



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ
MÁSTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES



VALORACIÓN Y ENCUESTA DE LAS MEDIDAS DE
PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE LOS
TRABAJADORES DE UN SERVICIO DE
RADIOLOGÍA

Autor: M^a del Carmen Ojados Hernández
Tutor: Temístocles Quintanilla Icardo
2022



INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MÁSTER DEL MÁSTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

D. TEMÍSTOCLES QUINTANILLA ICARDO, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado **'VALORACIÓN Y ENCUESTA DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE LOS TRABAJADORES DE UN SERVICIO DE RADIOLOGÍA'** y realizado por la estudiante **M^a del Carmen Ojados Hernández**

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 09/06/2022

Fdo.:

Tutor/a TFM



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ
MÁSTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES

VALORACIÓN Y ENCUESTA DE LAS MEDIDAS DE
PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE LOS
TRABAJADORES DE UN SERVICIO DE
RADIOLOGÍA

Autor: M^a del Carmen Ojados Hernández
Tutor: Temístocles Quintanilla Icardo
2022

“Nada en este mundo debe ser temido...solo entendido.
Ahora es el momento de comprender más,
para que podamos temer menos”

Marie Curie



Dedicado al Dr. Vicente García Medina †

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: Los trabajadores de un Servicio de Radiodiagnóstico están expuestos a los riesgos propios del sector sanitario y, adicionalmente, a una condición particular que es la exposición a la radiación ionizante. Ha quedado ampliamente demostrado en numerosos estudios a lo largo de la historia reciente los efectos nocivos de la radiación ionizante utilizada en el diagnóstico médico, no solo para el paciente sino también para el trabajador expuesto. La peligrosidad de las radiaciones ionizantes hace preciso establecer una serie de medidas para garantizar la protección de los trabajadores expuestos a la radiación ionizante. Con este trabajo se pretende analizar las medidas de protección radiológica de los trabajadores expuestos y evaluar los conocimientos de los trabajadores de un Servicio de Radiodiagnóstico sobre las medidas de protección frente a la radiación ionizante.

MATERIAL Y MÉTODOS: Se realiza un análisis descriptivo de los riesgos derivados de la exposición a la radiación ionizante de los trabajadores del Servicio de Radiodiagnóstico y de las medidas de protección radiológica oportunas. Finalmente, se realiza una encuesta con la finalidad de evaluar los conocimientos de los trabajadores sobre las medidas de protección radiológica y la adherencia a las mismas.

RESULTADOS: El 61% de los trabajadores usa de forma regularmente el dosímetro. El 100% de los trabajadores hace uso adecuado del delantal plomado. El 75% de los trabajadores ha recibido algún tipo de formación en radioprotección. El grado de conocimiento teórico sobre las medidas de protección radiológica son variables, observándose diferencias estadísticamente significativas según la categoría profesional ($p < 0,05$).

CONCLUSIONES: Las medidas de protección radiológica por parte del personal sanitario del Servicio se cumplen de manera adecuada. La mayor parte los trabajadores del Servicio han recibido algún tipo de formación en protección radiológica. El nivel global de conocimientos en materia de protección radiológica en el Servicio no es óptimo, se observan diferencias estadísticamente significativas en función de la categoría profesional, pudiendo ser beneficioso el desarrollo de un plan de mejora mediante un programa de formación.

PALABRAS CLAVE: Protección radiológica, radiación ionizante, riesgos radiación, radiología, salud laboral.

ABSTRACT

BACKGROUND: The workers of a Radiodiagnosis Service are exposed to the risks of the health sector and, additionally, to a particular condition that is exposure to ionizing radiation. The harmful effects of ionizing radiation used in medical diagnosis have been amply demonstrated in numerous studies throughout recent history, not only for the patient but also for the exposed worker. The danger of ionizing radiation makes it necessary to establish a series of measures to guarantee the protection of workers exposed to ionizing radiation. The aim of this work is to analyze the radiological protection measures of exposed workers and to evaluate the knowledge of the workers of a Radiodiagnosis Service about the protection measures against ionizing radiation.

MATERIAL AND METHODS: A descriptive analysis of the risks derived from the exposure to ionizing radiation of the workers of the Radiodiagnosis Service and of the appropriate radiological protection measures is carried out. Finally, a survey is carried out in order to assess the workers' knowledge of radiological protection measures and adherence to them.

RESULTS: 61% of workers regularly use the dosimeter. 100% of the workers make adequate use of the lead apron. 75% of the workers have received some type of training in radiation protection. The degree of theoretical knowledge about radiological protection measures is variable, with statistically significant differences being observed according to the professional category ($p < 0.05$).

CONCLUSIONS: The radiological protection measures by the health personnel of the Service are adequately fulfilled. Most of the Service's workers have received some type of training in radiological protection. The overall level of knowledge regarding radiological protection in the Service is not optimal, statistically significant differences are observed depending on the professional category, and the development of an improvement plan through a training program may be beneficial.

Keywords: Radiological protection, ionizing radiation, radiation risks, radiology, occupational health.

ÍNDICE

RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. MARCO TEÓRICO	9
1.1.1. Origen de los rayos X.....	9
1.1.2. Concepto de radiación.....	10
1.1.3. Generalidades de los rayos X	12
1.2. RADIOBIOLOGÍA	13
1.2.1. Efectos biológicos de la radiación ionizante.....	14
1.2.2. Radiosensibilidad.....	16
1.2.3. Efectos radioinducidos: estocásticos y deterministas.....	16
1.2.3.1. Efectos deterministas.....	16
1.2.3.1.1 Reacciones tisulares en diferentes órganos y sistemas.....	17
1.2.3.2. Efectos estocásticos	19
1.3. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	21
1.3.1. Evolución histórica de la protección radiológica.....	21
1.3.2. Conceptos.....	22
1.3.3. Limitación de dosis	23
1.3.4. Trabajador expuesto: concepto y clasificación.....	24
1.3.5. Zonas de trabajo: clasificación y señalización	26
1.3.6. Medidas de protección radiológica.....	29
1.3.6.1 Blindajes estructurales: Diseño de las instalaciones.....	29
1.3.6.2 Blindajes no estructurales.....	31
1.3.7. Vigilancia y control.....	34
1.3.7.1. Vigilancia del entorno de trabajo.....	34
1.3.7.2. Vigilancia de las exposiciones individuales.....	34
1.3.7.3 Vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos.....	36
1.4. MARCO LEGAL	36
2. OBJETIVOS	39
3. MATERIAL Y MÉTODOS	40
3.1 Muestra.....	40
3.2 Diseño del estudio.....	40
4. RESULTADOS	42
4.1 Categoría profesional.....	42
4.2 Valoración del uso de las medidas de radioprotección.....	42

4.2.1	Uso del dosímetro personal.....	42
4.2.2	Uso del delantal plomado.....	44
4.3	Valoración de la formación específica en radioprotección.....	45
4.3.1	Formación previa en radioprotección.....	46
4.3.2	Grado de formación.....	46
4.4	Valoración del grado de conocimiento en radioprotección.....	47
4.4.1	Conocimiento de la categoría de exposición.....	47
4.4.2	Conocimiento de la señalización de las áreas de exposición.....	48
4.4.2.1	Símbolo de área vigilada.....	50
4.4.2.2	Significado de las puntas radiales del símbolo del trébol...	50
4.4.3	Conocimiento del límite de dosis efectiva anual.....	52
4.4.4	Conocimiento del concepto ALARA.....	53
4.4.5	Conocimiento acerca de la atenuación de los rayos X.....	54
4.4.6	Creencia de la existencia de radiación en el aire.....	56
5.	DISCUSIÓN.....	58
6.	CONCLUSIONES.....	61
7.	BIBLIOGRAFIA.....	62
	ANEXOS.....	63



1. INTRODUCCIÓN

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1 Origen de los Rayos X

La tarde del 8 de noviembre de 1895 el alemán Wilhelm Conrad Roentgen descubrió los Rayos X mientras experimentaba con una radiación desconocida en un laboratorio de física de la Universidad de Würzburg. Debido a la naturaleza desconocida de esta radiación la denominó rayos "X". Röntgen realizó la primera imagen radiográfica de la historia, la mano derecha de su esposa. El descubrimiento de los Rayos X supuso un cambio en el paradigma de la medicina, y le valió la concesión del primer premio Nobel de Física en 1901¹.



Figura 1. a) W. Röntgen, b) primera radiografía humana. The discovery of x-rays and the creation of a new medical profession.

Thomas Edison fabricó el primer fluoroscopio, convirtiéndolo en un pionero de la fluoroscopia y transformó el descubrimiento de W. Röntgen en un éxito comercial. Edison instaló en Nueva York un espectáculo llamado "La Exposición de Luz Eléctrica" donde los visitantes podían ver su mano mediante Rayos X. El principal asistente del espectáculo, Clarence Dally, falleció a consecuencias de las quemaduras que le produjo la exposición a la radiación, considerándose la primera víctima mortal por Rayos X en EEUU².

Desde los inicios hasta la actualidad han sido indiscutibles los beneficios de su uso en la medicina. El descubrimiento de la radiación ionizante supuso un cambio en el paradigma de la medicina. Desde su origen hasta el día de hoy, son muchos los pasos que se han dado y los logros y avances conseguidos, y hoy día no se entiende la medicina sin de una forma y otra recurrir a un estudio de imagen. No obstante, de igual modo, son también conocidos los efectos indeseables derivados del uso de la radiación ionizante, lo que supone un riesgo, no solo en la salud de los pacientes, sino también en la salud de los trabajadores expuestos.

1.1.2 Concepto de radiación

La energía es la capacidad de realizar un trabajo y se clasifica en diferentes tipos de energía en función de sus características. La energía electromagnética suele denominarse radiación electromagnética o simplemente radiación. La radiación no es más que transferencia de energía.

Por lo tanto, la radiación electromagnética supone la transmisión de energía desde un sistema que la produce hasta un sistema que la recibe.

Los rayos X son una parte del espectro de radiación electromagnética en cual estamos inmersos de manera cotidiana.

Espectro de radiación electromagnética:

La vida en nuestro planeta se ha desarrollado bajo un campo radiación natural a la cual la población está expuesta a de manera natural, incluye la radiación cósmica, radiación terrestre o sustancias radiactivas naturales que incorporamos a nuestro cuerpo a partir de alimentos. Además la población también está expuesta a una fuente de radiación artificial creada por el ser humano.

La radiación electromagnética se propaga en forma de fotones de distintas energías, que viajan a la velocidad de la luz, que abarcan desde las ondas de radio hasta los rayos X y gamma. Los rayos X se sitúan en el rango más energético de este espectro, con longitudes de onda menores de 10 nanómetro.

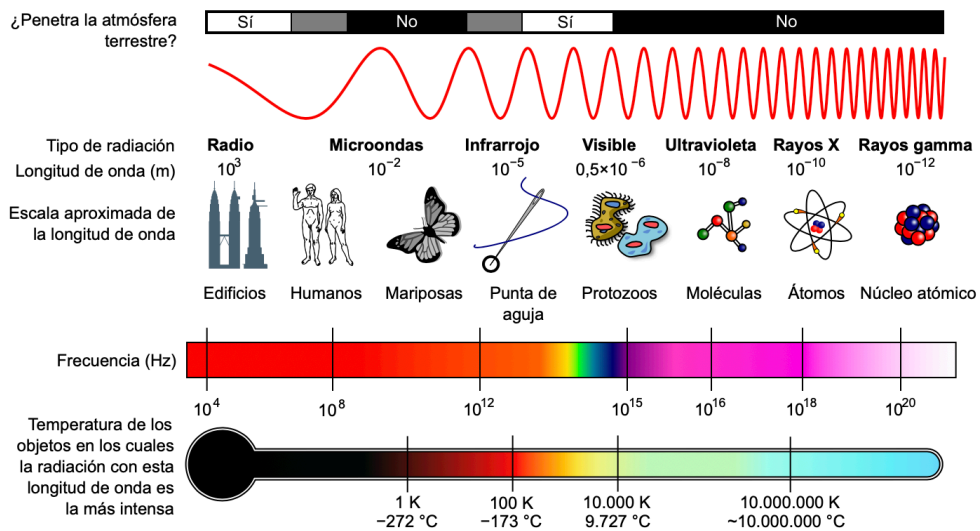


Figura 2. Espectro de radiación electromagnética. Wikipedia

Radiación ionizante:

La radiación ionizante es capaz de modificar los átomos de la materia al interactuar con ella.

Se define la ionización como la capacidad que posee la radiación de extraer un electrón orbital del átomo con el que interacciona, creándose un par iónico entre el electrón libre (ion negativo) y el resto del átomo (ion positivo) (figura 3). Cualquier tipo de energía que posea esta capacidad se incluye dentro de la radiación ionizante, como lo son los rayos X, los rayos gamma y la luz ultravioleta.

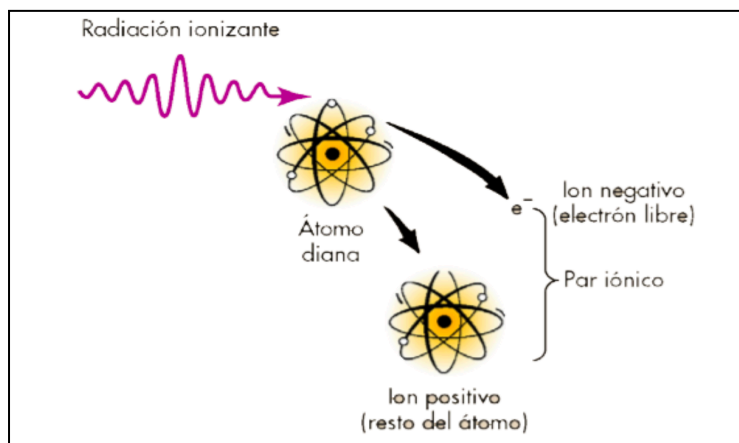


Figura 3. Ionización del átomo. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.

1.1.3 Generalidades de los rayos X

La elevada energía y pequeña longitud de onda han conferido a los rayos X unas propiedades que han hecho posible la obtención de imágenes del interior del cuerpo humano. Dichas propiedades son:

1. **Poder de penetración:** son capaces de penetrar y atravesar estructuras
2. **Efecto fotográfico:** capacidad de modificar las emulsiones que cubren las placas radiográficas.
3. **Efecto luminiscente:** ciertas superficies emiten luz al incidir los rayos X sobre ellas (fluorescencia) y otras son capaces de seguir emitiendo luz tras haber cesado la radiación (fosforescencia).
4. **Efecto biológico:** propiedad de inducir cambio en los tejidos de los organismos vivos.
5. **Efecto ionizante:** capacidad de ionizar la materia al interactuar con ella.

Formas de interacción con la materia:

Los rayos X pueden interactuar de cinco formas con la materia: dispersión coherente, el efecto Compton, el efecto fotoeléctrico, la producción de pares y la fotodesintegración fotónica. El efecto Compton y el efecto fotoeléctrico son de especial importancia en la radiología diagnóstica.

1. **Efecto Compton:** este es el efecto entre los rayos X y los electrones en la capa más externa, lo que provoca que los átomos se ionicen, cambiando la dirección de los rayos X y reduciendo su energía. La longitud de onda (λ) del haz disperso será más larga que la longitud de onda del haz incidente, por lo que tendrá menos energía, pero tanto los electrones secundarios, es decir, los electrones Compton, como el haz de rayos X disperso tendrán suficiente energía para generar nueva ionización en la sustancia (figura 4). Los rayos X dispersos producidos por el efecto Compton pueden, por tanto, suponer un grave riesgo para el personal, especialmente durante la fluoroscopia, ya que pueden dispersarse grandes cantidades de radiación del entorno del paciente durante la aplicación del método. Cuando un rayo X incide sobre una sustancia, algunos de los fotones interactúan por absorción y dispersión, mientras que el resto la corta en línea recta sin interactuar con ella e incidiendo en la membrana o detector, permitiendo la formación de una imagen diagnóstica.

