

RADIOLOGÍA, FÍSICA MÉDICA Y RADIOPROTECCIÓN: INTERACCIONES FUNDAMENTALES EN EL DEPARTAMENTO DE IMAGENOLÓGÍA

Verónica Gigirey^(1,2), Martín Rodríguez Parodi^{2,3)}, Enrique Cuña^(1,2), Diego González⁽¹⁾,
Margarita García Fontes⁽²⁾, Liliana Servente^(1,2).

DOI: 10.64177/revimagenol202528121

RESUMEN

La radiología diagnóstica depende del uso controlado de radiaciones ionizantes, por ende implica riesgos que deben ser gestionados adecuadamente mediante principios de radioprotección. La física médica desempeña un papel esencial en la implementación de medidas de seguridad y control de calidad, en estrecha colaboración con el licenciado en imagenología, el médico imagenólogo y el encargado de protección radiológica.

Este artículo explora conceptos clave como la radioprotección y el principio ALARA, el rol profesional de los físicos médicos y licenciados en imagenología, así como los requisitos técnicos para el cálculo de blindajes y mediciones de dosis en instalaciones nuevas o existentes.

Palabras clave: Radioprotección, Física médica, Imagenología, ALARA, Blindaje, Dosis, Control de calidad.

ABSTRACT

Diagnostic radiology depends on the controlled use of ionizing radiation; therefore, it involves risks that must be properly managed using radiation protection principles. Medical physics plays an essential role in the implementation of safety measures and quality control, in close collaboration with the radiologist, the radiologist, and the radiation protection officer.

This article explores key concepts such as radiation protection and the ALARA principle, the professional role of medical physicists and radiologists, as well as the technical requirements for shielding calculations and dose measurements in new or existing facilities.

Keywords: D Radiation protection, Medical physics, Radiology, ALARA, Shielding, Dose, Quality control.

1. Radioprotección: Definición, importancia y principios

1.1 Definición

La radioprotección es el conjunto de medidas, normas y procedimientos destinados a proteger a las personas y al medio ambiente frente a los efectos nocivos de la radiación ionizante, sin limitar indebidamente los beneficios que su uso proporciona en el diagnóstico y tratamiento médico.

El uso de radiaciones ionizantes implica un riesgo potencial de daño biológico, como efectos determinísticos (quemaduras, necrosis) o estocásticos (cáncer, mutaciones genéticas). La radioprotección busca minimizar estos riesgos en pacientes y profesionales ocupacionalmente expuestos y asegurar los límites de dosis para el público general, para realizar prácticas médicas seguras y éticas.

En la práctica radiológica esto implica determinar los valores fundamentales y procesales relacionados para su aplicación a la protección radiológica, abordando todas las situaciones de exposición, ya sean existentes, planificadas o de emergencia [1].

1.2 Objetivos

- Revisión del tema. Definición de radioprotección y de los principios fundamentales.
- Identificar los roles, funciones y responsabilidades del equipo de Licenciados, físicos y médicos Imagenólogos en un Departamento de Imagenología.
- Blindaje, estándares para medición de dosis y equipamiento.
- Normas UY 100 y UY 108.

1.3 Principios fundamentales de la radioprotección

Los principios fundamentales de la protección radiológica como lo define la comisión internacional de protección radiológica (ICRP) [2] son los siguientes:

- **Justificación:** Ningún procedimiento debe realizarse si no se espera un beneficio superior al riesgo asociado.
- **Optimización (ALARA):** Las exposiciones deben mantenerse tan bajas como razonablemente sea posible, considerando factores técnicos, económicos y sociales.

1) Unidad Académica Imagenología, Hospital de Clínicas, UDELAR.

2) Centro Uruguayo de Imagenología Molecular (CUDIM).

3) Departamento de Imagenología del Hospital Maciel.

Autor de correspondencia
Martín Rodríguez Parodi
martinrodriguezparodi@gmail.com

Recibido: 19/08/2025
Aceptado: 5/12/2025

- **Limitación de dosis:** Las dosis recibidas por los trabajadores y el público no deben superar los límites legales establecidos por los organismos reguladores. En Uruguay, los límites de dosis de radiación para trabajadores expuestos se establecen en la Norma UY 100 [3]. La norma define límite de dosis efectiva anual de 20 mSv, promediada en un período de 5 años (con un máximo de 50 mSv año). Además, se establecen límites específicos para cristalino (20 mSv promediados en 5 años consecutivos y no más de 50 mSv en un año cualquiera) y piel (500 mSv año).

