

MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES



Trabajo fin de Máster

“PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL PERSONAL DEL ÁREA QUIRÚRGICA”

AUTORA: Giménez Francés, Clara

DIRECTOR: Quintanilla Icardo, Temístocles

CURSO ACADÉMICO: 2020/2021



**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 “**PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL PERSONAL DEL ÁREA QUIRÚRGICA**” y realizado por el estudiante D^a. CLARA GIMÉNEZ FRANCÉS

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

Fecha de la autorización: 23 de julio de 2021

Fdo.: D. TEMÍSTOCLES QUINTANILLA ICARDO
Tutor TFM


MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES
Campus de Sant Joan - Carretera Alicante-Valencia Km. 87
03550 San Juan (Alicante) ESPAÑA Tfno: 965919525
Fax: 965919333 E-mail: meditrab@umh.es

ÍNDICE

ABREVIATURAS	5
FIGURAS Y TABLAS.....	6
1. RESUMEN.....	7
2. INTRODUCCIÓN.....	9
2.1 BASES FÍSICAS	9
2.2 RADIOBIOLOGÍA.....	13
2.2.1 Los efectos de la radiación en los seres vivos	15
2.2.2 Efectos inmediatos.....	16
2.2.3 Efectos tardíos.....	17
2.2.4 Gestación y radiación	18
2.3 LA FLUOROSCOPIA EN LA PRÁCTICA CLÍNICA.....	18
2.3.1 Características de los equipos radioquirúrgicos.....	20
2.3.2 Situación actual.....	20
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
4. OBJETIVOS.....	22
4.1 Objetivo principal.....	22
4.2 Objetivos secundarios	22
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	23
6. RESULTADOS	24
6.1 MARCO LEGAL	24
6.1.1 Organismos internacionales.....	24
6.1.2. Organismos nacionales.....	26
6.1.3. Legislación y normativas.....	27
6.2 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	28
6.2.1 Conceptos, objetivos y principios	28
6.2.2 Límites de dosis.....	30
6.2.3 Clasificación de los trabajadores.....	32
6.2.4 Clasificación y señalización de las zonas de trabajo	33
6.2.5 Vigilancia y control	34
6.2.6. Situaciones especiales: el embarazo	39

6.3 RIESGOS LABORALES Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	39
6.3.1 Riesgos laborales relacionados con la exposición a la radiación	39
6.3.2 Medidas a adoptar para mejorar la seguridad	43
6.3.3 Evaluación del cumplimiento de las medidas en un centro hospitalario	46
7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	50
8. BIBLIOGRAFÍA.....	53
9. ANEXOS.....	58



ABREVIATURAS

D: dosis absorbida

Gy: gray

H: dosis equivalente

Sv: sievert

Wi: factor de ponderación

K: kerma

SI: Sistema Internacional

Rem: radiación equivalente en el hombre

LET: *Linear Energy Transfer*

RBE: *Relative Biologic Effectiveness*

ICRP: *International Commission on Radiological Protection*

CPRE: colangiopancreatografía retrógrada endoscópica

LPRL: Ley de Protección de Riesgos Laborales

UNSCEAR: Comité Internacional de Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica

OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica

EURATOM: Comunidad Europea de Energía Atómica

UE: Unión Europea

CSN: Consejo de Seguridad Nuclear

RD: Real Decreto

ALARA: *As Low As Reasonably Achievable*

TE: trabajadores expuestos

FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Ley de la Inversa del Cuadrado de la Distancia.

Figura 2. Señalización de las distintas zonas de trabajo.

Figura 3. Dosímetros de cuerpo entero.

Figura 4. Dosímetros de muñeca (A) y de anillo (B).

Figura 5. Dosímetro de cristalino, tomada de Jaramillo et al ⁽²⁶⁾.

Figura 6. Dosímetro de abdomen en trabajadora embarazada.

Figura 7. Radiodermatitis aguda

Figura 8. Radiodermatitis crónica

Figura 9. Catarata radioinducida.

Figura 10. Uso del delantal plomado, protector cervical y gafas.