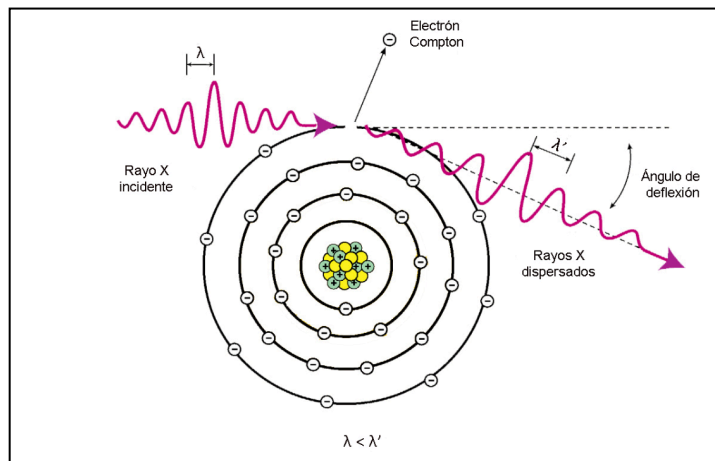


Figura 4. Efecto Compton. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.

2. Efecto fotoeléctrico: ocurre cuando los rayos X interactúan con las capas más internas y es diferente al efecto Compton, el efecto fotoeléctrico no disipa la energía sino que la absorbe por completo. Un electrón ionizado de las capas profundas se llama fotoelectrón y será expulsado del átomo (figura 5).

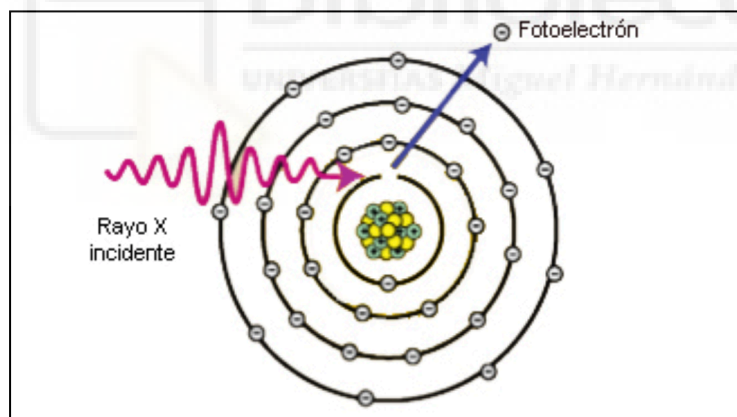


Figura 5. Efecto fotoeléctrico. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.

Cuando los rayos X inciden en la materia una parte de los fotones interactúa por absorción y dispersión y el resto lo atraviesa en línea recta sin interactuar con ella y al incidir sobre la película o detectores es lo que permite la creación de la imagen diagnóstica.

1.2 RADIOBIOLOGÍA

1.2.1 Efectos biológicos de la radiación ionizante

Los efectos de las radiaciones ionizantes sobre un organismo vivo son el resultado de una compleja serie de fenómenos que origina reacciones químicas y, finalmente, efectos biológicos, en general lesivos.

Gran parte de los conocimientos sobre los efectos perjudiciales de la radiación ionizante proviene de los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, así como otras poblaciones expuestas a altas dosis de radiación como lo son los trabajadores y pacientes.

La interacción de la radiación ionizante con la materia viva cumple una serie de leyes generales:

- **Es probabilística:** no hay certeza de si se va a producir la interacción y dónde se va a producir.
- **Es no selectiva:** puede afectar a cualquier estructura celular, si bien o todas las estructuras poseen la misma importancia para la célula si resultan dañadas.
- **El daño es inespecífico:** las alteraciones producidas no son, en general, diferentes de aquellas producidas por otros agentes físicos, químicos o biológicos.

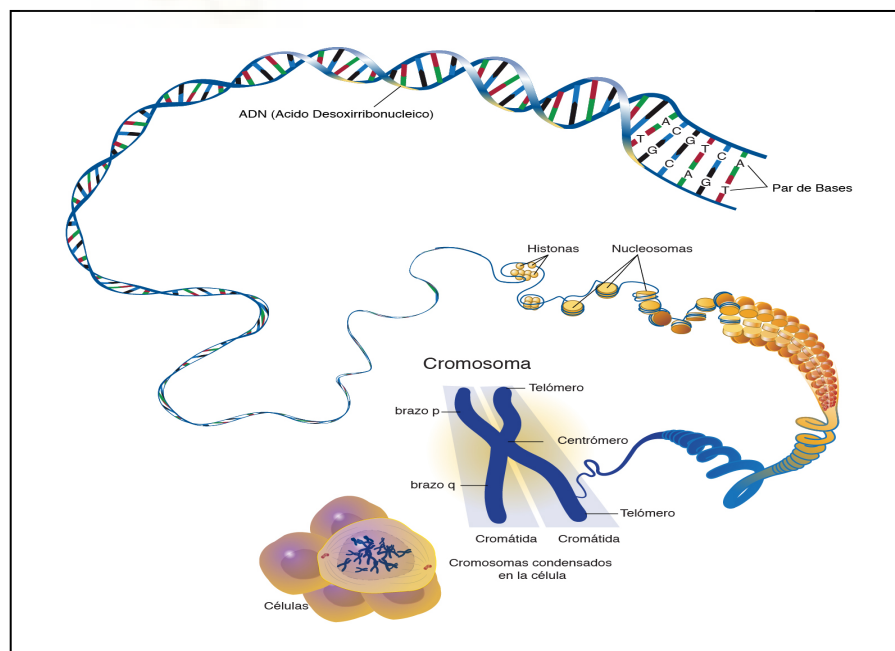


Figura 6: Molécula de ADN: composición, estructura, localización celular. National Human Genome Research Institute.

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes derivan del daño que producen en las células, principalmente en el ADN. En el ADN se halla toda la información para el funcionamiento celular y además esa información se hereda a las células hijas (figura 6). Las lesiones sobre el ADN pueden ser muy diversas (roturas sencillas, deleciones, recombinaciones..)

La radiación ionizante puede lesionar el ADN mediante dos mecanismos (figura 7):

- Acción directa: la radiación repercute directamente sobre la molécula de ADN
- Acción indirecta: la energía que se absorbe por el agua o medio acuoso y por acción indirecta, a través de radicales libres lesiona la molécula de ADN.

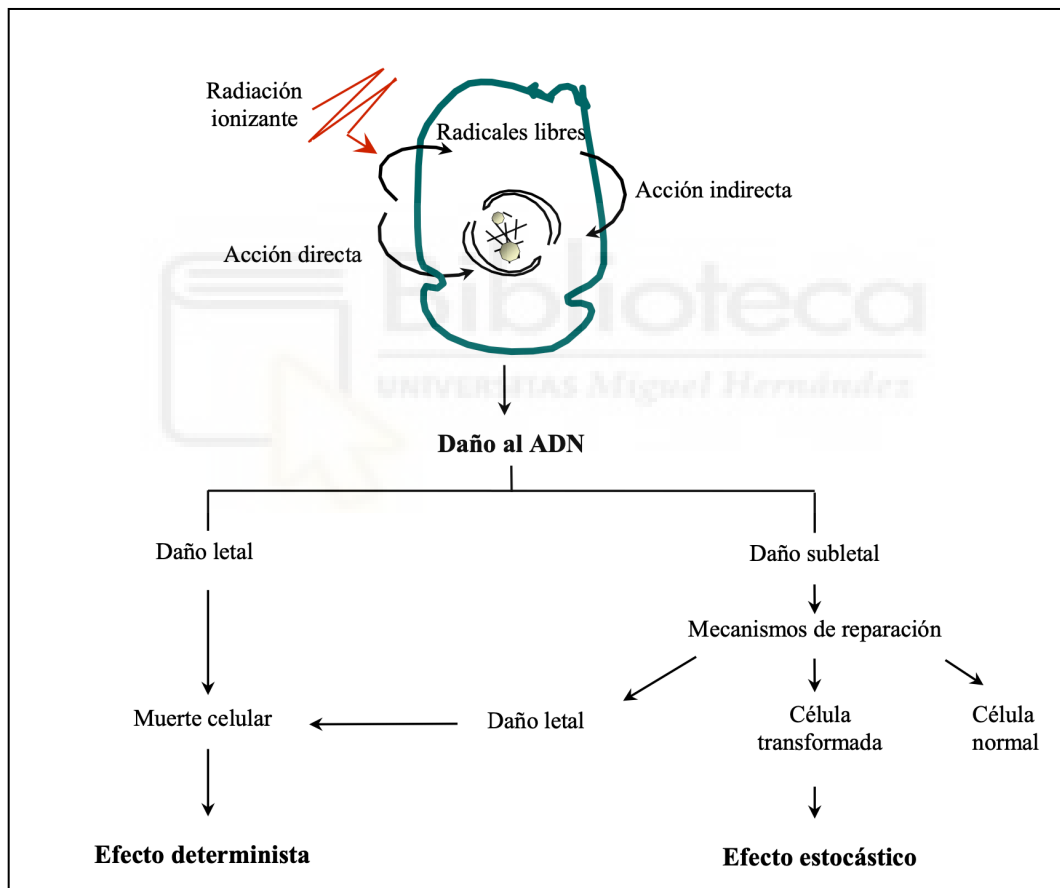


Figura 7. Mecanismo lesional directo e indirecto del ADN. Consejo Seguridad Nacional. 2009.

Las lesiones en el ADN pueden repararse a través de fenómenos complejos, pero si una mutación no es reparada de forma adecuada el resultado podrá ser la muerte celular o que

la célula sea viable con cambios en el genoma que pueda desencadenar en un proceso neoplásico.

1.2.2 Radiosensibilidad

No todos los tejidos tienen la misma sensibilidad a la radiación ionizante, la radiosensibilidad se define como la mayor o menor grado de afectación de los tejidos. Es conocido que la radiación ionizante afecta en mayor grado a aquellas células que son activamente mitóticas, que son indiferenciadas y que tienen un largo futuro de divisiones. Es así, por ejemplo que el sistema hematopoyético, el eritroblasto que es la célula más indiferenciada de la médula ósea es muy radiosensible. Los distintos órganos y sistemas que componen nuestro organismo tienen una radiosensibilidad distinta.

1.2.3 Efectos radioinducidos: estocásticos y deterministas

Los efectos biológicos de la radiación ionizante, según sea su origen la muerte celular o una transformación compatible con su viabilidad se clasifican en dos tipos de efectos: estocásticos y deterministas.

1.2.3.1 Efectos deterministas

Secuelas a consecuencia de la muerte masiva de células, que precisan para producirse una dosis alta para su manifestación (excediendo un umbral de dosis). Estos efectos son proporcionales a la dosis recibida. La dosis umbral y la proporcionalidad son características de este tipo de reacciones.

La aparición de estos efectos puede ser inmediata o tras un periodo de latencia, los síntomas aparecerán cuando se extinga la función del órgano, y ésta vendrá determinada por la capacidad cinética de la población celular a la que afecte. De esta manera, algunos tejidos tienen la capacidad de responder a la muerte celular con una proliferación masiva de todas sus células.

Para describir los efectos deterministas se utiliza la magnitud dosimétrica dosis absorbida (D), que es la energía absorbida por unidad de masa. Su unidad es el julio por kilogramo, que recibe el de Gray (Gy).

En la siguiente tabla se exponen los principales efectos deterministas producidos en los diferentes órganos y tejidos tras la exposición a radiación de baja transferencia lineal de

energía, indicando así mismo las principales causas, dosis umbral y las dosis que dan lugar a efectos graves.

1.2.3.1.1 Reacciones tisulares en diferentes órganos y sistemas

Sistema hematológico

Los componentes del sistema hematopoyético son la médula ósea, la sangre periférica y el tejido linfático. El principal efecto descrito después de la irradiación es reducir el número de células sanguíneas maduras en la sangre periférica mediante la reducción de todos los precursores celulares.

Los eritroblastos son las células más sensibles a la radiación del sistema hematopoyético, seguidas de los mielocitos, siendo los más resistentes los megacariocitos. Esto explica por qué, a principios de 1900, se introdujo el análisis de sangre periférica de rutina como un medio para controlar la exposición de los trabajadores expuestos, lo que ahora es impensable y se considera una medida de protección radiológica.

Piel

Entre las reacciones precoces de la piel es el eritema, que aparece tras administrar una dosis superior a 5Gy y es semejante a una quemadura seguido de descamación. Los efectos cutáneos tras altas dosis son la descamación seca (10Gy) y descamación húmeda (15Gy).

Los efectos a largo plazo revisten más gravedad que las precoces por el carácter irreversible de los mismos. Entre las primeras enfermedades destaca el desarrollo tardío del cáncer, y entre las enfermedades benignas la epidermalitis por radiación, quedándose al piel adelgazada, con tendencia a la ulceración. La dosis requerida para su aparición es muy alta, y este efecto no se observa con las dosis de radiación actuales.

Gónadas

Las gónadas son considerados órganos diana por su gran radiosensibilidad, de gran importancia por su implicación en la reproducción humana. En ambos sexos, la célula madre es la fase con mayor susceptibilidad a la irradiación, aunque la radiosensibilidad de las células gonadales va a ser diferente en función del sexo, y esto se explica por la distinta progresión que sufren desde las células madre hasta convertirse en células reproductoras maduras.

– **Ovarios:** la radiosensibilidad del ovario varía en función de la edad. En la vida fetal y la infancia temprana, las gónadas femeninas son especialmente sensibles, en concreto, la irradiación en la infancia se asocia a atrofia secundaria a la muerte de las células germinales. Tras la pubertad la irradiación causa supresión y retraso de la menstruación, para alcanzar un mínimo de radiosensibilidad entre la segunda y tercera décadas de la vida. La irradiación del ovario produce castración. La dosis que la provoca varía con la edad: 12-15 Gy para una mujer de 20 años. 5-7 Gy para una mujer de 45 años. Una dosis de pocos Gy produce esterilidad temporal y un desequilibrio hormonal transitorio.

– **Testículos:** Dosis muy bajas de radiación pueden afectar la espermatogénesis. Una dosis de 80mGy puede disminuir temporalmente el número espermatozoides. Una dosis de 200mGy puede producir una esterilidad durante 1 o 2 años, una dosis de 6 Gy puede producir esterilidad permanente.

La gametogénesis masculina presenta la cualidad de ser un sistema con la capacidad de renovarse, de tal manera que se recomienda retraer la procreación 6 meses para evitar el riesgo de aparición de mutaciones genéticas.

Ojo (cristalino):

El cristalino es un tejido muy radiosensible, y varía en función de la edad, de forma que a mayor edad, mayor radiosensibilidad y más corto es el periodo de latencia. Las cataratas inducidas por radiación se producen de forma característica en el polo posterior del cristalino y se han considerado tradicionalmente un efecto determinista, pues presentan una relación dosis-respuesta no lineal para la que se establece una dosis umbral.

La dosis de radiación administrada a los pacientes durante las exploraciones con fluoroscopia o tomografía computarizada no suele alcanzar la dosis umbral para el cristalino. Otro aspecto diferente es la exposición continua y prolongada en el tiempo a la que está sometido el profesional.

Tiroides:

La cinética de proliferación celular del tiroides es baja. Sin embargo, si tras la irradiación las células dañadas son eliminadas se produce un estímulo de crecimiento que provoca una atrofia acompañada de fallo funcional incluso años después de la irradiación.