2. Principio ALARA: Criterios prácticos

ALARA (“As Low As Reasonably Achievable”) es un principio rector que implica reducir la exposición a radiaciones al mínimo posible [4]. La definición de la dosis mínima necesaria dependerá de la situación clínica pero no deberá comprometer la relación señal ruido ya que una excesiva reducción de la dosis podrá determinar un estudio subóptimo y la repetición de la exposición. Su aplicación práctica incluye:

- Optimización de parámetros técnicos (kVp, mAs, tiempo de exposición, pitch, etc.).
- Uso de blindajes físicos (paredes, puertas plomadas, delantales, etc.).
- Diseño adecuado de salas para limitar la exposición al público y al personal.
- Protocolos clínicos personalizados según el paciente y el tipo de estudio.
- Niveles de referencia de dosis (NRD) (en inglés “dose reference levels” DRL): Puede ser de utilidad conocer los NRD para los procedimientos radiológicos más frecuentes: RxTx, TC de cráneo, determinados procedimientos intervencionistas y otros, con el fin de ayudar a optimizar la protección radiológica. Si las dosis a los pacientes son sistemáticamente más altas que los NRD, se debe investigar si hay problemas en el procedimiento y se pueden implementar medidas correctoras. Si por el contrario las dosis son sistemáticamente más bajas que los NRD, podría ser que se estén utilizando dosis demasiado bajas, lo que podría comprometer la calidad de la imagen.
- Los NRD permiten la comparación de dosis entre diferentes centros y equipos, fomentando la mejora continua en la práctica radiológica.

3. Rol del físico médico en el departamento de imagenología

El **Licenciado en física médica** es un profesional con formación en física aplicada a la medicina, para el cual

existen recomendaciones de formación y diversos campos de actuación [5]–[8]. Sus funciones en imagenología incluyen:

1. Implementación y supervisión de los programas de control de calidad. En colaboración con el resto de los profesionales, esto incluye entre otros: Verificación periódica del rendimiento de equipos (rayos X, angiógrafo, mamógrafo, TC, RM, PET, ecógrafos, monitores de grado médico etc.).

2. Optimización de protocolos: Colaboran con médicos y licenciados en imagenología para optimizar protocolos y asegurar que se utilicen las técnicas más seguras y eficaces para cada caso.

3. Cálculo y verificación de dosis: Supervisión de la exposición del paciente, personal y público a la radiación asegurando que las dosis sean las adecuadas para la obtención de imágenes diagnósticas relevantes y minimizando la exposición innecesaria. Asesoramiento en casos de exposición accidental o programada en pacientes embarazadas.

4. Diseño y evaluación de blindajes: Cálculo del grosor y tipo de material requerido para proteger zonas adyacentes.

5. Relevamiento anual del estado de los equipos de protección personal (chalecos, lentes, etc)

6. Asesoría en adquisición de equipos: Evaluación técnica previa a la compra de nuevos sistemas de imagen.

7. Licenciamiento de la instalación y el equipamiento para prácticas como tomografía computada (TC), radiología intervencionista, medicina nuclear, etc.

8. Formación y entrenamiento: Capacitación del personal en temas de seguridad radiológica, uso adecuado de los equipos y prácticas óptimas en imagenología. Fomentar la cultura de seguridad radiológica.

9. Investigación y desarrollo: Participan en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de imagenología, así como en la evaluación de su seguridad y eficacia.

El físico médico puede realizar el cálculo de los niveles de referencia de dosis (NRD) para las técnicas imagenológicas de mayor demanda, como por ejemplo la radiografía de tórax o la tomografía computada de cráneo. Esto permite estandarizar y establecer niveles para los parámetros de dosis de las distintas técnicas empleadas en el servicio.

4. Responsable de Protección Radiológica

Es una persona técnicamente competente designada por el Director del Servicio para supervisar las actividades relacionadas con la vigilancia radiológica del Servicio. Colabora con el físico médico en los controles de calidad y en el control dosimétrico del personal.