Figura 11. Guantes plomados.



Tabla 1. Factores de ponderación recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica en 2007.

Tabla 2. Resumen de los límites de dosis de exposición.

Tabla 3. Grado de cumplimiento de las medidas de protección radiológica.

1. RESUMEN

Los rayos X suponen en la actualidad la principal causa de exposición a radiaciones ionizantes en el ser humano. En los últimos años, gracias a los avances técnicos y científicos en el ámbito sanitario, se ha producido un notable incremento en el uso de la fluoroscopia. Aunque sus beneficios son indiscutibles, también lo es el riesgo para la salud de los trabajadores que supone.

La protección radiológica es el conjunto de medidas establecidas para la utilización segura de las radiaciones ionizantes y garantizar la protección de los individuos, de sus descendientes, de la población en su conjunto y del medio ambiente, frente a los posibles riesgos que se deriven de la exposición a las radiaciones ionizantes.

Se basa en 3 criterios: criterio de justificación, criterio de optimización y criterio de limitación. El primero se basa en que, cualquier exposición a radiación debe llevar asociado un beneficio para el paciente. El segundo establece que todas las exposiciones deben optimizarse según el principio ALARA, que hace referencia a las siglas en inglés “*As Low As Reasonably Achievable*”. En cuanto al criterio de limitación, es que se deben limitar las dosis de radiación a las que se exponen los trabajadores.

Dentro de la legislación vigente, se establecen unos límites mínimos de radiación a los que pueden estar expuestos los trabajadores. Para medir la dosis que reciben los trabajadores se utilizan dosímetros personales, que serán evaluados mensualmente.

Los riesgos a los que se encuentran expuestos los trabajadores que utilizan la fluoroscopia en el ámbito quirúrgico son, a nivel cutáneo, la radiodermatitis exudativa, radiodermatitis crónicas y/o epiteloma espinocelular cutáneo. Otros efectos son la esterilidad temporal o permanente, el aumento de la probabilidad de mutaciones en la descendencia, las cataratas radioinducidas, o los tumores radioinducidos (osteosarcoma, carcinoma tiroideo o la leucemia). Los riesgos a los que se ven expuestas las trabajadoras embarazadas son malformaciones fetales a nivel óseo y cerebral, retraso intelectual y leucemia radioinducida en la infancia.

Las medidas de protección radiológica se basan en aumentar la distancia a la fuente emisora, disminuir la dosis de radiación emitida, disminuir el tiempo de exposición y utilizar medidas de blindaje, mediante delantal, collarín, guantes y gafas plomados. Con ellas, se

disminuirá de manera notable la probabilidad de sufrir los efectos perjudiciales de la radiación.

PALABRAS CLAVE: “radiación”, “protección radiológica”, “fluoroscopia”.



2. INTRODUCCIÓN

2.1 BASES FÍSICAS

La energía es la capacidad de realizar un trabajo, y se puede clasificar según sus características específicas. La energía electromagnética es la que se usa para la obtención de imágenes por rayos X, y también se denomina radiación electromagnética o radiación ⁽¹⁾.

La radiación electromagnética se define como una transmisión de energía de un sistema que la produce a otro que lo recibe, sin ser necesario un medio. La materia que absorbe esta radiación se llama materia expuesta, o también materia irradiada.

La radiación electromagnética es un fenómeno de naturaleza ondulatoria, que además de los rayos X, también se incluyen también otros tipos de ondas, como son las ondas de radio, las microondas, la luz ultravioleta e infrarroja y la luz visible. La diferencia entre ellas es el tipo de onda, que se establece según la longitud de onda, la frecuencia y la energía que transportan ⁽²⁾.

La radiación ionizante es un tipo de radiación que se caracteriza por su capacidad de modificar la materia a nivel atómico y molecular al interactuar con ella. Se denomina ionización a la capacidad de la radiación de extraer un electrón orbital del átomo de la materia irradiada, creándose un par iónico entre el electrón libre, que será un ion negativo, y el resto del átomo, que quedará como un ion positivo. Cualquier tipo de energía con dicha capacidad se va a incluir dentro de la radiación ionizante. Las ondas que son capaces de ionizar la materia son los rayos X, los rayos gamma y la luz ultravioleta.