Mucosa intestinal:

La organización de las células de la mucosa intestinal es muy similar a la de la piel, con la salvedad de que el recambio celular es más rápido por lo que los efectos precoces

aparecen más rápidamente. Los efectos descritos son la mucositis, formación de membranas, ulceración o fibrosis. Los efectos tardíos pueden aparecer hasta 2 años más tarde.

Efectos deterministas sobre el feto:

Los efectos de la exposición van a depender del tiempo de exposición y de la dosis recibida. La reproducción celular rápida característica del embrión tras la fase de implantación lo hace muy sensible a la radiación, y como consecuencia va a ser el primer trimestre de gestación la fase de mayor radiosensibilidad.

Se han descrito numerosos efectos de la exposición a radiación durante la gestación, como son el aborto espontáneo, las anomalías congénitas, la microcefalia asociada a un bajo coeficiente intelectual y las enfermedades malignas en la infancia.

1.2.3.2 Efectos estocásticos

Si como consecuencia de la irradiación la célula no muere sino que sufre una modificación en su ADN, se producirán los efectos estocásticos. Son consecuencia de exposiciones a dosis o tasas de dosis bajas de radiación (se consideran dosis bajas aquellas que son inferiores a 0,2 Gy y tasas de dosis bajas cuando su valor es inferior a 0,1 mGy min⁻¹).

Al aumentar la dosis de radiación recibida aumenta la probabilidad de que ocurran estos efectos, pero no aumenta la gravedad, de los mismos. La gravedad de estos efectos depende de factores como el tipo de célula afectado y el mecanismo de acción del agente agresor que interviene.

Los efectos estocásticos pueden ser somáticos o hereditarios en función de la línea celular a la que afecte. Si la célula que ha sido modificada es una célula somática, los efectos se manifestarán en el propio individuo expuesto a la radiación, serán, por tanto, efectos estocásticos somáticos. Si por el contrario la célula que se ha visto afectada es una célula germinal, el efecto biológico no se pondrá de manifiesto en el individuo expuesto sino en la descendencia de éste, serán por tanto, efectos estocásticos hereditarios.

Las magnitudes utilizadas para la cuantificación de los efectos estocásticos son la dosis absorbida (D), dosis equivalente (Ht) y la dosis efectiva (E). Las **dosis absorbidas** en órganos o tejidos, por lo general, no pueden ser medidas directamente, por lo que para facilitar el manejo de la dosis al paciente se usan magnitudes mensurables que caracterizan el campo de radiación externo (UNSCEAR, 2008)³. La unidad en el sistema internacional de

unidades para la dosis absorbida es el julio por kilogramo (J/kg) y su nombre especial es "Gray" (Gy).

Para reflejar que el efecto de la radiación es diferente según el órgano sobre el que actúe, se utiliza la magnitud **dosis equivalente**, que es la dosis absorbida promediada en un órgano o tejido multiplicada por un factor adimensional de ponderación de la radiación (valor 1 para las principales radiaciones usadas en medicina (fotones y electrones). Por tanto, la dosis absorbida y la dosis equivalente son numéricamente iguales. Para reflejar el efecto de la radiación en todos los órganos y tejidos del cuerpo, la dosis equivalente de cada órgano y tejido se multiplica por el factor de ponderación y el sumatorio de todo el cuerpo es la dosis efectiva. El nombre especial de la unidad de la dosis equivalente y la dosis efectiva es el Sievert (Sv) ⁴.

Efectos estocásticos somáticos: Cancerogénesis

El efecto estocástico somático más relevante tras exposición a dosis bajas de radiación es el desarrollo de cáncer. El fenómeno por el cual una célula normal se transforma en una célula maligna es un proceso complejo que implica diferentes cambios cuya naturaleza dependerá del tipo de célula, del tipo de carcinógeno y del tipo de cáncer que resultante.

El modelo multietapa es el modelo más aceptado para explicar el proceso de la cancerogénesis. en el cual se asume que el cáncer es consecuencia de una serie de sucesos que pueden ser totalmente independientes, pero que con frecuencia están ligados. El modelo multietapa consta de cuatro etapas: iniciación, conversión, promoción y progresión (figura 8).

Iniciación. Esta etapa tienen lugar las mutaciones, que modifican los genes favoreciendo la proliferación celular o bien dificultando la diferenciación celular. No existe umbral para que tenga lugar la etapa de iniciación y una vez se ha producido el evento iniciador éste se transmite a las células hijas durante las siguientes divisiones mitóticas.

Conversión. En esta etapa las células acumulan mutaciones genéticas adicionales lo que les compromete en el desarrollo maligno. Los mecanismos de conversión no son bien conocidos, pero se asume que esta etapa ocurre después de una exposición única aguda a un agente conversor y es, generalmente, reversible durante un largo período de tiempo.

Promoción. Esta fase requiere una exposición al agente promotor prolongada en el tiempo o repetida, que normalmente es reversible si el daño es eliminado. Existe una dosis umbral para cada agente, por debajo de la cual no se produce la promoción tumoral. En esta etapa,

se desencadena una proliferación descontrolada de las células mutadas formándose una población clonal de células con un fenotipo alterado.

Progresión. Es una etapa compleja en la que la célula clonal acumula cambios celulares que modifican la tasa de crecimiento, la capacidad de respuesta a los factores de proliferación y diferenciación y a la capacidad de invasión y metástasis.

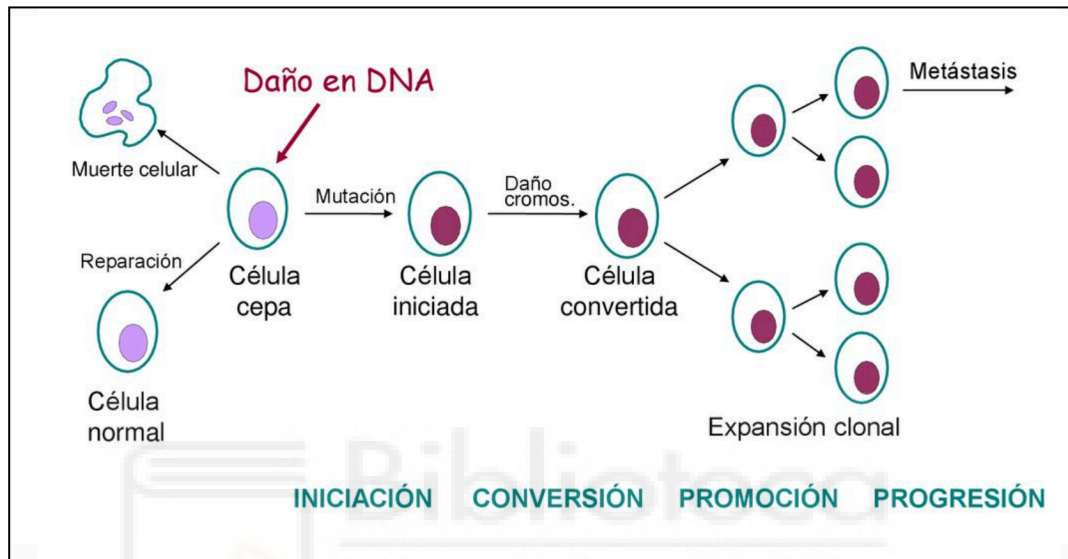


Figura 8. Proceso de cancerogénesis. Modelo multietapa.

Efectos estocásticos hereditarios

La radiación ionizante puede producir efectos hereditarios en el individuo expuesto a través de la inducción de mutaciones en las moléculas de ADN de las células germinales masculinas o femeninas. Estas mutaciones no tienen consecuencias directas en el individuo expuesto, sino que se transmiten y expresan en individuos de generaciones posteriores.

Aunque, hasta el momento no se ha demostrado la inducción por radiación de enfermedades hereditarias en poblaciones humanas expuestas a radiación ionizante, bien es sabido que la radiación ionizante es un mutágeno universal, constatado en estudios experimentales realizados en animales, por tanto parece poco probable que los humanos sean una excepción.

1.3. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

1.3.1 Evolución histórica de la protección radiológica

Desde el descubrimiento de las aplicaciones médicas diagnósticas y terapéuticas de las radiaciones ionizantes, siempre ha existido una ciencia paralela encaminada a proporcionar una protección frente a sus efectos indeseados. Estas medidas de protección de los profesionales expuestos han ido evolucionando con el paso de los años, acompañando a los diversos descubrimientos y avances que ha experimentado esta rama de la ciencia.

Poco después de los descubrimientos de Röntgen, Becquerel y Curie fueron apareciendo dudas sobre los efectos perjudiciales que pudiera tener sobre la salud. El enorme interés que despertó este descubrimiento en la industria y la fascinación de la población por esta nueva energía eclipsó los efectos nocivos que en un primer momento no fueron atribuidos a efectos radioinducidos. En 1896 ya se describieron las primeras quemaduras y dermatitis. Thomas Edison documentó lesiones oculares y úlceras cutáneas. El primer ayudante de Edison, Clarence Dally, sufrió lesiones agudas en ambas manos precisando injertos múltiples, con mala evolución que desembocó en la amputación de la mano izquierda en un primer momento y finalmente también precisó amputación de la mano derecha. Clarence, finalmente, acabó falleciendo de un carcinoma metastásico a los 39 años, considerándose la primera víctima mortal por efectos de la radiación ⁽⁵⁾.

Dos años después de su descubrimiento, en 1897 la Sociedad Röntgen creó un comité para la evaluación de los efectos adversos de los rayos X.

En 1896 pioneros de la Radioprotección como Conrad Fuchs (1896) elaboró una guía de recomendaciones para prevenir los efectos perjudiciales de la radiación, que incluían reducir el tiempo de exposición y aumentar la distancia con el tubo de emisión. Posteriormente, el dentista W. Rollings (Boston) introdujo el concepto de colimación, filtración y medios de protección de cuerpos y manos.

En 1913 la Sociedad Röntgen publicó las primeras recomendaciones sobre blindaje y medidas de radioprotección, y estas han sido consideradas el primer tratado sobre protección radiológica.

Tras la primera Guerra Mundial surgen sociedades colaboradoras que facilitaron la creación de organismos de protección radiológica. En 1925, en Westmisnter, tiene lugar el I Congreso Internacional de la Radiología se forma el primer comité exclusivo de protección radiológica. En este periodo aparecen importantes avances en radioprotección con el

dosímetro personal, se implementan programas de prevención de riesgos laborales a profesionales expuestos, blindajes específicos y zonas de restricción.

Después de la Segunda Guerra Mundial, a consecuencia de la creación de la bomba atómica, la protección radiológica experimentó un avance considerable debido a los conocimientos que se derivan de los efectos perjudiciales relacionados con la radiación. En el periodo de la postguerra aparecen conceptos como la dosis equivalente, la dosis absorbida y la radiobiología, el concepto ALARA.

En el año 1950 se creó la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), siendo desde entonces el organismo encargado de la establecer unas recomendaciones generales y fundamentales para garantizar el uso seguro de las radiaciones ionizantes.

En las últimas décadas, las comisiones internacionales de radioprotección están consolidadas y se consensúan los tres grandes principios de la radioprotección: todos los estudios deben estar justificados, todas las exposiciones deben cumplir el criterio ALARA y la dosis equivalente no debe sobrepasar los límites recomendados.

En la actualidad, las sociedades internacionales y profesionales de la protección radiológica trabajan en un esfuerzo incesante para conseguir que la exposición a la radiación ionizante sea lo más segura posible.

1.3.2. Conceptos

La protección radiológica tiene como objeto proteger a pacientes, trabajadores y públicos de los posibles efectos perjudiciales de la exposición a radiaciones ionizantes.

Los **tres principios generales de la protección radiológica** propuestos desde la ICRP (ICRP- 60, 1991) son la justificación, la optimización y la limitación. En Europa estas recomendaciones están recogidas en la Directiva Euratom 96/92 (Comunidad Europea de la Energía Atómica) y en el Real Decreto 783/2001 sobre el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

- **Justificación:** las exposiciones médicas deben proporcionar un beneficio neto suficiente frente al detrimento individual que pueda causar la exposición. Por lo general, el uso de la radiación en instalaciones de diagnóstico médico su uso siempre está justificado y fundamentado.
- **Optimización:** una vez la práctica está justificada es de carácter obligado que el detrimento derivado de las mismas sea el mínimo posible por lo que se debe garantizar

que la dosis sea lo menor posible, que el número de personas expuestas sea el mínimo y reducir la probabilidad de que se produzcan exposiciones accidentales.

Este principio suele postularse mediante el concepto “ALARA” (as low as reasonably achievable). Es por eso que el nivel de protección radiológica ha de ser “razonable”, en exceso no supone un aumento del beneficio y puede, de manera contraproducente, producir una alarma social.

- **Limitación:** existe un límite de dosis que no debe ser superado para reducir al máximo la posible aparición de efectos secundarios estocásticos y deterministas. La limitación es un principio que no se aplica a los pacientes cuando objeto de exploraciones o tratamientos médicos. Estos límites están más orientados al personal ocupacionalmente expuesto.

La vigilancia de los trabajadores ocupacionalmente expuestos se fundamenta en los siguientes principios:

- Evaluación previa para conocer las condiciones laborales, determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización.
- Clasificación de los lugares de trabajo: se clasifican en diferentes zonas teniendo en cuenta la las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación, así como la probabilidad y magnitud de exposiciones potenciales.
- Clasificación de los trabajadores expuestos: se clasifican en distintas categorías según las distintas condiciones de trabajo.
- Aplicación de normas, medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas de riesgo y las diferentes categorías de trabajadores expuestos, incluida la vigilancia individual.
- Vigilancia sanitaria.

1.3.3. Limitación de dosis

La vigilancia de los límites de dosis anuales es una medida fundamental en la protección frente a las radiaciones ionizantes. Los límites de dosis nunca deben ser sobrepasados y que pueden ser rebajados de acuerdo con los estudios de optimización adecuados.

Los límites de dosis están referenciados a un año oficial y diferencian entre trabajadores expuestos, personal en formación/estudiantes y miembros del público. También están

establecidos límites y medidas de protección especial para determinados casos, como mujeres embarazadas en período de lactancia y exposiciones especialmente autorizadas.

Límites de Dosis (RD 783/2001)			
DOSIS EFECTIVA ¹	Personas profesionalmente expuestas	Trabajadores/as	100 mSv/5 años oficiales consecutivos (máximo: 50 mSv/cualquier año oficial) ²
		Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años) ³	6 mSv/año oficial
	Personas profesionalmente NO expuestas	Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años) ⁴	1 mSv/año oficial
DOSIS EQUIVALENTE	Personas profesionalmente expuestas	Trabajadores/as	Cristalino 150 mSv/año oficial
			Piel ⁵ 500 mSv/año oficial
			Manos, antebrazos, pies y tobillos 500 mSv/año oficial
	Personas profesionalmente NO expuestas	Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años)	Cristalino 50 mSv/año oficial
			Piel ⁵ 150 mSv/año oficial
			Manos, antebrazos, pies y tobillos 150 mSv/año oficial
Personas profesionalmente NO expuestas	Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años)	Cristalino 15 mSv/año oficial	
		Piel ⁵ 50 mSv/año oficial	
CASOS ESPECIALES	Embarazadas (feto)	Debe ser improbable superar 1 mSv/embarazo	
	Lactantes	No debe haber riesgo de contaminación radiactiva corporal	
EXPOSICIONES ESPECIALMENTE AUTORIZADAS	Sólo trabajadores profesionalmente expuestos de categoría A: en casos excepcionales las autoridades competentes pueden autorizar exposiciones individuales superiores a los límites establecidos, siempre que sea con limitación de tiempo y en zonas delimitadas.		