Puede tener la formación de un Oficial de Protección Radiológica (OPR). Según los lineamientos del OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) es un profesional técnicamente competente en protección radiológica, encargado de elaborar procedimientos y supervisar el cumplimiento de las actividades relacionadas con la vigilancia radiológica. Su función principal es garantizar que las dosis de radiación a las que están expuestos trabajadores y público sean lo más bajas posible dentro de los límites establecidos. Como veremos más adelante sus funciones se solapan con las del físico médico por lo que en los Servicios donde no se disponga de un físico el OPR puede asumir alguna de sus funciones.

Son funciones principales de un **Oficial de Protección Radiológica**:

1. Colaborar con los otros profesionales del Servicio en la elaboración de procedimientos. Supervisar el funcionamiento de los equipos que emiten radiación y verificar estándares de seguridad.
2. Diseñar y establecer procedimientos de protección radiológica para minimizar la exposición a la radiación.
3. Vigilancia radiológica: Supervisar y controlar la exposición a la radiación de los trabajadores y del público, utilizando equipos de medición y registros de dosis.
4. Evaluación de riesgos: Identifica y evalúa los riesgos radiológicos asociados a las diferentes actividades y equipos que utilizan radiación ionizante.
5. Implementación de medidas de seguridad: Asegura que se tomen las medidas necesarias para proteger a las personas, como el uso de blindajes, equipos de protección individual y sistemas de control de acceso.
6. Capacitación: Educa y capacita al personal sobre los riesgos de la radiación y las medidas de protección correspondientes.

5. Rol del licenciado en imagenología

El **licenciado en imagenología** es el profesional responsable de operar los equipos de diagnóstico por imágenes y aplicar los procedimientos indicados por el médico radiólogo, es el profesional que podría implementar medidas de protección adicionales para la seguridad radiológica de los pacientes [9].

Es responsable de seleccionar y aplicar protocolos adecuados de adquisición de imágenes, ajustando los parámetros técnicos, teniendo en cuenta entre otras cosas las características del paciente y la región anatómica del estudio. Entre sus funciones:

- Realización técnica del estudio: Aplicación de protocolos de imagen según la patología y el tipo de paciente. Colabora en la preparación del paciente y explica el procedimiento a realizar.
- Bioseguridad y radioprotección: Es el responsable en el área, de la bioseguridad y radioprotección del personal y del paciente. Tiene el rol de fomentar la cultura de la seguridad radiológica.
- Colaboración en control de calidad: Realización de pruebas de rutina, monitoreo de parámetros. Se asegura del correcto funcionamiento y mantenimiento de los equipos de imagenología.
- Comunicación con el equipo médico y no médico: Transmisión de observaciones técnicas relevantes al médico radiólogo [10].
- Registro y documentación: Trazabilidad de exposiciones y mantenimiento de registros digitales.

La comunicación con el paciente es fundamental en el desempeño del licenciado, debe proporcionar al paciente una explicación clara y comprensible sobre el procedimiento.

El acompañamiento durante el procedimiento, la correcta gestión de su seguridad y una atención empática son aspectos fundamentales del desempeño del licenciado.

6. Rol del médico imagenólogo

- Es responsable de la protección radiológica del paciente al prescribir el estudio apropiado, garantizar que se sigan los protocolos de optimización y minimizar las dosis de radiación.
- Es el responsable de analizar las imágenes correctamente para diagnosticar y realizar el control evolutivo de la patología, participando en la toma de decisiones que incluye la elección de la mejor técnica imagenológica para el seguimiento del paciente.
- Su rol incluye supervisar el cumplimiento de las normativas de seguridad, evaluar los equipos y tomar decisiones clínicas informadas que justifiquen el uso de radiación para el diagnóstico y tratamiento.

7. Requisitos para el cálculo de blindaje en salas nuevas y existentes

7.1 Para salas nuevas

- Tipo de equipo: Rayos X convencionales, mamografía, TC, etc.
- Frecuencia de uso: Número estimado de exposiciones diarias/semanales.
- Parámetros técnicos: Voltaje (kVp), corriente (mA), tiempo de exposición.
- Distribución del espacio: Ubicación de paredes, salas adyacentes y áreas de acceso.
- Ocupación de áreas colindantes: Clasificación como zonas controladas o no controladas.