La radiación se clasifica, según su origen, en radiación ambiental natural y artificial. La radiación ambiental tiene un origen natural, y tiene tres componentes: la radiación cósmica, la radiación emitida por la Tierra y los radionucleidos del cuerpo humano. Por otro lado, la radiación artificial es la producida por el hombre, e incluye principalmente, los radionucleidos artificiales y los rayos X, aplicados para el radiodiagnóstico (mediante las pruebas de imagen) y en la terapéutica médica, la energía nuclear, fuentes industriales y productos de consumo. La principal fuente de radiación ionizante de origen artificial es la utilizada para el diagnóstico médico, es decir, los rayos X ⁽³⁾.

Las propiedades físicas de los rayos X son las siguientes:

1. Penetración. Los rayos x pueden penetrar en la materia, produciendo tres tipos de radiación:

- Radiación incipiente, que es la que se absorbe
- Radiación dispersa, que es la radiación que se dispersa al ambiente
- Radiación emergente, es la radiación que no se absorbe y atraviesa la materia.

En función de las características físicas de la materia que está expuesta a la radiación, se absorberá una cantidad de radiación distinta según el coeficiente de atenuación específico de cada sustancia.

2. Efecto fotográfico, es la capacidad de actuar en las emulsiones de las placas radiográficas

3. Efecto luminiscente, es la capacidad de emitir luz tras la exposición a rayos X.

4. Efecto biológico, es la propiedad de inducir cambios en los seres vivos.

5. Efecto ionizante, que es la capacidad de ionizar la materia al interactuar con ella.

Conceptos sobre las radiaciones ionizantes de interés en Protección Radiológica.

1. Ley de la inversa del cuadrado de la distancia

La dosis de radiación ionizante sobre una superficie (receptor), va a depender de la inversa del cuadrado de la distancia entre el foco emisor y la superficie ($1/d^2$)⁽⁴⁾. Por lo tanto, al aumentar la distancia entre el foco emisor de rayos x y el receptor de 1m a 2m, la dosis de radiación recibida se reduce hasta un 25% ($1/2^2$), no a la mitad como podríamos pensar.

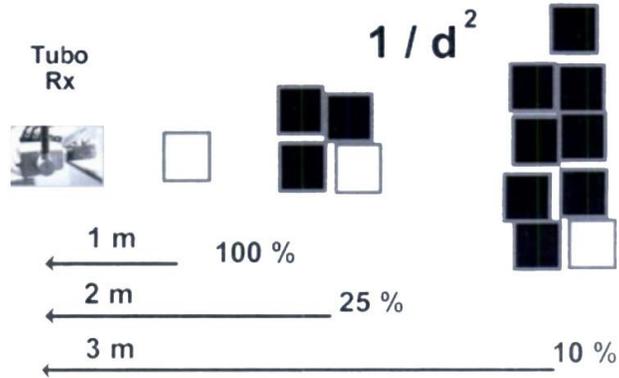


Figura 1. Ley de la Inversa del Cuadrado de la Distancia. Tomada y modificada de Alcaraz Baños M. Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico. 2ª ed ⁽⁴⁾.

2. Ley del coseno.

Para una distancia fija entre la fuente emisora de radiación y la superficie receptora, la dosis o intensidad de radiación va a depender del ángulo con el que incida la radiación en dicha superficie, teniendo un valor máximo cuando el ángulo sea de 90° ⁽⁴⁾. Es decir, para una distancia determinada, la dosis de radiación es menor en el sentido contrario del haz del foco de emisión ⁽⁴⁾.

Magnitudes y unidades

Dosis absorbida (D): cantidad de energía cedida a la materia al interaccionar con las radiaciones ionizantes. Su unidad es el gray (Gy). En materia de protección radiológica es habitual emplear el miligray (mGy), debido a que el gray es una unidad muy elevada.