¹ Dosis efectiva: suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo procedentes de irradiaciones internas y externas.

² 10 mSv = 1 rem

³ Sólo en caso de aprendices y estudiantes que por sus estudios estén obligados a utilizar fuentes radiactivas. En ningún caso se podrán asignar tareas a los menores de 18 años, que pudieran convertirlos en trabajadores expuestos.

⁴ Excepcionalmente se podrá superar este valor, siempre que el promedio durante 5 años consecutivos no sobrepase 1 mSv por año.

⁵ Calculando el promedio en cualquier superficie cutánea de 1 cm², independientemente de la superficie expuesta.

Tabla 1. Límites de dosis. Directiva 2013/59 Euratom del consejo de 5 de diciembre 2013

Los límites de dosis que se aplican a los TE son:

- Dosis efectiva (irradiación homogénea de todo el cuerpo) 100 mSv en 5 años consecutivos, sin superar 50 mSv en 1 año.
- 150 mSv de dosis equivalente en cristalino en 1 año.

- 500 mSv de dosis equivalente en piel, manos, antebrazos, pies y tobillos en un año.

1.3.4. Trabajadores expuestos

Tienen la consideración de trabajadores expuestos (TE) aquellos que, por las circunstancias en que se desarrolla su trabajo, están sometidos a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes susceptible de entrañar dosis superiores a alguno de los límites de dosis para miembros del público (irradiación homogénea del cuerpo en dosis efectivas superiores a 1 mSv al año, dosis equivalente en cristalino de 15 mSv por año, dosis equivalente en piel de 50 mSv por año)⁽⁶⁾.

Los trabajadores se pueden exponer por irradiación externa (rayos X o gamma) o por contaminación (inhalación, ingestión o contaminación de la piel) con isótopos radiactivos. En la práctica pueden ser trabajadores expuestos aquellos que desarrollan su actividad en instalaciones en las que se utilizan fuentes de radiaciones ionizantes de distinta naturaleza:

- Equipos radiológicos fijos, portátiles o radio-quirúrgicos.
- Equipos de radioterapia externa, equipos de braquiterapia.
- Radioisótopos no encapsulados para diagnóstico y tratamiento con técnicas de Medicina Nuclear, laboratorios de radioinmunoanálisis.

Clasificación de trabajadores expuestos.

Por razones de vigilancia y control, los trabajadores expuestos se clasifican en dos categorías según el Artículo 20 del Real Decreto 783/2001 por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes:

- **Categoría A:** pertenecen a esa categoría aquellas personas que, por las condiciones en las que se realiza su trabajo, pueden recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de alguno de los límites de dosis equivalente fijados en el RPSRI para el cristalino, la piel o extremidades.

Pertenecen a esta categoría los facultativos que realicen procedimientos de radiología intervencionista (radiólogos vasculares, cardiólogos en hemodinámica y electrofisiología), enfermeros que trabajen en la administración de radiofármacos a pacientes y en radiología intervencionista, TSDI destinados a procedimientos intervencionistas, así como a los técnicos de radiofarmacia.

- **Categoría B:** pertenecen a esta categoría aquellas personas que, por las condiciones en las que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban una dosis efectiva superior a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de alguno de los límites de dosis fijados en el RPSRI para el cristalino, la piel o extremidades.

Se incluye en esta categoría al resto de facultativos expuestos no incluidos en la categoría A, resto de personal de enfermería expuesto (endoscopias, digestivo, urología, especialidades con uso arco quirúrgico, radioterapia, terapia metabólica) que no estén clasificados en la categoría A y el resto de personal técnico que trabajen en radiología con equipos fijos, portátiles y arcos quirúrgicos, medicina Nuclear, técnicos de radioterapia y técnicos de radiofísica.

No podrán asignarse a menores de 18 años tareas que pudieran convertirlo en un trabajador expuesto.

1.3.5. Zonas de trabajo: clasificación y señalización

Es preciso identificar y delimitar todos los lugares de trabajo en los que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis para piel, cristalino y extremidades (establecidos en el RPSRI). Una vez identificadas, se establecerán las medidas de protección radiológica oportunas.

Los lugares de trabajo deben clasificarse considerando el riesgo de exposición y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, en las siguientes zonas:

Zona controlada: son aquellas en las que existe la probabilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para cristalino, piel y extremidades. También tienen la consideración de zonas controladas aquellas en las que es necesario realizar algún procedimiento de trabajo para restringir la exposición, evitar la radiación dispersa o limitar la probabilidad y magnitud de los accidentes radiológicos o sus consecuencias.

Estas zonas pueden dividirse en:

- **Zona de permanencia limitada:** es aquella en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales de dosis.
- **Zona de permanencia reglamentada:** es aquella en la que existe el riesgo de recibir, en cortos periodos de tiempo, una dosis superior al límites de dosis establecidos.

- **Zona de acceso prohibido:** es aquella en la que hay riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites anuales de dosis.

Zona vigilada: es aquella zona en la que (no siendo controlada) existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, piel y extremidades.

Cada una de estas zonas de trabajo estará convenientemente delimitada e identificada mediante señales con forma de trébol sujetas a un código de colores que permite distinguir unas de otras (tabla 2).

TIPO DE ZONA	COLOR DEL TREBOL	CONDICIONES
ZONA VIGILADA		Existe la posibilidad de recibir más de 1mSv de dosis efectiva al año o del 10% del límite anual de dosis equivalente en cristalino, piel o extremidades.
ZONA CONTROLADA		Existe la posibilidad de recibir más de 6mSv de dosis efectiva o 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.
ZONA DE PERMANENCIA LIMITADA		Existe el riesgo de superar los límites de dosis que se aplican a los TE.



<p>ZONA PERMANENCIA REGLAMENTARIA</p>		<p>Existe el riesgo de recibir, en cortos periodos de tiempo, una dosis superior al límites de dosis establecidos.</p>
<p>ZONA DE ACCESO PROHIBIDO</p>		<p>Existe el riesgo de superara los límites de dosis que se aplican a los TE en una única exposición.</p>

Tabla 2. Clasificación zonas de trabajo según riesgo de exposición a radiación ionizante.

Además estas señales informan del tipo de riesgo: irradiación externa, contaminación o ambos. En el caso de irradiación se utilizará el trébol bordeado con puntas radiales; en el segundo caso el trébol se encontrará sobre un punteado de fondo y en tercer caso se utilizan las puntas radiales más el fondo punteado (figura 9).



Figura 9. Símbolos según el tipo de riesgo.

1.3.6. Medidas de protección radiológica operacional

Uno de los principales objetivos de la protección radiológica consiste en la protección de los trabajadores expuestos por motivos profesionales, procurando que el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones sea lo menor posible y que las dosis individuales resultantes de dichas exposiciones también lo sean y no sobrepasen los límites de dosis reglamentarios.

Los tres factores básicos que se usan como herramientas para mejorar los niveles de protección son:

- **Distancia:** al aumentar la distancia entre el individuo y la fuente la exposición disminuye en la misma proporción en que aumenta el cuadrado de la distancia. En muchos casos aumentar la distancia de separación con la fuente de radiación es suficiente para que las condiciones de trabajo sean aceptables.
- **Tiempo:** al reducir el tiempo de operación se reducirán las dosis. Para eso es fundamental instruir y formar correctamente al personal para que estén bien adiestradas, con objeto de invertir el menor tiempo posible en ellas.
- **Blindaje:** cuando los dos factores anteriores no son suficientes, es necesario interponer un espesor de material absorbente (blindaje) entre el individuo y la fuente de radiación para asegurar que las condiciones de trabajo son adecuadas. El material y espesor del blindaje será distinto según el tipo de radiación.

1.3.6.1 Blindajes estructurales: Diseño de las instalaciones.

El blindaje estructural atiende a aquellos que forman parte de la propia instalación, como lo son paredes, techos, suelos, ventanas, puertas, etc. Es fundamental para el diseño de la instalación considerar el tipo de radiación usada la cantidad de radiación que llegará a cada barrera y el uso de las salas adyacentes.

Para entender la necesidad de blindaje de las instalación del Servicio de Radiología es preciso conocer que en una sala de radiología coexisten tres tipos de radiación (figura 10).

- **Radiación directa:** es la más intensa, procede del tubo de Rayos X y se dirige directamente al paciente y al receptor de imagen.
- **Radiación dispersa:** procede en su mayoría del paciente por el efecto Compton al interaccionar los fotones con los tejidos del paciente.
- **Radiación de fuga:** es la que se escapa del tubo de rayos X en dirección distinta al haz primario.

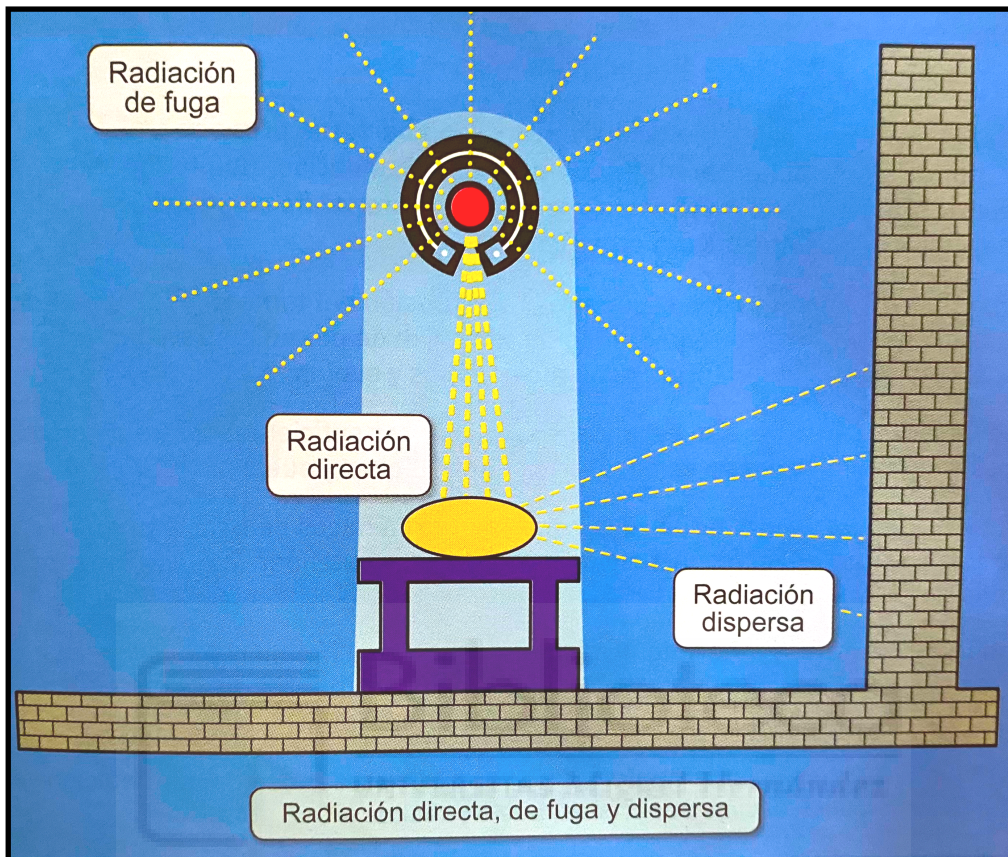


Figura 10. Tipos de radiación ionizante. Manual para Técnico Superior en Imagen en el Diagnóstico y Medicina Nuclear. 2016

Con todo ello puede calcularse el factor de atenuación que se le requiere a cada barrera, si los materiales de construcción no garantizan dicha atenuación será preciso añadir a dicho material plomo u hormigón.

En la Guía de Seguridad 5.11 del Consejo de Seguridad Nuclear⁷ (CSN) se establece un protocolo para el cálculo del blindaje en radiodiagnóstico, los blindajes estructurales adicionales necesarios para las diferentes salas de las instalaciones del Servicio de Radiodiagnóstico (tabla 3).

Blindajes estructurales en las instalaciones de Radiodiagnóstico	
Tipo de instalación	Blindaje habitual
Sala de radiología convencional	Blindaje de 2 mm de plomo en paredes primarias. Blindaje de 1-2 mm de plomo en paredes secundarias. Habitualmente no es preciso blindar suelos y techos (el material de construcción atenúa la radiación)
Sala de radiología intervencionista	En este caso todas las barreras son secundarias. Es habitual que se requieran 2 y 3 mm de plomo en paredes y en ocasiones se precisa 1 mm en suelos y techos.
Sala de tomografía computarizada	En este caso todas las barreras son secundarias. Suelen ser suficientes 2 mm de plomo en las paredes. No es preciso blindar suelos y techos.
Sala de mamografía	No es preciso blindarlas porque el mamógrafo utiliza haces de baja energía y los materiales de construcción atenúan suficientemente la radiación.

Tabla 3. Blindajes estructurales en instalaciones de Radiodiagnóstico. Manual para Técnico Superior en Imagen en el Diagnóstico y Medicina Nuclear. 2016

1.3.6.2 Blindajes no estructurales.

En ciertas ocasiones es necesario permanecer total o parcialmente fuera de la protección de los blindajes estructurales, y en esos casos suele requerirse el uso de protecciones adicionales que permitan mantener los límites de dosis y optimizar el riesgo asociado. Este material de protección se clasifica en dos categorías: prendas de protección y otros dispositivos de protección.

Prendas de protección radiológica

Desde el punto de vista de protección de riesgos laborales están considerados EPIS (equipos de protección individual). Las más habituales son el delantal, el collarín de tiroides, las gafas y los guantes de protección radiológica. Su uso prioriza en el uso de equipos de Rayos X cuando no es posible colocarse detrás de barreras estructurales.

Delantal: consiste en varias capas de goma plomada recubierta de una funda protectora exterior (figura 11). También existen delantales libres de plomo, que son más ligeros y suponen menos problemas medioambientales a la hora de desecharlos.

Se recomienda el uso del delantal integral (delantero y trasero), en una o dos piezas, con equivalentes de 0,50 mm de plomo en la parte delantera y 0,25 en la trasera en las salas de radiología intervencionista y cardiología. Para el resto de usos (quirófanos, salas de endoscopias, radiología portátil, sujeción pacientes no colaboradores...) la recomendación es el uso de delantal de protección delantera con una equivalencia de 0,25 y 0,35 mm de plomo.

Como desventaja los delantales dejan al descubierto brazos, cuello, cabeza, miembros,..



Figura 11. Delantal plomado. Imagen tomada de Radiaprot

Collarín de tiroides: El tiroides queda descubierto de la protección del delantal, para su protección se utiliza el collarín (figura 12). Esta prenda tiene un equivalente de 0,50 mm de plomo. Su uso está indicado en salas de intervencionismo y cardiología.



Figura 12. Collarín plomado. Imagen tomada de Radiaprot

Gafas: Las gafas resultan fundamentales para disminuir la radiación del cristalino (figura 13). Está especialmente indicada en las salas de intervencionismo. Los cristales plomados contienen una equivalencia de 0,5-1 mm de plomo.



Figura 13. Gafas plomadas. Imagen tomada de Radiaprot

Guantes: En determinados procedimientos de radiología intervencionista, neurorradiología o traumatología las manos del operador están interpuestas con el haz de rayos X por lo que en estos casos deben protegerse con guantes (figura 14).



Figura 14. Guantes plomados. Imagen tomada de Radiaprot

Otros dispositivos

Pantallas de protección acristaladas: suelen ser pantallas acristaladas articuladas que pueden situarse en diferentes posiciones y orientarse de distintas maneras. Las pantallas se

interponen entre el paciente que se está irradiando y el personal que interviene en el procedimiento.

