el cuadrado de la distancia.
4. Es la variable que puedo administrar mejor. La dosis acumulada es directamente proporcional al tiempo de exposición

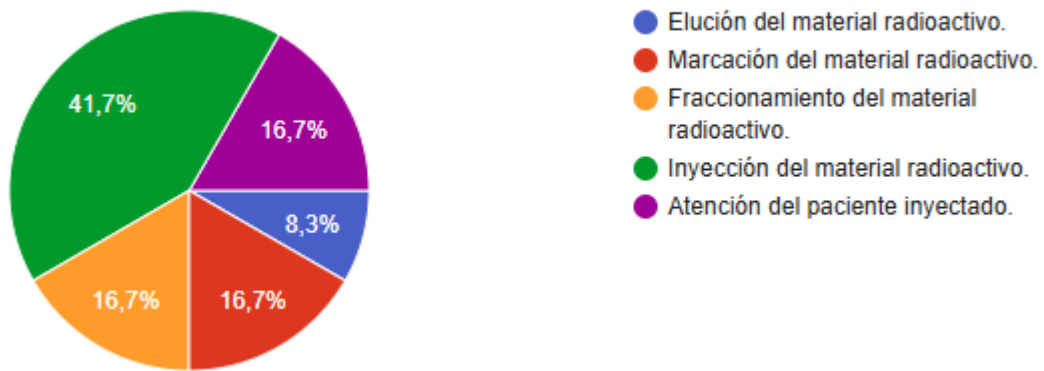
5. Las tres variables son muy importantes y hay que tenerlas presentes en cada acción a realizar, pero creo que la distancia es muy importante porque la radiación de la fuente disminuye fuertemente al alejarse de la misma.
6. Al blindar una fuente radiactiva, tiene menos exposición y por tanto recibe menos dosis el POE
7. Sabiendo que la dosis de exposición se reduce a una cuarta parte a la distancia, a 2 metros podemos disminuir nuestra dosis de exposición considerablemente a valores aceptables.
8. Distancia es el factor que podemos controlar. Invariablemente del tiempo que nos toque asistir al paciente. El blindaje es obligatorio sino no se habilita el servicio.
9. Justamente como la radiactividad no se puede apagar tener un buen blindaje en cada uno de nuestra labor ayuda mucho más.
10. ¡Los tres son los pilares fundamentales, pero la Distancia es la que al duplicarla nos garantiza la mitad de la exposición!!
11. Tiempo porque sin importar la tarea, siempre podés optimizarlo y estar poco tiempo expuesto. Algunas tareas sí o sí necesitan manipular la fuente y un contacto cercano, así que distancia y blindaje quedarían fuera de la ecuación.
12. El paciente es el principal emisor de radiación, lo que hace q la distancia reduzca la dosis que recibe el personal, no deja de ser importante el uso de blindaje y/ o el tiempo de exposición!



En cuanto a la última pregunta; **¿En qué momento de la labor en Medicina Nuclear cree que el trabajador está más expuesto a la radiación?** El 47,7% de los profesionales creen que en la labor donde el trabajador está más expuesto es en la inyección del material radioactivo, en tanto a la atención del paciente inyectado, marcación y fraccionamiento del material coinciden con un 16,7% y en la elución del material radioactivo el 8,3%, con las siguientes justificaciones:

1. Debido a que en un principio se trabaja con una fuente marcada para fraccionarla entre las dosis de los pacientes del día el POE se expone a una suma de dosis. Además, sumado a la experiencia que tiene el POE para poder realizar el fraccionamiento de una manera rápida que esto resulta en una optimización al estar menos expuesto a la radiación ionizante.
2. En la elución, marcación y fraccionamiento si se realiza dentro de un ambiente controlado y con los implementos de seguridad (campana de fraccionamiento, L plomada, comedores plomados, guantes) son procesos que de estar optimizados no tardan más tiempo del debido. Por otro lado, en la inyección a pesar de contar con porta jeringas plomadas es poco práctico para la manipulación, además de la probabilidad de no tomar la vía de administración a la primera oportunidad lo cual aumenta el tiempo de exposición.

3. Porque es el momento de mayor exposición sin blindaje de por medio.
4. Es cuando manejamos la mayor cantidad de actividad
5. Creo que el trabajador suele estar más expuesto durante la atención del paciente inyectado: a partir de la inyección, el paciente pasa a ser la principal fuente de radiación, y el personal típicamente debe acercarse, permanecer cerca y realizar tareas clínicas inmediatas, lo que incrementa la exposición por tiempo de interacción. Aunque pasos como elución, marcación o fraccionamiento también implican manipulación de material radiactivo y, por ende, exposición al mismo
6. El licenciado en radiología puede estar más expuesto al inyectar el material radiactivo, debido al tiempo en se tarda al administrar o inyectar material radiactivo, aquí no contamos con ninguna barrera que atenué la radiación o inyectores automáticos.
7. Por qué el paciente es la fuente emisora de radiación, lo cual la actividad inyectada se distribuye por todo el cuerpo del paciente, lo que aumenta el volumen de la fuente emisora y tiene más alcance a órganos radiosensibles de los profesionales.
8. Porque es mayor la concentración del material radioactivo.
9. Es en dónde estamos más expuestos sin protección y con más probabilidades de contaminación.
10. ¡Es el momento en el cual estamos más cerca de la fuente, por más que tengamos elementos de blindaje es donde tenemos que estar más cerca de la actividad!!
11. Porque implica manipular la fuente radioactiva de forma estrecha y no siempre se puede fraccionar una cantidad determinada a la primera, por lo que lleva tiempo.
12. Durante la inyección el trabajador está en contacto directo y a muy corta distancia del paciente y del radiofármaco, sin posibilidad de utilizar un blindaje completo.