La dosis absorbida no expresa en la totalidad el efecto biológico de la radiación, ya que va a depender del tipo y de la energía de la radiación, así como del tejido que absorbe esa radiación. Por lo que se introducen las siguientes dos magnitudes:

Dosis equivalente (H): es la dosis media absorbida en un órgano o tejido, ponderada en función del tipo y calidad de la radiación. Se expresa en sievert (Sv) ⁽¹⁾. Va a permitir comparar el efecto para una misma dosis de radiación absorbida en los distintos órganos y tejidos, dependiendo del tipo de radiación y su energía.

Dosis efectiva: es la suma de las dosis promedio en los distintos órganos ponderadas con unos factores que representan el cociente entre el riesgo de ese órgano y el riesgo total cuando todo el cuerpo se irradia uniformemente. Esta magnitud se utiliza en ocasiones para estimar los riesgos de los efectos estocásticos. Su unidad es el Sv y su valor informa sobre el riesgo global del organismo ⁽¹⁾.

$$H_{ef} = \sum H_i w_i$$

Tejido u órgano	Factor de ponderación (w_i)
Médula ósea (roja)	0,12
Colon	0,12
Pulmón	0,12
Estómago	0,12
Mama	0,12
Gónadas	0,08
Vejiga	0,04
Esófago	0,04
Hígado	0,04
Tiroides	0,04
Hueso (superficie)	0,01
Cerebro	0,01
Glándulas salivares	0,01
Piel	0,01

Tabla 1. Factores de ponderación recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica en 2007.

Dosis equivalente personal: se distingue entre profunda, $H_p(10)$, y superficial, $H_p(0.07)$. Se utiliza en dosimetría personal y se mide habitualmente en mSv. Representan la dosis medidas a 10 mm de profundidad en tejido blando (para estimar la dosis efectiva del trabajador) y a 0.07 mm de profundidad (para estimar dosis en las manos). Se puede utilizar también $H_p(3)$ para estimar las dosis en el cristalino.

- Unidades de absorción:

Gray (Gy): energía que absorbe la materia, y tiene su origen en la radiación. Equivale a la energía de 1 julio cedida en un kilogramo de materia.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Kerma (k): “energía absorbida por unidad de masa a partir de la energía cinética inicial liberada en la materia de todos los electrones liberados por los rayos X o rayos gamma. Se expresa en Gy” ⁽¹⁾.

- Unidades de equivalencia:

Rem: o radiación equivalente en el hombre): unidad de la dosis equivalente y de la dosis efectiva. Ha sido reemplazado por el sievert (Sv) en el Sistema Internacional (SI).

Sievert (Sv): unidad de la dosis equivalente y de la dosis efectiva en el SI. Equivale a 100 rem.



1 Sv = 100 rem

Biblioteca
UNIVERSITAS Miguel Hernández

2.2 RADIOBIOLOGÍA

La radiobiología es una ciencia, parte de la Biología, que estudia los efectos de la radiación en los seres vivos. Dentro de esta rama, la gran parte de la literatura científica se focaliza en la relación entre la dosis de radiación y su respuesta biológica, con la intención de prever los efectos que provoca una dosis calculada de radiación, y con ello tener un conocimiento más preciso.

La radiosensibilidad es la susceptibilidad a la radiación de una célula o tejido vivo. Bergonie y Tridonbeau establecieron en 1906 unos postulados sobre la radiosensibilidad en función del estado metabólico del tejido irradiado ⁽⁵⁾:

- 1) Las células madre son más radiosensibles que las células maduras.
- 2) El tejido joven es más radiosensible que el maduro.

3) La actividad metabólica elevada es radiosensible, mientras que la tasa metabólica baja se caracteriza por ser radiorresistente.

4) La mayor proliferación y tasa de crecimiento celular contribuye a una mayor radiosensibilidad.