7.2 Para salas existentes

- Evaluación de documentos previos: Planos, especificaciones de materiales de construcción, informes técnicos, registros de dosis. En caso de no contar con estos documentos se podrá hacer una estimación del blindaje equivalente mediante medidas dosimétricas, o en su defecto, tomar muestras de los materiales de construcción (por ejemplo con mecha tipo copa) sin comprometer la estructura. De esta manera, se podrá determinar si el blindaje presente es suficiente o se debe reforzar.
- Mediciones reales de fuga y dispersión: Uso de detectores para verificar el blindaje actual. Sobre todo prestando atención a las grietas, juntas, aberturas, etc.
- Revisión de cumplimiento normativo: Verificación de que la sala cumpla con los límites de dosis establecidos para trabajadores y público, según el tipo de ambiente, y factor de ocupación.

8. Equipamiento necesario para el cálculo de dosis y controles de calidad

Para llevar a cabo el control de calidad y las mediciones de dosis en imagenología, se requiere el siguiente equipamiento especializado:

- Dosímetros termoluminiscentes: para monitoreo individual y ambiental de la radiación. TLD se realiza por medio de cristales termoluminiscentes, OSL que utiliza luminiscencia ópticamente estimulada.
- Cámaras de ionización: Para medir la exposición en aire o en condiciones estándar, verificación de la calidad y dosis de radiación emitida por los equipos.

- Fantomas (phantoms): Simuladores anatómicos que permiten evaluar calidad de imagen, contraste, resolución, dosis (en conjunto con las cámaras de ionización), entre otros.

- Sondas de medición de dosis de radiación: Instrumentos portátiles para evaluar radiación en áreas de trabajo, como por ejemplo contadores Geiger-Müller, monitores de ambiente, etc.

- Software de análisis dosimétrico: Para cálculo y modelado de distribución de dosis.

- Equipos para pruebas específicas: Como multímetros con capacidad de medir distintos parámetros como ser kVp, capa hemirreductora, tiempo de exposición, etc.

9. Estándares para la medición de dosis / Dosimetría personal en Uruguay

Los valores de estándares medidos para reportar la dosimetría personal según la norma vigente en Uruguay [3] son los siguientes:

- Hp(3): se refiere a la dosis equivalente personal en el cristalino a una profundidad de 3 mm, medida con un dosímetro específico para esta área. Se utiliza para monitorear la exposición ocupacional a la radiación en el cristalino, especialmente en áreas como radiología intervencionista y cardiología, donde se ha observado un aumento en la incidencia de cataratas en trabajadores.

- Hp(7): también llamada dosis equivalente personal superficial o dosis cutánea, es una medida de la radiación absorbida por la piel, específicamente a una profundidad de 0.07 mm. Se utiliza para evaluar la exposición a la radiación en la piel de los trabajadores, especialmente en situaciones donde la radiación es de baja penetración, como la radiación alfa y beta.

- Hp(10): es la dosis equivalente personal profunda, que representa la dosis equivalente recibida a una profundidad de 10 mm en el cuerpo, y es una medida importante en protección radiológica. Se utiliza para evaluar la dosis efectiva y es una magnitud operacional para el monitoreo individual.

10. NORMAS UY 100 y UY 108

Estas normas establecen los requisitos de Seguridad Radiológica para la práctica de radiodiagnóstico médico y odontológico.

Establece las zonas de seguridad radiológica, donde hace referencia a “zonas” en un sentido de protección radiológica y establece un Programa de Vigilancia Radiológica de las Zonas de Trabajo.

Zonas controladas y vigiladas: El programa de vigilancia contempla la medición de la tasa de dosis en las zonas controladas, que son aquellas donde se realiza el trabajo con radiación, y en las zonas de vigilancia.

11. Delimitación de las zonas dentro de las instalaciones radiactivas.

Las instalaciones de los Departamentos de Radiología se delimitan en zonas en función del riesgo de exposición a la radiación, que son vigilada, controlada y zona de permanencia limitada, reglamentada y de permanencia limitada, reglamentada y prohibida.

- Zona vigilada: Las dosis no superan los límites de dosis anuales. El acceso es restringido a personal au-

torizado. Se realiza dosimetría de área para estimar la dosis que se pueda recibir.

- Zona controlada: Existe la posibilidad de recibir dosis superiores a los límites anuales de dosis. Es necesario seguir procedimientos de trabajo para restringir la exposición y evitar la contaminación.

- Zona de permanencia limitada: Riesgo de dosis moderado y señalización con un trébol amarillo. Existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites establecidos si se permanece en ella durante largos periodos como en una jornada laboral completa.