1.3.7 Evaluación de la exposición

Una evaluación de de las condiciones de trabajo ayudará a reducir los riesgos de la radiación.

1.3.7.1 Vigilancia del entorno de trabajo

La vigilancia de la radiación del ambiente de trabajo incluirá:

- a) Medición de la tasa de dosis externas, determinando la naturaleza y calidad de la radiación.
- b) Medida de concentraciones de actividad en aire y en superficies, determinando la naturaleza de los contaminantes radiactivos y de sus estados físicos y químicos.

Los documentos registrados deben ser presentados por el titular de la práctica y deben estar a disposición de la autoridad competente.

1.3.7.2 Vigilancia de las exposiciones individuales

Se debe evaluar la dosis recibida por los trabajadores expuestos para comprobar que el trabajo se está realizando adecuadamente. Cuando las condiciones de funcionamiento sean normales, se determinarán con un plazo no superior a un mes para la dosimetría externa y con un plazo, que en cada caso, se establezca para la dosimetría interna, si fuera preciso. En el caso de una exposición de emergencia, el monitoreo individual o evaluación de las dosificación individual se realizarán caso por caso.

Para la determinación de la dosis total, no se tiene en cuenta la dosis debida a radiactividad natural ni la los exámenes y tratamientos médicos.

Para los trabajadores expuestos de **Categoría A** se requiere:

- En caso de riesgo de exposición externa, utilizar un dosímetro personal, que mida la dosis externa, representativa de la dosis corporal total establecida para toda la jornada de trabajo.
- En caso de riesgo de exposición corporal parcial o heterogénea, el uso adecuado de dosímetros en las partes más susceptibles de verse afectadas.
- En caso de riesgo de contaminación interna, realizar las mediciones o análisis pertinentes para evaluar las respectivas dosis.

Para los trabajadores expuestos de **Categoría B**:

Las dosis individuales recibidas por los trabajadores expuestos de Categoría B pueden estimarse a partir de los resultados del monitoreo realizado en el ambiente de trabajo, siempre que sea demostrable que dichos trabajadores están correctamente clasificados en la categoría B.

La dosimetría individual, tanto externas e internas, serán efectuada por el Servicio de Dosimetría Personal autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear con permiso explícito.

Registro y notificación:

Será obligatorio registrar todas las dosis a las que se expone un trabajador durante su vida laboral en un dosímetro personal que estará siempre a disposición del trabajador. En caso de modificaciones posteriores de la configuración o cese en su relación laboral, el titular de la instalación deberá aportar copia compulsada del citado registro. De igual forma, el trabajador deberá presentar copia certificada de su historial dosimétrico al titular de su nuevo destino.

En el historial dosimétrico correspondiente a los trabajadores de la Categoría A, se registrarán por lo menos las dosis mensuales y acumuladas en cada año oficial y durante cada período de 5 años oficiales consecutivos. En el caso de trabajadores de la Categoría B, se registrará la dosis anual determinada o estimada.

Las dosis recibidas como resultado de una exposición incidental o de emergencia aparecerán en el historial dosimétrico registrado por separado de las dosis recibidas durante el trabajo normal. Asimismo, aparecerán las personas por actividades especialmente autorizadas.

Los trabajadores expuestos a múltiples instalaciones están obligados a comunicar claramente esta situación al responsable de protección radiológica de cada centro en el que trabajen, a fin de que todo el mundo las registre, actualice y complete en su registro dosimétrico personal. Para ello, los trabajadores deberán informar en cada establecimiento de los resultados dosimétricos proporcionados en otras instalaciones.

Tanto el historial de dosificación de los trabajadores expuestos como los documentos correspondientes a las evaluaciones de dosificación y medición por parte de los equipos de monitoreo, así como los informes de situación y las medidas tomadas cuando se presenten exposiciones incidentales o de emergencia, deberán ser presentados por el propietario de la operación donde se presten o tengan los servicios. proporcionados por dichas personas, quienes los mantendrán a disposición de la Autoridad Competente, pero no deberán ser dados a conocer a otros sin el consentimiento expreso del propio trabajador.

El titular de la instalación deberá conservar el historial de dosificación hasta que el trabajador alcance la edad de 75 años y nunca por un período inferior a treinta años desde

la fecha del cese del trabajador. En caso de corte total, el operador está obligado a enviar esta información al CSN.

Historial dosimétrico para cada tipo de exposición En el historial también debe figurar un trabajador.

1.3.6.3 Vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos

La vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos se basará en los Principios Generales de Medicina del Trabajo y la ley sobre Prevención de Riesgos Laborales.

Trabajador expuesto Categoría A:

Según se especifica en el Artículo 40 de RD 783/2001 y el Protocolo de Vigilancia Sanitaria específica de radiaciones ionizantes todo trabajador clasificado como Categoría A debe ser sometido a un examen de salud inicial que permita comprobar que no se halla incurso en ninguna de las incompatibilidades que legalmente estén determinadas (es decir, que no padece defecto físico o psíquico que le incapacite para el trabajo con radiaciones ionizantes) y decidir su aptitud para el trabajo al que se le destina. Y además se les realizará exámenes periódicos de salud para comprobar su estado sanitario general y especialmente para determinar el estado de los órganos expuestos y de sus funciones. Estos reconocimientos se realizarán cada 12 meses y más frecuentemente si fuera necesario por el estado de salud del trabajador, por las condiciones de trabajo o por los incidentes que puedan ocurrir. Desde el punto de vista médico los trabajadores expuestos se clasificarán en aptos, aptos en determinadas condiciones y no aptos.

Los reconocimientos médicos previos, periódicos y adicionales han de realizarse por el Servicio de Prevención que desarrolle la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

Trabajador expuesto Categoría B:

La vigilancia sanitaria de los trabajadores incluidos en la Categoría B según los principios y directrices generales de Medicina del Trabajo.

1.4. MARCO LEGAL

1. El **artículo 40.2 de la Constitución Española** encomienda a los poderes públicos, como uno de los principios rectores de la política social y económica, velar por la seguridad e higiene en el trabajo. Este mandato constitucional conlleva la necesidad de desarrollar una política de protección de la salud de los trabajadores mediante la prevención de los riesgos derivados de su trabajo y encuentra en la presente Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales su pilar fundamental.

2. La **Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales** regula vertientes tan dispares como los objetivos, medios y sujetos de la política de prevención de riesgos laborales, los derechos y obligaciones de empresarios y trabajadores, la consulta y participación de este último colectivo, los servicios de prevención, las obligaciones de los fabricantes, importadores y suministradores y las responsabilidades e infracciones.

En la presente Ley interesa destacar la regulación efectuada por los Artículos 14 a 29 sobre los derechos y obligaciones de empresarios y trabajadores, estableciendo el deber general de protección del empresario -Administraciones Públicas, incluidas- y las múltiples obligaciones derivadas de él. Asimismo, el derecho de los trabajadores a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo; derecho de contenido complejo, pues comprende la información, la consulta y participación, la formación preventiva, la paralización de la actividad en caso de riesgo grave e inminente y la vigilancia de la salud de los trabajadores en los términos previstos en la propia Ley.

Las dos directivas ya mencionadas suponen un marco legal de la actividad preventiva del trabajador de carácter transversal, es decir, común a distintas profesiones y actividades productivas e independientemente del sector en el que se realice la prestación laboral.

En relación a los riesgos específicos del medio sanitario y con pertinencia en los riesgos específicos sobre la exposición a radiación ionizante son las siguientes normativas.

3. El **Real Decreto 1085/2009**, de 3 de julio, por el que se aprueba el **reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico** (BOE, 18 de julio de 2009).

4. **Real Decreto 1439/2010**, de 5 de noviembre, por el que se modifica el **Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001**, de 6 de julio, establecen las normas básicas relativas a la **protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes**.

5. **Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales, artículo 18**, recoge las normas de trabajo seguro para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.

6. **Real Decreto 1132/1990**, de 14 de septiembre, por el que se establecen las **medidas fundamentales de protección radiológica de las personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos**.

7. **Real Decreto 815/2001**, de 13 de julio, sobre **justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas**.



2. OBJETIVOS

Los objetivos del estudio son los siguientes:

1. Analizar las medidas de protección radiológica de los trabajadores del Servicio de Radiodiagnóstico.
2. Evaluar la existencia de formación específica en radioprotección.
2. Evaluar el grado de conocimiento de las medidas de radioprotección de los trabajadores.
3. Evaluar el grado de adherencia a las medidas de protección radiológica.



3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 MUESTRA

Población del estudio

La población del estudio han sido los trabajadores del Servicio de Radiodiagnóstico incluyendo a todas las categorías profesionales

- Facultativos especialistas en Radiodiagnóstico
- Personal sanitario de enfermería
- Técnicos superior de radiodiagnóstico
- Personal auxiliar de clínica
- Celadores
- Personal administrativo

Tamaño muestral

El tamaño de la muestra da sido de 69 trabajadores

Criterios de inclusión y exclusión:

- **Criterios de inclusión:**
 - Aquellos trabajadores que aceptan la participación voluntaria en el estudio
- **Criterios de exclusión:**
 - Cuestionarios incorrectamente cumplimentados

3.2 DISEÑO DEL ESTUDIO

Material del estudio

El instrumento de medida empleado para la realización del estudio fue un cuestionario autoaplicativo que evalúa la formación y cumplimiento de las medidas básicas de protección

radiológica. El cuestionario se compone de 12 cuestiones que evalúan la formación recibida en protección radiológica, grado de conocimiento sobre las medidas de protección, grado de cumplimentación de las medidas de protección y el uso de la dosimetría personal.

Tipo de estudio

Es un estudio descriptivo, realizado entre febrero y mayo de 2022.

Recogida de datos

Los variables analizadas son recogidas en una tabla excel por la investigadora del estudio.

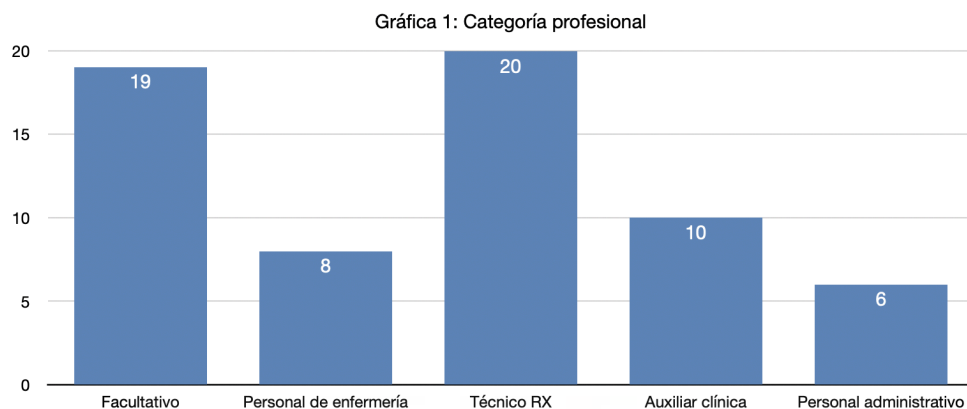
Análisis de variables

- Los datos se informatizaron y codificaron para su tratamiento estadístico con el programa de IBM® SPSS® Statistics vs 20.0 realizando un análisis de las variables cualitativas mediante análisis de distribución de frecuencias.
- Se estudia la posible asociación entre categoría profesional y el resto de variables mediante la prueba de chi cuadrado de Pearson (nivel de significación mínimo $p < 0,05$).
- Se ha usado el programa Numbers para la realización de tablas y gráficos.

4. RESULTADOS

4.1 CATEGORÍA PROFESIONAL

La distribución de los trabajadores por categorías profesionales ha sido la siguiente:



La distribución de frecuencias según la categoría profesional es la siguiente: el 29% de los encuestados son médicos, un 12% son médicos, un 30% son técnicos, un 15% son auxiliares de clínica, un 9% son administrativos y el 5% son celadores.

4.2 VALORACIÓN DEL USO DE LAS MEDIDAS DE RADIOPROTECCIÓN

4.2.1 USO DEL DOSÍMETRO PERSONAL

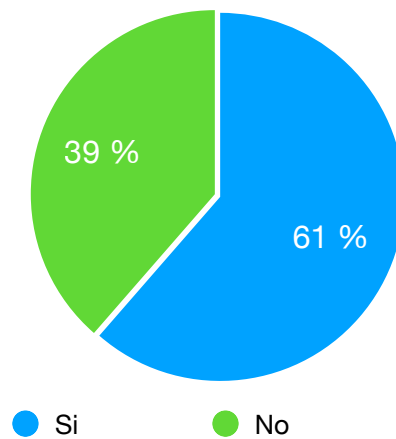
Los resultados correspondientes al uso del dosímetro ha sido las siguientes (tabla 5):

Tabla 5. Uso del dosímetro por categoría profesional

CATEGORÍA PROFESIONAL	USO DE DOSÍMETRO		TOTAL
	Si	No	
Facultativo	11	8	19
Personal de enfermería	5	3	8
Técnicos RX	18	2	20
Auxiliar clínica	1	9	10
TOTAL	35	22	57

Para el análisis de esta variable, se ha excluido a la categoría profesional de personal administrativo y celadores puesto que no están considerados personal expuesto.

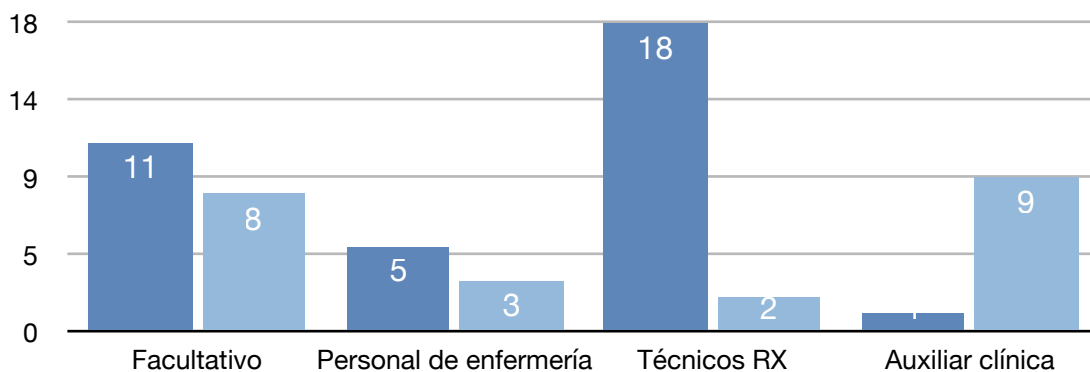
En el análisis de frecuencias podemos decir que el 61% del personal expuesto hace un uso habitual del dosímetro, mientras que el 39% del personal expuesto no lo uso regularmente o no lo usa nunca (gráfica 2).



Gráfica 2: Distribución de la muestra según el uso habitual del dosímetro personal.

En el análisis del uso del dosímetro por categorías profesionales se observa que la categoría profesional con mayor adherencia al dosímetro son los técnicos en radiodiagnóstico donde el 90% de los trabajadores usan habitualmente el dosímetro. Del resto de categorías el uso del dosímetro es del 58% para los facultativos, 63% para los enfermeros y 10% para los auxiliares de clínica (gráfica 3).

Gráfica 3: Categoría profesional y uso del dosímetro



4.2.2 USO DE DELANTAL PLOMADO U OTROS EPIS

Se ha excluido del análisis de esta variable al personal administrativo puesto que no son personal de sala.