Además de estos factores, hay otros factores tanto físicos como biológicos que también afectan a los tejidos:

- Transferencia lineal de energía o LET (*Linear Energy Transfer*). Es la relación entre la energía de la radiación y el tejido al que se transfiere. La probabilidad de que se den efectos biológicos es mayor cuando la LET es elevada, ya que aumenta la capacidad de ionización de los rayos X.

- Eficacia biológica relativa o RBE (*Relative Biologic Effectiveness*). Es la relación entre la dosis de una radiación de referencia y la dosis de radiación considerada que produce el mismo efecto biológico. La RBE refleja de forma cuantitativa el aumento de capacidad de daño biológico al aumentar la LET.

- Escalamiento y fraccionamiento de la dosis. Al aumentar el tiempo durante el que el tejido se expone para una determinada dosis de radiación, el efecto es menor ya que se da tiempo para que actúen los mecanismos de reparación celular.

- Efecto del oxígeno. La radiosensibilidad aumenta con la oxigenación plena del tejido.

- Edad. La radiosensibilidad es mayor durante la vida intrauterina, desciende tras el nacimiento y vuelve a aumentar en la vejez.

- Recuperación. Es la combinación de reparación intracelular y repoblación, que reparan el daño que provoca la radiación. Las distintas poblaciones celulares tienen una capacidad diferente de recuperarse del daño subletal, y si hay un número suficiente de células que sobreviva a la radiación, pueden proliferar y repoblar el órgano o tejido dañado.

2.2.1 Los efectos de la radiación en los seres vivos

Los efectos perjudiciales de los rayos X son indudables, aunque también lo son los beneficios que supone su uso para el diagnóstico médico.

La respuesta del cuerpo humano a la radiación ionizante es impredecible. Los efectos que produce se deben a interacciones a nivel atómico, por los fenómenos de excitación y de ionización. En estos procesos se libera energía, que a nivel de los tejidos puede provocar cambios a nivel molecular. La repercusión que esto puede tener depende de si la molécula tiene un papel decisivo en una determinada vía metabólica o no. Con la ionización, las propiedades físicas del átomo se modifican, lo que también altera sus propiedades químicas. Esto conlleva a que la molécula se rompa o se altere, dando lugar a una molécula anómala. Esta molécula anómala, puede no funcionar o funcionar de forma incorrecta, lo que puede provocar deterioro de la célula o incluso su muerte. Sin embargo, la célula cuenta con mecanismos de reparación, por lo que este proceso es reversible en la mayoría de las ocasiones ⁽⁷⁾.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica, o *International Commission on Radiological Protection* (ICRP), clasifica los efectos producidos por la radiación en efectos deterministas y efectos no deterministas, según sean las características de las lesiones producidas por la radiación ionizante ^(7,8).

- **Efectos deterministas:** tienen dosis umbral, por debajo de la cual no ocurren los daños en el organismo. Su gravedad será mayor cuando mayor sea la dosis de radiación absorbida. No son hereditarios, son somáticos (aunque pueden afectar a las células germinales) y son predecibles ⁽⁴⁾.
- **Efectos no deterministas o estocásticos:** la probabilidad de que ocurran, que no su gravedad, depende de la dosis de radiación. Dan lugar a mutaciones, que pueden afectar a células somáticas o células germinales, originando neoplasias o malformaciones fetales. Su gravedad es independiente de la dosis de radiación, es decir, no hay dosis umbral, y la probabilidad de que aparezcan será mayor al aumentar la dosis de radiación. Estos efectos tienen una gran importancia en los profesionales que en su actividad laboral se encuentran expuestos a radiación ionizante, ya que no se pueden evitar completamente ⁽⁴⁾.

2.2.2 Efectos inmediatos

Los efectos inmediatos son efectos deterministas, y ocurren cuando transcurre poco tiempo tras la exposición a la radiación.

Podemos distinguir las siguientes alteraciones:

Letalidad por radiación aguda.

El síndrome de radiación aguda incluye tres síndromes distintos: la muerte hematológica, la muerte gastrointestinal y la muerte del sistema nervioso central. El síndrome hematológico se caracteriza por la muerte de las 3 series celulares (glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas). El síndrome gastrointestinal se produce como consecuencia de la muerte del epitelio intestinal, mientras que la afectación del sistema nervioso se da por aumento de la presión intracraneal.