10. Conclusión.

El presente trabajo permitió analizar, a partir de mediciones reales en un servicio de Medicina Nuclear, el impacto de los principios fundamentales de la protección radiológica — tiempo, distancia y blindaje— sobre la dosis recibida por el personal ocupacionalmente expuesto durante las distintas etapas del flujo de trabajo.

Los resultados obtenidos evidencian que la exposición no es uniforme, sino que varía significativamente según la tarea realizada. En particular, se identificó que las etapas de **marcación e inyección** constituyen los momentos de mayor riesgo radiológico, debido a la manipulación directa de material radiactivo, la corta distancia a la fuente y la utilización parcial o transitoria del blindaje. Por el contrario, actividades como la atención de pacientes inyectados presentan niveles de exposición considerablemente menores, principalmente por la mayor distancia y menor interacción directa con la fuente.

Se debe considerar que durante las tareas de marcación o fraccionamiento del radiofármaco, el personal suele operar detrás de una pantalla blindada, lo que contribuye a reducir significativamente la exposición a la radiación. En cambio, en etapas como la inyección o el traslado del paciente no se dispone de este tipo de blindaje, por lo que la exposición del cuerpo entero —incluyendo órganos radiosensibles— resulta mayor, a pesar de que la tasa de dosis en estas situaciones sea inferior.

Asimismo, el análisis comparativo de las mediciones a diferentes distancias demostró una disminución significativa de la tasa de dosis al aumentar la separación respecto a la fuente, confirmando experimentalmente la ley del inverso del cuadrado. Del mismo modo, las pruebas realizadas con distintas condiciones de blindaje evidenciaron que su uso adecuado reduce de manera sustancial la exposición, siendo más efectivo cuando se encuentra completamente cerrado. En cuanto al tiempo, se comprobó que la dosis recibida es

directamente proporcional a la duración de la exposición, por lo que la optimización de los tiempos de trabajo resulta fundamental.

En conjunto, estos hallazgos confirman que la aplicación adecuada y sistemática de los principios de protección radiológica permite reducir significativamente la dosis ocupacional, incluso en entornos donde el uso de material radiactivo es cotidiano. En este sentido, pequeñas modificaciones en la práctica diaria, como minimizar los tiempos de permanencia, aumentar la distancia siempre que sea posible y utilizar correctamente los elementos de blindaje, pueden generar un impacto relevante en la seguridad del personal.

Finalmente, el trabajo no solo aporta evidencia cuantitativa sobre la importancia de estos principios, sino que también refuerza la necesidad de promover una cultura de radioprotección en los servicios de Medicina Nuclear. La concientización del personal y la incorporación de hábitos seguros en la rutina laboral constituyen herramientas clave para garantizar condiciones de trabajo seguras y alineadas con el principio ALARA, contribuyendo así a la protección de la salud del equipo y a la calidad del servicio brindado.

11. Referencias.

Comisión Internacional de Protección Radiológica. (2007). *Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica* (Publicación ICRP 103). Elsevier.

Comisión Internacional de Protección Radiológica. (2007b). *Protección radiológica en medicina* (Publicación ICRP 105). Elsevier.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (1997). *Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación* (Colección Seguridad N.º 115). OIEA.

Sociedad Española de Física Médica. (s.f.). *Protección radiológica hospitalaria* (Vol. 7). SEFM.

12. FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

PARA LA PUBLICACIÓN DE OBRAS EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL DE LA UFLO UNIVERSIDAD

RIUFLO - *Repositorio Institucional de la Universidad de Flores* - fue creado para gestionar y mantener una plataforma digital de acceso libre y abierto para la difusión de la creación intelectual de la Universidad de Flores.

El autor cede a la Universidad de forma gratuita pero no exclusiva, los derechos de reproducción, de distribución y de comunicación pública de su obra, a través del **RIUFLO**. Por lo tanto, la Universidad adopta para los ítems allí depositados la Licencia Creative Commons atribución - no comercial 4-0 internacional que siempre requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría. De solicitar otras limitaciones, el autor podrá detallarlas en forma expresa o a través de la elección de otro modelo de Licencia.

Autorizo la publicación de la obra en el RIUFLO (seleccionar una opción):

A partir del día de la fecha de aprobación del TFI [autorizo]

A partir de otra fecha, especificar: ... / ... / ...

Lugar y fecha: Cipolletti (R.N), 29 de abril de 2026.

Firma y aclaración del autor: Fernández Camila.