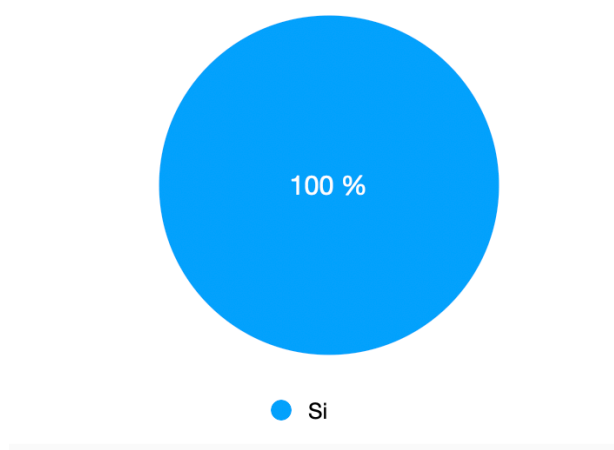
Los resultados correspondientes al análisis de la variable uso del delantal plomado (y otros EPIS) si las circunstancias lo requieren o en el caso de no existir barreras estructurales son los siguientes (tabla 6):

Tabla 6. Uso del delantal plomado y otros EPIS

Categoría profesional	Si	No	Total
Facultativo	19	0	19
Personal de enfermería	8	0	8
Técnicos de RX	20	0	20
Auxiliar de clínica	10	0	10
Celadores	3	0	3
TOTAL	60	0	60

En el análisis de proporciones se observa que el 100% de los trabajadores utiliza las medidas de blindaje oportunas en el caso de no haber medidas estructurales que atenúen la radiación (gráfica 4).

Gráfica 4. Uso del delantal plomado y otros EPIS



4.3 VALORACIÓN SOBRE LA FORMACIÓN ESPECÍFICA EN RADIOPROTECCIÓN

4.3.1 FORMACIÓN PREVIA EN RADIOPROTECCIÓN

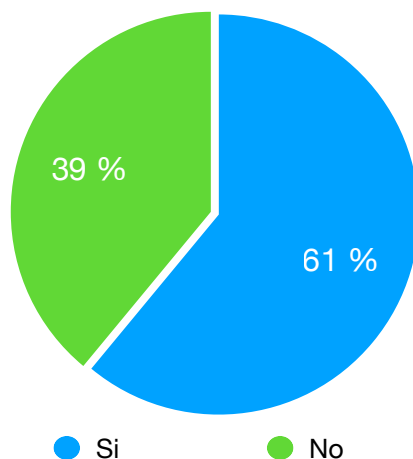
Los resultados relacionados con la formación específica en radioprotección previa recibida por el profesional ha sido (tabla 7):

Tabla 7. Formación específica en Radioprotección

CATEGORÍA PROFESIONAL	FORMACIÓN ESPECÍFICA		TOTAL
	Si	No	
Facultativo	19	0	19
Personal de enfermería	8	0	8
Técnicos RX	20	0	20
Auxiliar clínica	3	7	10
Personal administrativo	0	6	6
Celadores	0	3	3
TOTAL	50	16	66

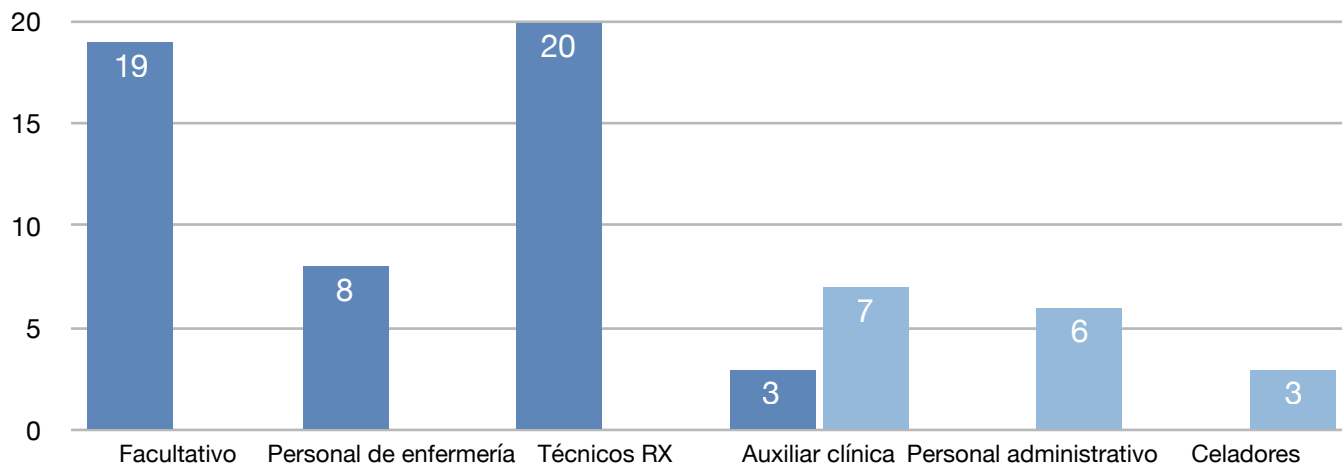
El 76% de los profesionales del Servicio de Radiodiagnóstico han recibido algún tipo de preparación específica en medidas de protección radiológica, frente al 24% que no ha recibido ninguna formación en radioprotección (gráfica 5).

Gráfica 5. Distribución de la muestra en formación específica en radioprotección



En el análisis de frecuencias se aprecia que el 100% de los facultativos, enfermeros y técnicos de radiología ha tenido algún tipo de formación específica, frente al 30% de los auxiliares de clínica y el 0% de personal administrativo y celadores (gráfica 6).

Gráfica 6: Formación específica en Radioprotección



4.3.2 NIVEL DE FORMACIÓN ESPECÍFICA EN RADIOPROTECCIÓN.

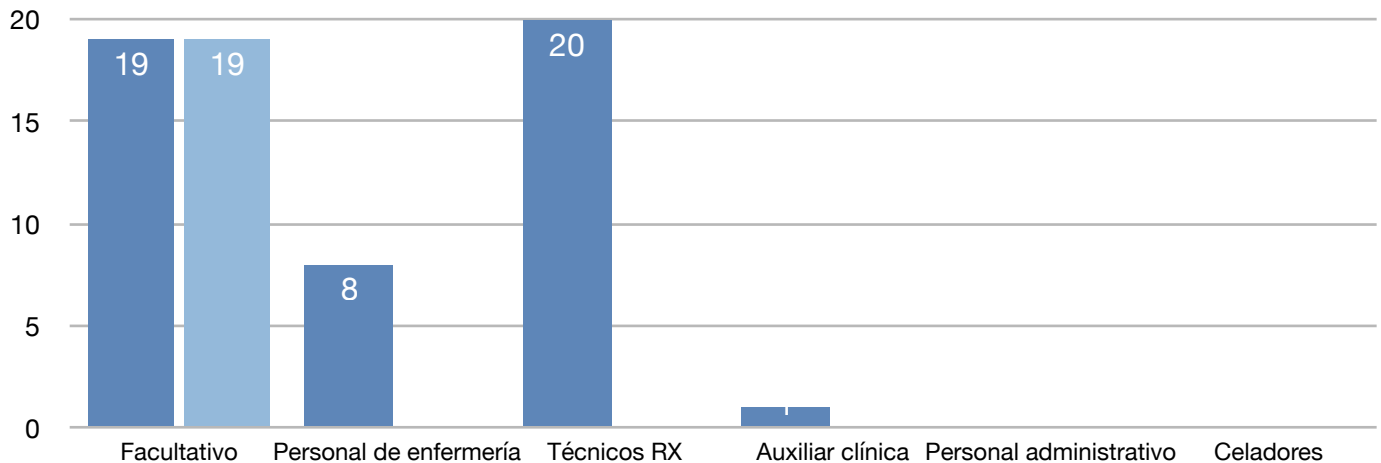
Del análisis de la variable grado de formación específica en radioprotección los resultados se expresan en la siguiente tabla (tabla 8):

Tabla 8. Distribución de la muestra en grado de formación específica en Radioprotección

CATEGORÍA PROFESIONAL	GRADO FORMACIÓN		TOTAL
	NIVEL I	NIVEL II	
Facultativo	19	19	19
Personal de enfermería	8	0	8
Técnicos RX	20	0	20
Auxiliar clínica	0	0	0
Personal administrativo	0	0	0
Celadores	0	0	0
TOTAL	47	19	47

En el análisis de frecuencias se aprecia que el 100% de los facultativos tienen formación en radioprotección nivel I y II, el 100% de los enfermeros y técnicos y un 10% tienen formación en nivel I y el resto de categorías no ha recibido ningún tipo de formación (gráfica 7).

Gráfica 7: Formación en Radioprotección Nivel I y II



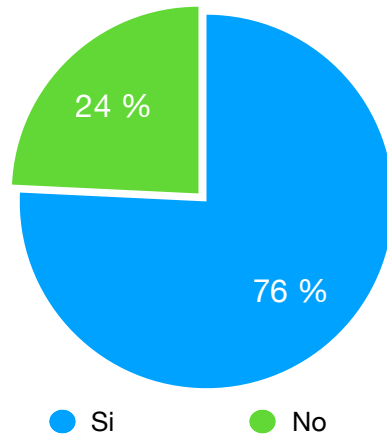
4.4 VALORACIÓN SOBRE EL NIVEL DE CONOCIMIENTOS EN RADIOPROTECCIÓN

4.4.1. CONOCIMIENTO DE CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN El conocimiento de la categoría profesional se ha analizado si han contestado correctamente a la categoría a la que pertenecen. Los resultados se muestran en la tabla 9:

Tabla 9: Porcentaje de población que conoce la categoría de exposición

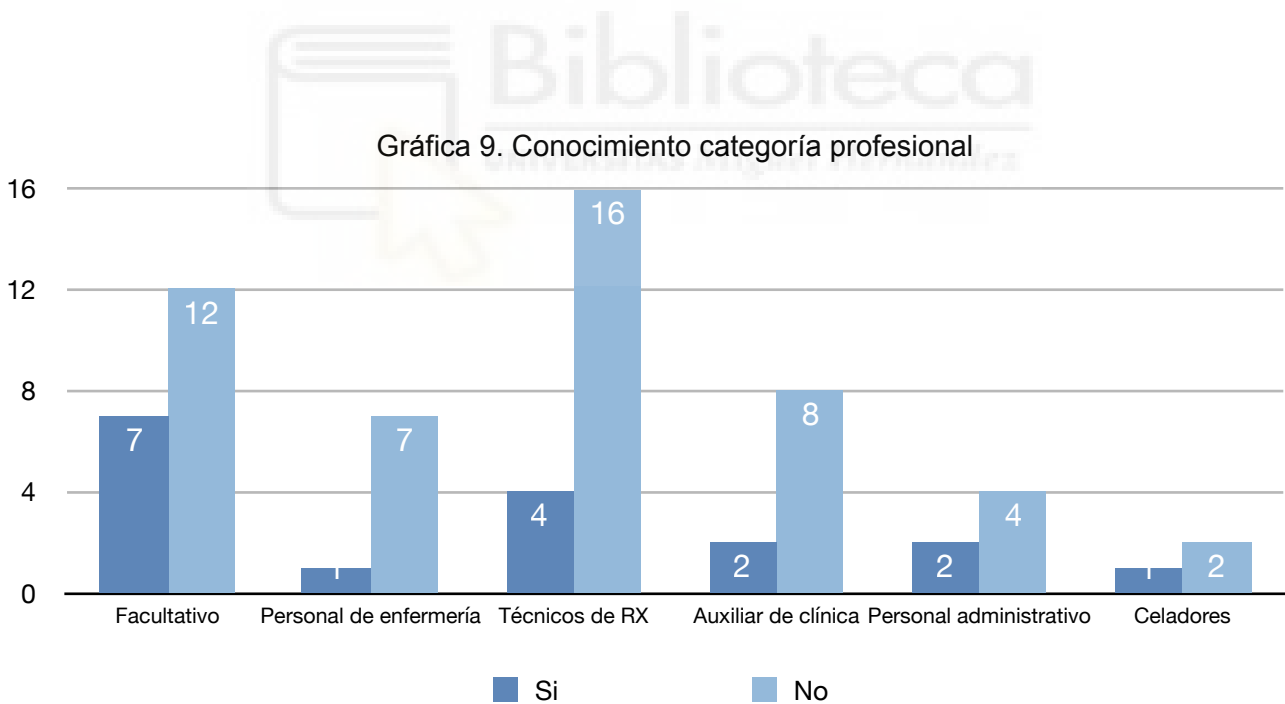
	Frecuencia	Porcentaje
Si conoce	49	74
No conoce	17	26

El 74% de la muestra (49 de los 66 encuestados) desconoce a qué categoría de exposición pertenece, frente al 26% que sí lo sabe (gráfica 8).



Gráfica 8. Distribución de la muestra sobre el conocimiento de la categoría de exposición

En el desglose por categorías profesionales el porcentaje que sí conocía categoría de exposición a la que pertenece es del 35% para los facultativos, 12% para los enfermeros, 20% para los técnicos, 33% para los administrativos y 33% para los celadores (gráfica 9).



4.4.2 CONOCIMIENTO DE SEÑALIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE EXPOSICIÓN

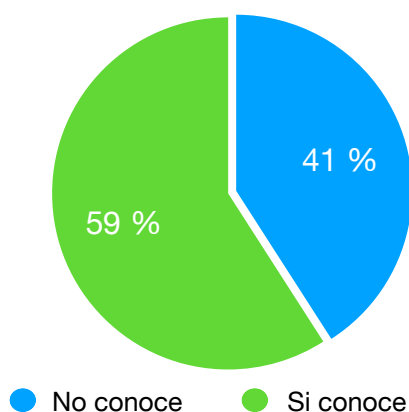
4.4.2.1 SÍMBOLO SEÑALIZACIÓN ÁREA VIGILADA

Los resultados del análisis del conocimiento por parte del profesional sobre el color de la señalización del área clasificada como vigilada (tabla 10).

Tabla 10: Señalización área clasificada vigilada

Categoría profesional	Conoce		Total
	Si	No	
Facultativo	13	6	19
Personal de enfermería	4	4	8
Técnicos de RX	10	10	20
Auxiliar de clínica	0	10	10
Personal administrativo	0	6	6
Celadores	0	3	3
TOTAL	27	39	66

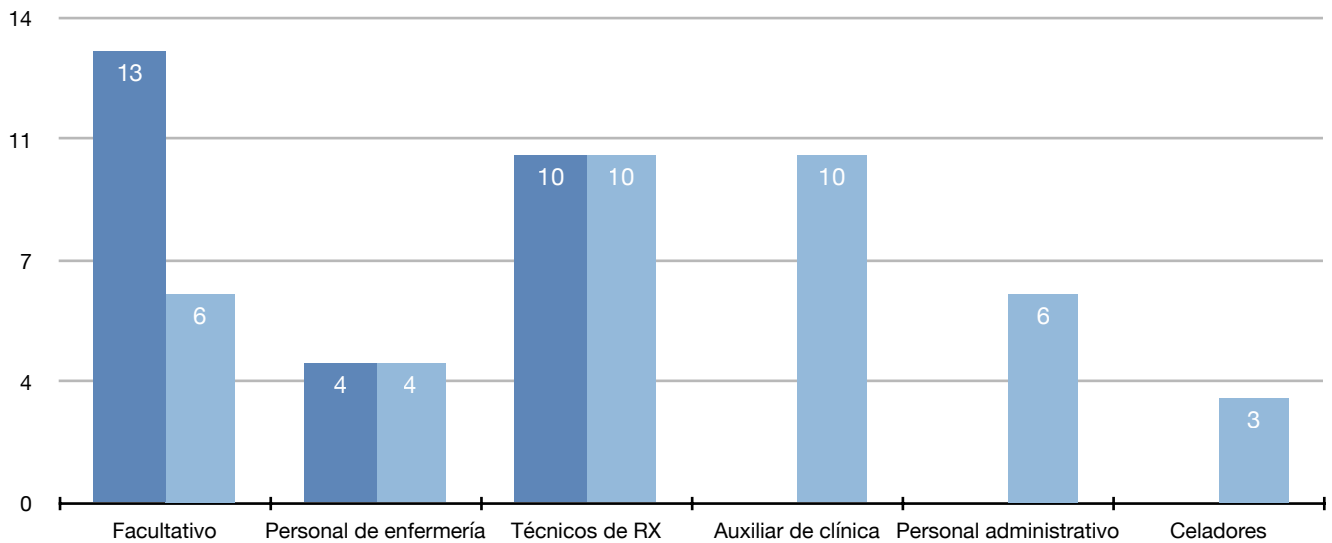
El 41% de la muestra (27 de 56 encuestados) conoce el significado de la señalización del área de exposición clasificada como vigilada, mientras que el 59% de los trabajadores lo desconoce (gráfica 10).