El síndrome de radiación aguda se desarrolla en tres fases. La primera fase prodrómica se inicia en las primeras horas y puede prolongarse hasta un par de días después la exposición. Después, hay un periodo de recuperación aparente o periodo de latencia, que puede prolongarse varias semanas, desarrollándose en último lugar a la fase de enfermedad manifiesta.

Un ejemplo de este tipo de efecto fue el accidente de Chernóbil, donde se documentaron muertes por síndrome de radiación aguda. Sin embargo, afortunadamente en la actualidad no existen casos de muerte por síndrome de radiación aguda. Gracias a los equipos modernos no se alcanzan dosis letales durante el diagnóstico de imagen.

Daño hístico local.

La respuesta de cada tejido va a depender de su radiosensibilidad específica, siendo la piel es el tejido más estudiado. Los efectos cutáneos potenciales de altas dosis de fluoroscopia son eritema inmediato transitorio, eritema importante, depilación permanente o temporal y descamación húmeda ⁽⁹⁾.

Las gónadas son órganos con una alta radiosensibilidad. En los ovarios, la radiosensibilidad cambia en función de la edad, siendo más sensibles en la vida fetal y la infancia temprana.

La radiación puede provocar atrofia ovárica por muerte de las células germinales en etapas tempranas, retraso de la menstruación en la pubertad, y amenorrea e infertilidad temporal a partir de los 30 años.

La irradiación de los testículos puede provocar descenso en el número de espermatozoides. Además, también se pueden producir mutaciones en la descendencia en los primeros 4 meses de la exposición.

Efectos hematológicos.

Al irradiar el sistema hematopoyético (médula ósea, sangre periférica y tejido linfoide), ocurre un descenso del recuento de células sanguíneas maduras en sangre periférica secundario al descenso de todos los precursores celulares, siendo los linfocitos las células más radiosensibles.

Efectos citogenéticos.

La radiación ionizante produce daños a nivel de los cromosomas. Puede provocar distintos daños, tanto con dosis umbral como sin ella. La exposición a dosis bajas de radiación se ha relacionado con anomalías cromosómicas secundarias a rotura simple del ADN.

2.2.3 Efectos tardíos

Los efectos tardíos de la radiación ocurren tras un periodo largo de exposición, siendo la mayoría de estos efectos no deterministas.

Estos efectos son:

1. Neoplasias.

El daño cromosómico que tiene lugar en los linfocitos se puede manifestar tanto de forma inmediata como tardía. La expresión clínica de la forma tardía es la leucemia.

Otras neoplasias inducidas por la radiación son el cáncer óseo, de pulmón, tiroideo y/o de mama.

2. Lesión hística a nivel local

A nivel cutáneo, destacan la aparición tardía de carcinomas y la radiodermatitis. La radiodermatitis se observó en los primeros radiólogos, que realizaban pruebas con fluoroscopia sin guantes plomados. Se observó que las manos adquirirían un aspecto envejecido, despigmentado, y queratinizado de la piel. La dosis necesaria para que se produzcan es muy elevada, no observándose este efecto con las dosis actuales de exposición.

A nivel ocular, se dan las cataratas inducidas por radiación, debido a la gran radiosensibilidad del cristalino. Este efecto es más frecuente en el personal con exposición continua y prolongada en el tiempo.

2.2.4 Gestación y radiación

Durante la gestación, el periodo de máxima sensibilidad es el primer trimestre. 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 coeficiente intelectual bajo y las enfermedades malignas en la infancia.

Sin embargo, es poco probable que la exposición embrionaria o fetal durante las exploraciones radiodiagnósticas a la mujer gestante produzcan efectos deterministas en el niño nacido.

2.3 LA FLUOROSCOPIA EN LA PRÁCTICA CLÍNICA

El radiodiagnóstico es el conjunto de técnicas que, mediante el uso de rayos X, permite obtener imágenes del organismo. En la actualidad, con la mejora técnica y científica de los equipos de rayos X, cada vez hay más procedimientos médicos que los utilizan ^(10,11).