- Zona de permanencia reglamentada: Riesgo de dosis más alto y señalización naranja. El riesgo de recibir una dosis superior a los límites es en cortos periodos de tiempo

- Zona de acceso prohibido: Riesgo de dosis elevado. Existe el riesgo de recibir dosis superiores a los límites máximos permitidos en una sola exposición.

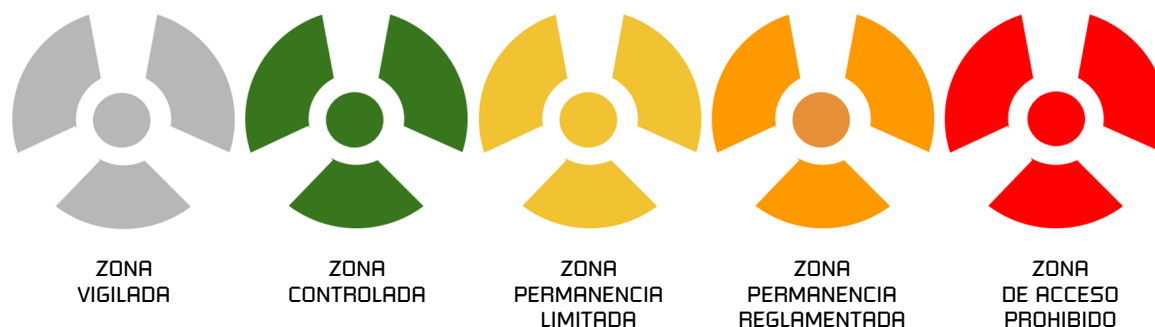


Figura 1
Delimitación de las zonas dentro de las instalaciones radiactivas.

CONCLUSIÓN

La interacción entre radiología, física médica y radioprotección es clave para un diagnóstico seguro y efectivo. La implementación de principios como ALARA y la presencia activa del físico médico junto al licenciado y al médico imagenólogo, garantizan que las tecnologías de imagen se utilicen en beneficio del paciente, minimizando los riesgos asociados. El diseño adecuado de instalaciones y la disponibilidad de equipamiento técnico especializado son indispensables para cumplir con los estándares actuales de calidad y seguridad en imagenología.

BIBLIOGRAFÍA

1. "Ethics in radiological protection for medical diagnosis and treatment" Ann. ICRP, May 2024, 53(3):3-149 doi: 10.1177/01466453231220518.
2. The International Commission on Radiation Protection, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiation Protection," ICRP 103. 2007: Elsevier. 37 (2-4)
3. Uruguay: Ministerio de Industria, Energía y Minería; Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección Norma UY 100, Reglamento Básico de Protección y Seguridad Radiológica, Revisión IX. Montevideo, MIEM, 2022, 72 p.
4. International Commission on Radiological Protection. Optimisation of Radiological Protection in Digital Radiology Techniques for Medical Imaging, Ann. ICRP, Jul. 2023, 52(3);11–145 .Doi;10.1177/01466453231210646.
5. M. Mahesh, "Essential Role of a Medical Physicist in the Radiology Department," RadioGraphics, Oct. 2018, 38 (6): 1665–1671, doi: 10.1148/rg.2018180111.
6. Jimenez, P. Andreo, P El físico médico: criterios y recomendaciones para su formación académica, entrenamiento clínico y certificación en América Latina. Viena, 2010., Informes sobre salud humana del OIEA,(1);91 p.
7. R. Van Loon, "The role and contribution of a medical physicist in a radiology department," J. Belge Radiol., Feb 1997, 80(1);12–16,.
8. A. Bradarić and I. Vrdoljak, "Medical Physics in Radiological Practice," J. Appl. Heal. Sci, Dec 2024, 10(2):161–168. doi: 10.24141/1/10/2/8.
9. M. Fiebich, "Praktischer Strahlenschutz am Patienten in der radiologischen Diagnostik," Radiologe, Jul 2017, 57(7):534–540, doi: 10.1007/s00117-017-0258-3
10. S. Korsah, J. L. Ago, E. M. Domi, G. Acquah, J. J. Neequaye, and O. A. Otsiwah, "Attitude of medical radiation professionals towards radiation protection principles and practices and strategies for improvement: A scoping review," J. Med. Imaging Radiat. Sci Jul 2025., 56(4);101893, , doi: 10.1016/j.jmir.2025.101893.