Gráfica 10: Distribución de la muestra por conocimiento de símbolo señalización áreas

En el análisis de frecuencias por categorías profesionales se observa que desconocen el símbolo del área vigilada el 31% de los facultativos, el 50% de los enfermeros y técnicos de radiología y el 100% de celadores, auxiliares y personal administrativo (gráfica 11).

Gráfica 11: Señalización área clasificada vigilada



4.4.2.2 SIGNIFICADO DE PUNTAS RADIALES DEL SÍMBOLO DEL TRÉBOL

Los resultados del análisis del conocimiento por parte del profesional sobre el significado de las puntas radiales que acompañan al símbolo del trébol son los siguientes (tabla 11):

Tabla 11. Significado puntas radiales del símbolo del trébol

Categoría profesional	Conoce		Total
	Si	No	
Facultativo	10	9	19
Personal de enfermería	2	6	8
Técnicos de RX	5	15	20
Auxiliar de clínica	0	10	10
Personal administrativo	0	6	6
Celadores	0	3	3
TOTAL	17	49	66

En cuanto al conocimiento del significado de las puntas radiales del signo del trébol podemos decir que el 26 % de los encuestados conoce el significado mientras que el 74% de los trabajadores lo desconoce (gráfica 12).

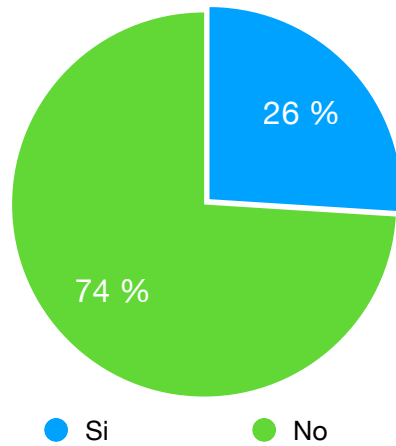
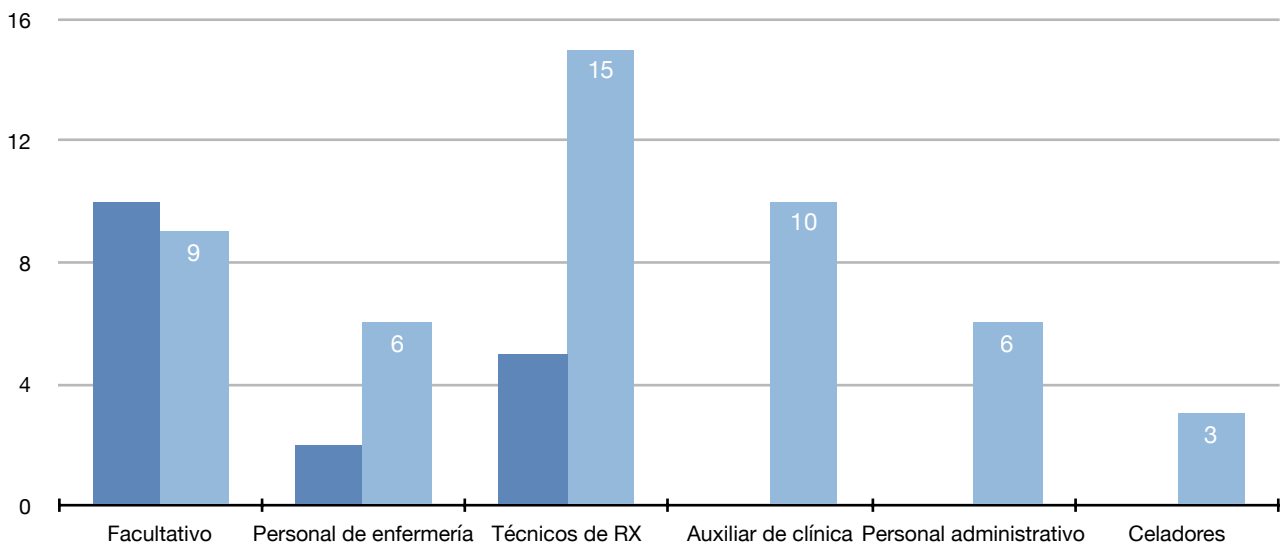


Gráfico 12. Significado puntas radiales del símbolo del trébol

En el análisis de frecuencias por categorías profesionales se observa que desconocen el significado de las puntas radiales el 50% de los facultativos, el 75% de los enfermeros y técnicos de radiología y el 100% de celadores, auxiliares y personal administrativo (gráfica 13).

Gráfica 13: Significado puntas radiales del símbolo del trébol



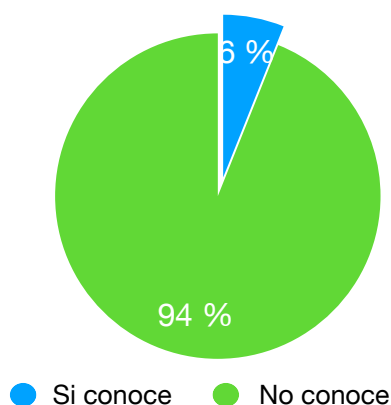
4.4.3. LIMITE DE DOSIS EFECTIVA ANUAL

Los resultados del análisis del conocimiento por parte del profesional sobre el límite de dosis efectiva anual son los siguientes:

Tabla 12. Limite dosis efectiva

Categoría profesional	Conoce		Total
	Si	No	
Facultativo	3	16	19
Personal de enfermería	1	7	8
Técnicos de RX	1	19	20
Auxiliar de clínica	0	10	10
Personal administrativo	0	6	6
Celadores	0	3	3
TOTAL	4	62	66

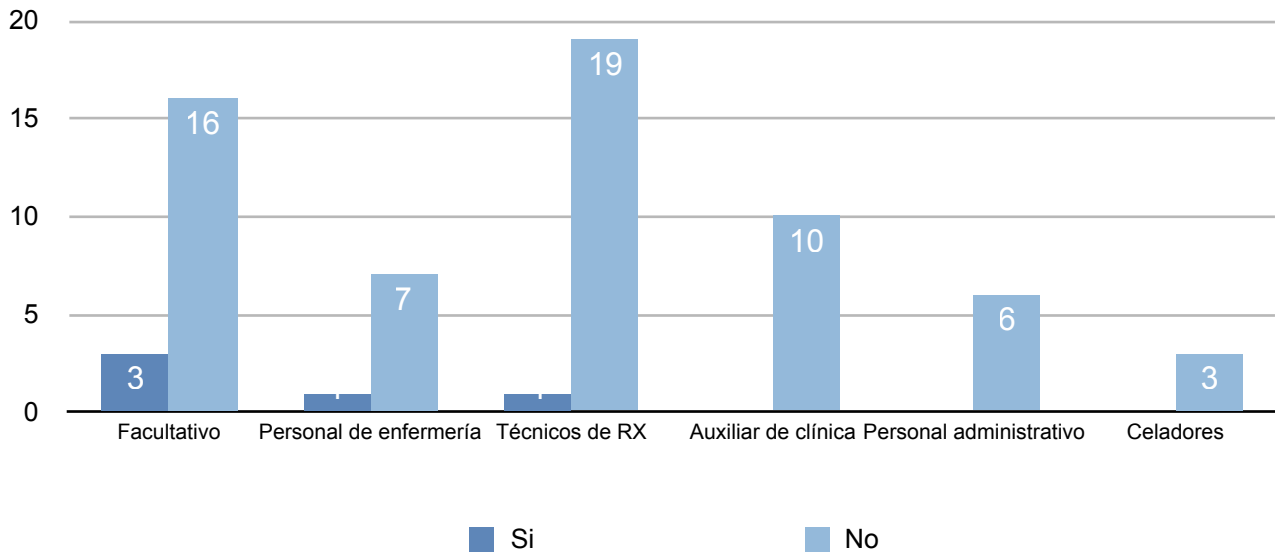
El 6% de los muestra (4 de 66 encuestados) conoce el valor de límite de dosis efectiva anual para el profesional expuesto, mientras que el 94% de los trabajadores lo desconoce (gráfico 14).



Gráfica 14. Distribución de la muestra en conocimiento del valor de límite dosis efectiva

En análisis de frecuencia en el desglose por categorías se observa que el 16% de los facultativos conoce el valor del límite, el 13% de los enfermeros y el 5% de los técnicos (gráfica 15).

Gráfica 15. Límite dosis efectiva



4.4.4. CONOCIMIENTO DEL CONCEPTO “ALARA”

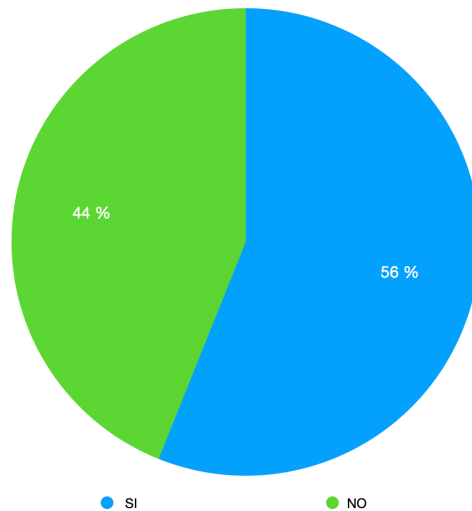
Los resultados del análisis del conocimiento por parte del profesional sobre el significado del concepto ALARA se exponen en la tabla 13:

Tabla 13. Distribución de la muestra según conocimiento del concepto ALARA

CATEGORÍA PROFESIONAL	Concepto ALARA		TOTAL
	SI	NO	
Facultativo	19	0	19
Personal de enfermería	6	2	8
Técnicos RX	12	8	20
Auxiliar clínica	0	10	10
Personal administrativo	0	6	6
Celadores	0	3	3
TOTAL	37	29	66

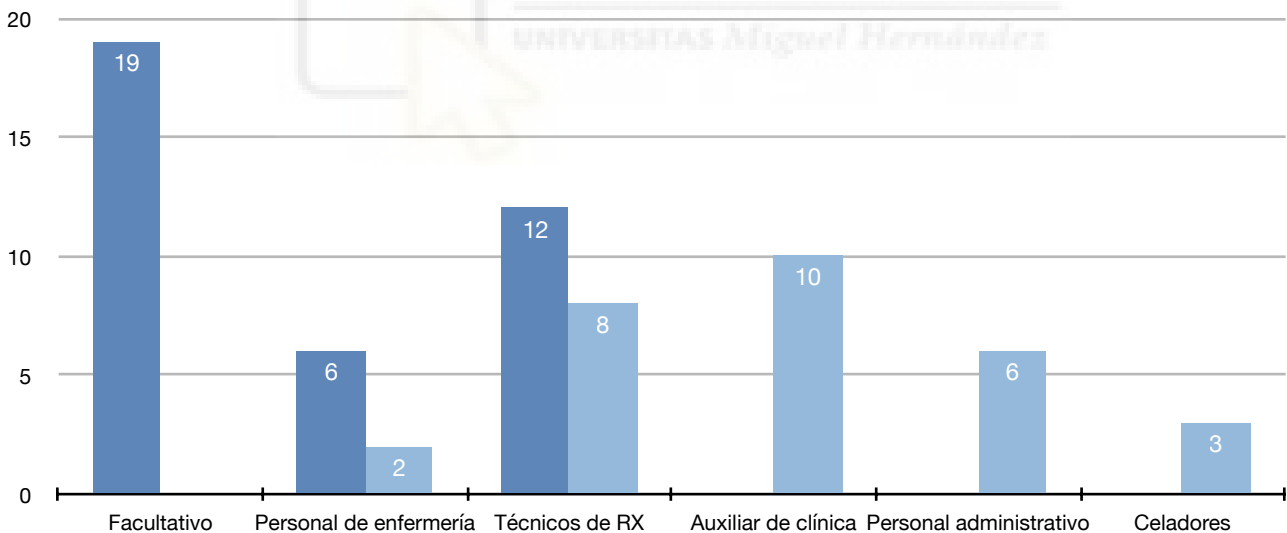
Mediante el contraste de una proporción podemos decir que el 56 % de los profesionales conoce el concepto ALARA, mientras que el 43% de los trabajadores lo desconoce (gráfica 16).

Gráfica 17. Conocimiento del concepto ALARA por categorías.



En el análisis de frecuencias por categorías profesionales se observa que conocen el concepto ALARA el 100% de los facultativos, el 75% de los enfermeros, 60% de los técnicos de radiología y, por el contrario lo desconoce el 100% de celadores, auxiliares y personal administrativo (gráfica 17).

Gráfica 17. Conocimiento del concepto ALARA por categorías



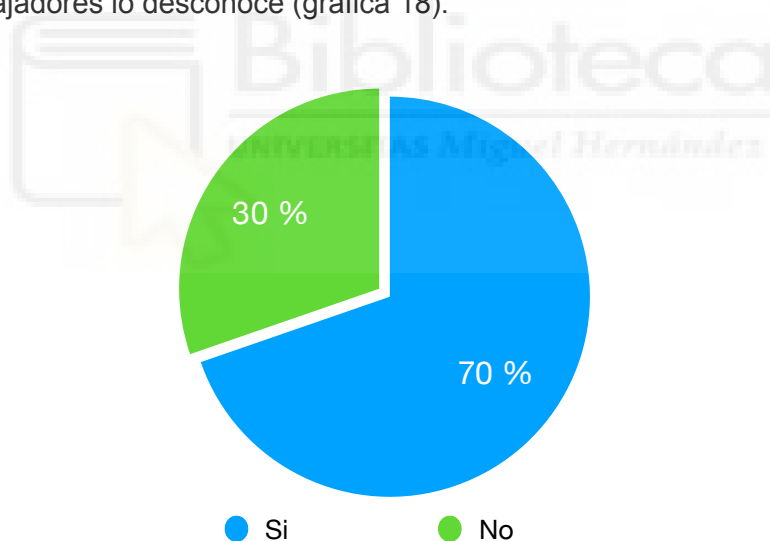
4.4.5 CONOCIMIENTO ATENUACIÓN DE LOS RAYOS X

Los resultados del análisis del conocimiento por parte del profesional sobre el grado de atenuación de los materiales ha sido el siguiente (tabla 14):

Tabla 14. Conocimiento del grado de atenuación de los materiales

Categoría profesional	CONOCE		Total
	Si	No	
Facultativo	19	0	19
Personal de enfermería	8	0	8
Técnicos de RX	19	1	20
Auxiliar de clínica	0	10	10
Personal administrativo	0	6	6
Celadores	0	3	3
TOTAL	46	20	66

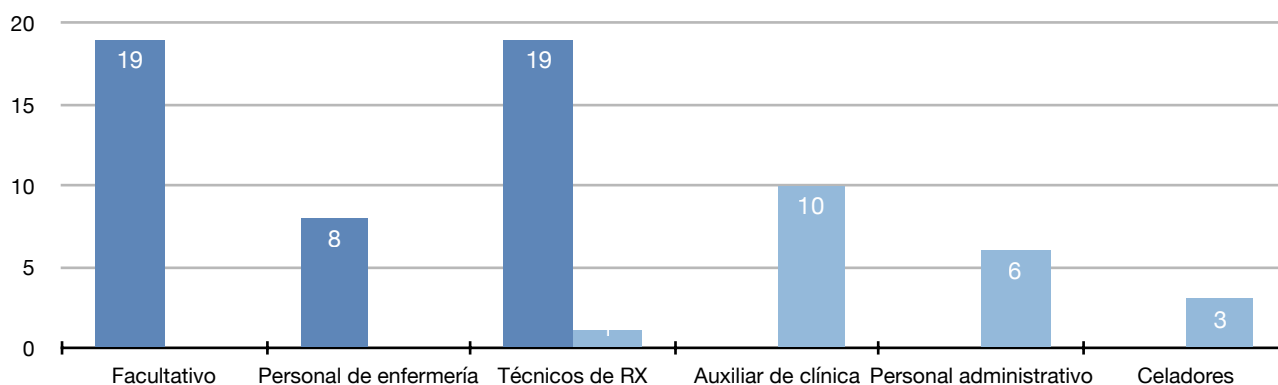
En el análisis de contraste proporciones podemos decir que el 70% de los profesionales conoce material con mayor grado de atenuación de la radiación ionizante, mientras que el 30% de los trabajadores lo desconoce (gráfica 18).