Las exploraciones con rayos X que se utilizan para realizar procedimientos quirúrgicos son la radiología convencional y la fluoroscopia. La diferencia principal entre la radiología convencional y la fluoroscopia es que la segunda es dinámica ⁽¹²⁾. Esta capacidad de ofrecer imágenes anatómicas en movimiento supone una gran ventaja al facilitar una localización de las zonas a tratar con mayor precisión, y permitir la comprobación de que la posición del instrumental es adecuada.

En esta técnica, el receptor de imagen es una pantalla fluorescente que se ilumina cuando el haz de rayos X incide sobre ella. Se usan intensificadores de imagen para aumentar la intensidad de la imagen luminosa, que va a ser recogida por una cámara y visualizada en un monitor.

En la fluoroscopia la emisión de radiación puede prologarse durante más tiempo que en la radiología convencional debido precisamente a que es una exploración dinámica, lo que puede incrementar notablemente la dosis de radiación recibida para el paciente y para los trabajadores que están expuestos durante el procedimiento.

Los procedimientos que se suelen realizar guiados por fluoroscopia son los siguientes ⁽¹³⁾:

- Sobre patología del sistema músculoesquelético: reducción y osteosíntesis de fracturas, vertebroplastias, cifoplastia, ablación nerviosa por radiofrecuencia, localización y colocación de agujas para inyecciones intraarticulares, aspiración o toma de biopsia.
- Sobre el aparato digestivo: gastrostomía percutánea
- Sobre la región hepatobiliar: colangiopancreatografía retrógrada (CPRE), exploraciones de la vía biliar
- Sobre el aparato urinario: nefrostomías, nefrolitotomía percutánea, cistografías, ureterografía y pielografías.
- Sobre el sistema vascular: angioplastias, filtros de vena cava, reparación de aneurismas y embolizaciones
- Sobre el sistema nervioso central: angiografías, embolizaciones y trombólisis.

2.3.1 Características de los equipos radioquirúrgicos.

Los equipos radioquirúrgicos son móviles, a diferencia de los de radiodiagnóstico convencionales que son fijos. Esto permite que se puedan desplazar según el procedimiento y de las características del paciente.

El equipo más empleado es el arco en C, en el que el tubo de rayos X y el receptor de imagen se conectan por un brazo con forma de C. Esta disposición permite un amplio abanico de movimientos del arco en torno al paciente sin movilizar todo el equipo. El paciente estará situado entre el tubo emisor de rayos X y el detector. El arco además se une al pie del equipo, que contiene el generador de rayos X y la consola de mandos. Otro de los elementos que lo componen es el monitor para visualizar las imágenes.

Una de las funciones de los equipos actuales es la generación de fluoroscopia pulsada, permitiendo que haya intervalos de tiempo de exposición, sin que tenga que ser continua durante todo el procedimiento. Esto permite que la dosis de radiación sea menor para el personal y para el paciente.

2.3.2 Situación actual.

En los últimos años, el uso de la radiación ionizante se ha incrementado de forma notable gracias a los avances en los procedimientos médicos. El uso de la fluoroscopia en procedimientos quirúrgicos y la radiología intervencionista han presentado grandes progresos, lo que ha supuesto un aumento del grado, el volumen y la complejidad de los pacientes sometidos a procedimientos dirigidos por técnicas de imagen ⁽¹⁴⁾.

La exposición a la radiación ionizante es inevitable en este tipo de intervenciones, por lo que es fundamental para disminuir los efectos nocivos de la técnica y minimizar la absorción de radiación, tanto en el paciente como en los profesionales.

Un aspecto que destaca en el campo de la protección radiológica es la escasez de estudios poblacionales a largo plazo sobre los efectos perjudiciales de la radiación ionizante en el ámbito ocupacional.

3. JUSTIFICACIÓN

Los rayos X suponen en la actualidad la mayor fuente de origen humano de radiación ionizante.