Gráfica 18. Conocimiento del grado de atenuación de los materiales

En el análisis de frecuencias por categorías profesionales se observa que conocen el material con mayor grado de atenuación de la radiación ionizante el 100% de los facultativos y enfermeros, 95% de los técnicos de radiología y, por el contrario lo desconocen el concepto el 100% de celadores, auxiliares y personal administrativo (gráfica 19).

Gráfica 19. Conocimiento del grado de atenuación de los materiales por categorías



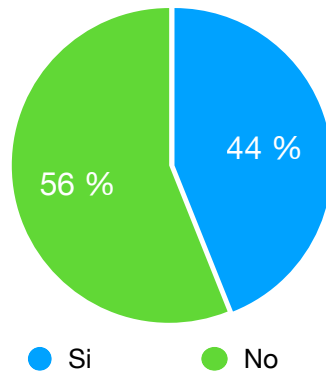
4.4.6. CREENCIA DE EXISTENCIA DE RADIACIÓN EN EL AIRE

Del análisis de la creencia del falso mito de la existencia de radiación en el aire tras la realización de un estudio con un radiación ionizante se extraen las siguientes conclusiones (tabla 15):

Tabla 15. Creencia de existencia de radiación en el aire

Categoría profesional	Si	No	Total
Facultativo	0	19	19
Personal de enfermería	3	5	8
Técnicos de RX	10	10	20
Auxiliar de clínica	9	1	10
Personal administrativo	4	2	6
Celadores	3	0	3
	29	37	66

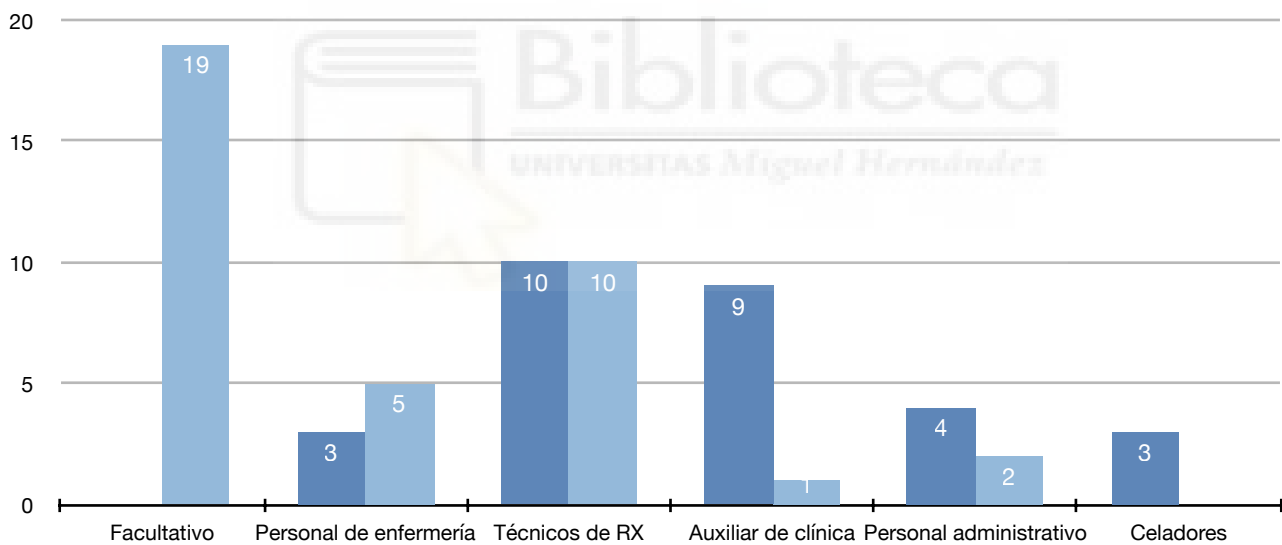
En el contraste de proporciones apreciamos que el 44% de los profesionales cree que existe radiación en el aire de una instalación tras la realización de un estudio con radiación ionizante, mientras que el 56% de los trabajadores no lo cree (gráfica 20).



Gráfica 20. Creencia de existencia de radiación en el aire

En el análisis de frecuencias por categorías profesionales se observa que creen en el falso mito de que existe radiación en el aire el 100% de los celadores, 67% del personal administrativo, 90% de los auxiliares, el 50% de los técnicos, y el 63% de los enfermeros, por el contrario el 100% de los facultativos niegan esta creencia. (gráfica 21).

Gráfica 21. Creencia de existencia de radiación en el aire por categorías



5. DISCUSIÓN

Debido a las propiedades específicas de los rayos X ha sido posible el uso de la radiación ionizante para la obtención de imágenes del interior del cuerpo. Este hecho supuso un hito en la Medicina, un descubrimiento que revolucionó la Medicina y cambiando el paradigma de la Medicina desde 1895 hasta hoy día.

Los beneficios de la radiación ionizante en la Medicina son ampliamente conocidos e indiscutibles, no obstante son igualmente conocidos los efectos perjudiciales sobre los organismos vivos. Así surgió la protección radiológica, de la necesidad de proteger a los individuos, sus descendientes y el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. Su objetivo es, por tanto, prevenir la producción de efectos biológicos deterministas y limitar la probabilidad de incidencia de efectos biológicos probabilísticos hasta valores que se consideren aceptables.

El Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (RPSRI), aprobado por el Real Decreto, 783/2001 y modificado por el Real Decreto 1439/2010 establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. El objetivo de la protección radiológica es proteger a las personas y al medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación sin limitar aquellas prácticas que supongan un beneficio potencial para la sociedad.

La protección radiológica operacional es aquella que se dirige al trabajador expuesto, es decir, a aquella persona que por motivos de su práctica laboral está sometido a una exposición a la radiación ionizante y por ello pudiera exceder la dosis anual a alguno de los límites fijados para los miembros del público.

La prevención y la protección radiológica en el trabajador expuestos son fundamentales para reducir exposiciones indeseadas, accidentes u otro tipo de sucesos. A efectos de protección radiológica se identifican y delimitan los lugares de trabajo donde exista posibilidad de superar las dosis efectivas límites, se clasifican a los trabajadores en función de su categoría de exposición. De igual modo, la información y formación previa de los trabajadores expuestos constituye una importante medida en la prevención de la exposición. Antes de iniciar su actividad los trabajadores deben ser informados e instruidos con un nivel de conocimientos apropiado a su responsabilidad y al riesgo de exposición de su puesto de trabajo.

En este estudio se ha realizado una revisión de las medidas de prevención y protección radiológicas y mediante un cuestionario de autoaplicativo se han evaluado los conocimientos, con el objetivo de analizar el nivel de información y formación de los trabajadores encuestados sobre las medidas de prevención y protección y valorar si es preciso implementar medidas de mejora para reforzar dicha área.

En el análisis de la distribución de la muestra de nuestro estudio por categorías profesionales (66 trabajadores encuestados) de un Servicio de Radiología se observa que el 20% son técnicos de radiología, 19% son facultativos, 10% son personal auxiliar de clínica, el 8% son enfermeros y el 6% corresponden a personal administrativo.

En cuanto al uso de las medidas de protección radiológica, en el estudio se ha analizado la adherencia al uso del dosímetro y el uso del delantal plomado. El 61% de los trabajadores usan de forma regular el uso del dosímetro, frente al 39% que no lo usa habitualmente. En el análisis por categorías profesionales de aquellos que sí usan el dosímetro se observa que la categoría que más adherencia tiene son los técnicos de radiología con un el 90%, seguidos de 63% de los enfermeros, 58% de facultativos y 10% de auxiliares. En caso de no existir medidas de blindaje de barreras (como en el caso de estudios portátiles) se observa que el 100% de los trabajadores encuestados utiliza de forma correcta el delantal plomado.

Para valorar la formación específica en protección radiológica de los encuestados se han analizado distintos ítems; si existe formación previa o no, el grado de formación, se realizan una serie de cuestiones sobre radioprotección.

Del análisis de los resultados se obtiene que el 76% de los trabajadores sí han recibido algún tipo de formación previa, frente al 24% que carecen de formación. En el desglose por categorías se observa que poseen algún tipo de formación el 100% de los facultativos, enfermeros y técnicos, y el 30 % de los auxiliares de clínica frente a los celadores y personal administrativo que no han recibido ninguna formación.

En cuanto al grado de formación se observa que el 100% de los facultativos tienen formación en radioprotección nivel I y II, el 100% de los enfermeros y técnicos y un 10% de auxiliares tienen formación en nivel I. El resto de categorías no ha recibido ningún tipo de formación.

Se analiza el grado de conocimientos en medidas de radioprotección a través de una serie de cuestiones que son la categoría de exposición, el significado de los símbolos de

señalización, el límite de dosis, el concepto ALARA, el grado de atenuación de los materiales y la creencia de existencia de radiación en el ambiente.

En cuanto al conocimiento de la categoría de exposición a la que pertenece el propio trabajador el 74% de los encuestados lo sabe correctamente, frente al 26% que lo desconoce. En la valoración del significado de los símbolos de señalización de exposición a la radiación, conocen el significado del símbolo del área "vigilada" el 41% frente al 59% que no lo conoce, y el significado de las puntas radiales del trébol que lo conoce el 74% de los encuestados. El concepto ALARA lo conocen el 56% de los encuestados, y en el desglose por categorías es un concepto desconocido para el 100% de auxiliares, celadores y personal administrativo. El 70% de los encuestados conoce correctamente cuál es el material con mayor grado de atenuación de los rayos X, frente al 30% que no lo conoce. En cuanto a la falso mito de que existe radiación en el aire después de una exposición a los rayos X el 44% cree que es cierto.

Este estudio no mostró diferencias estadísticamente significativas en el uso de las medidas de protección radiológicas y la categoría profesional ($p > 0,05$). Sin embargo sí mostró diferencias estadísticamente significativas en el grado de conocimientos sobre las medidas de protección radiológica y la categoría profesional ($p < 0,05$).

En relación con los datos obtenidos en nuestro estudio sobre el conocimiento de de las medidas de radioprotección y la adherencia de dichas medidas se podría proponer varias medidas de mejora. El primero de ellos es la colocación de carteles informativos sobre la prevención de riesgos laborales en personal expuesto a la radiación ionizante. Reforzar la señalización obligatoria de los lugares de trabajo añadiendo leyendas que recuerden el significado de los mismos. La medida de mejora destinada a subsanar los déficit observados en este estudio consiste en una actividad con formativa en materia de radioprotección de 6 horas de duración dirigido a todas las categorías profesionales. Tras dicho plan de formación se ha de realizar una reevaluación para determinar el grado de eficacia de las medidas de mejora.

6. CONCLUSIONES

- Las medidas de protección radiológica por parte del personal sanitario del Servicio se cumplen de manera adecuada.
- La mayor parte los trabajadores del Servicio han recibido algún tipo de formación en protección radiológica.
- El nivel de conocimientos sobre protección radiológica es variable. Se observan diferencias estadísticamente significativas en el grado de conocimiento en función de la categoría profesional.
- El nivel global de conocimientos en materia de protección radiológica en el Servicio no es óptimo, pudiendo ser beneficioso el desarrollo de un plan de mejora mediante un programa de formación. Se propone como medida de mejora una actividad formativa en medidas de radioprotección de 6 horas de duración dirigido a todas las categorías profesionales.



7. BIBLIOGRAFÍA

1. U. Busch. Wilhelm Conrad Roentgen. The discovery of x-rays and the creation of a new medical profession.
2. Patuzzi J. La historia de la radiología. [Monografía en Internet]. Sociedad Europea de Radiología, 2012.
3. Sources and Effects of ionizing radiation. The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report.
4. International Commission on Radiological Protection, 2007; 2011.
5. Evolution of radiation protection for medical workers. J. Boice et al. Br J Radiol 2020;93:20200282.
6. Normas de trabajo seguro para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes II. N°26. At.18 de Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
7. Guía de Seguridad nº5.11. Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico. Consejo de Seguridad Nuclear. Madrid, 1990.
8. Manual para Técnico Superior en Imagen para el Diagnóstico y Medicina Nuclear. Sociedad Española de Radiología Médica. Ed. Panamericana. 2016.
9. Radiología Esencial. Sociedad Española de Radiología Médica. Ed. Panamericana. 2011

ANEXOS

ANEXO 1.

CUESTIONARIO AUTOEVALUACIÓN

1. **¿Cuál es su categoría profesional?**
 1. Facultativo
 2. Personal sanitario de enfermería
 3. Técnico superior de radiodiagnóstico
 4. Personal auxiliar de clínica
 5. Celador
 6. Personal administrativo
2. **¿Tiene algún tipo de formación en protección radiológica?**
 1. Si
 2. No
3. **En caso de tenerla señale el tipo de formación**
 1. Primer nivel
 2. Segundo nivel
4. **¿Hace uso habitual del dosímetro personal?**
 1. Si
 2. No
5. **¿Conoce a qué tipo de categoría personal expuesto pertenece ?**
 1. Categoría A
 2. Categoría B
 3. Ninguna de ellas
6. **¿Conoce cuál es el límite de dosis efectiva máximo anual permitido para el personal expuesto a la radiación ionizante?**
 1. Si
 2. No
7. **¿Conoce cuál es el color del símbolo que señala una sala con exposición a la radiación categorizada como “vigilada”?**
 1. Si
 2. No
8. **¿Sabe qué representan las puntas radiales sobre el símbolo del trébol?**
 1. Si
 2. No
9. **¿Conoce el principio “ALARA”?**
 1. Si
 2. No
10. **¿Qué material de los siguientes atenúa más la radiación?**
 1. Yeso
 2. Vidrio
 3. Plomo
11. **¿Existe radiación en el aire tras la realización de un estudio de rayos X?**
 1. Si
 2. No

12. En caso de no existir blindajes estructurales (como al realizar un estudio portátil, realizar un intervencionismo, o sujeción de pacientes no colaboradores), ¿utiliza prendas plomadas en ese caso?

1. Si
2. No