En los últimos años, gracias a los avances técnicos y científicos en el ámbito sanitario, el uso de la fluoroscopia ha aumentado considerablemente. Aunque los beneficios de la aplicación de los rayos X aplicados a la medicina son indiscutibles, su uso debe basarse en una actitud prudente y en la adopción rigurosa de las medidas dirigidas a reducir la exposición innecesaria, tanto para el paciente como para el profesional sanitario.

Dentro del campo de la protección radiológica hay pocos trabajos publicados sobre los efectos de la radiación en los profesionales sanitarios que se dediquen a procedimientos guiados por fluoroscopia.

Con este trabajo se persigue realizar una revisión de la literatura sobre los efectos perjudiciales de la radiación ionizante, las medidas que se deben adoptar para minimizar los efectos perjudiciales y la normativa vigente, todo ello enfocado en los profesionales sanitarios.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo principal

- Conocer los riesgos laborales que supone el uso de la fluoroscopia en el ámbito quirúrgico a los que está expuesto el personal sanitario, a través de una revisión bibliográfica.

4.2 Objetivos secundarios

- Analizar los efectos de las radiaciones ionizantes en el ser humano.
- Analizar la normativa relacionada con la protección radiológica en el ámbito profesional.
- Exponer las medidas preventivas que se deben adoptar.
- Evaluar el cumplimiento de las medidas en el Hospital General Universitario Reina Sofía y proponer medidas de mejora.



5. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realiza una revisión bibliográfica sobre la protección radiológica en el ámbito quirúrgico, abordando en primer lugar una introducción teórica sobre la radiación, y después sobre el papel de la fluoroscopia en el quirófano, el marco legal y las medidas de protección radiológica que deben adoptar los profesionales.

La búsqueda bibliográfica se realizó del 1 al 10 de junio de 2021, utilizando las palabras clave “radiación”, “protección radiológica”, “fluoroscopia”, “radiation”, “radiological protection”, “operating room”, “fluoroscopically”, “occupational exposure” y “training”. Las bases de datos consultadas fueron Pubmed, Cochrane, Medline, Scopus y Google Académico.

Se seleccionaron los artículos en los que aparecían las palabras clave en el título o en el *abstract* y que trataran sobre el tema de este trabajo, los que estuvieran en español o en inglés y los que estuvieran relacionados con este trabajo.

Se excluyeron los trabajos a los que no se podía acceder al texto completo o no estaban relacionados con el ámbito quirúrgico.

En total, se seleccionaron 44 documentos y artículos para realizar la revisión.

Además, durante la semana del 12 al 16 de julio de 2021 se realizó una evaluación presencial sobre el grado de cumplimiento de cumplimiento de las medidas de protección radiológica en los procedimientos quirúrgicos en los que se utilizó fluoroscopia.

Se evaluó el grado de uso del dosímetro, si se mantenía la máxima distancia posible entre los profesionales y la fuente emisora de radiación, si se intentaba utilizar la fluoroscopia durante el mínimo tiempo posible, si se colimaba la imagen y se usaban gafas, guantes y delantales plomados.

6. RESULTADOS

6.1 MARCO LEGAL

La Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 (LPRL), “establece los principios generales a los que debe someterse la Vigilancia de la Salud de los trabajadores” ⁽¹⁵⁾. Es fundamental conocer los riesgos relacionados con el desarrollo del trabajo para poder prevenirlos, además de evaluarlos con el fin de eliminarlos o minimizarlos mediante medidas de protección para los trabajadores.

Dentro del ámbito de la protección radiológica, la ICRP define la exposición ocupacional “como toda exposición a radiaciones de los trabajadores como resultado de su trabajo, quedando excluidas las exposiciones existentes (fondo natural de radiación) y las exposiciones médicas que recibe el trabajador como paciente” ⁽¹⁶⁾.

Existen varios organismos que se encargan de difundir el conocimiento y la aplicación de los principios de la protección radiológica mediante guías de actuación, reglamentos, leyes y órdenes ministeriales.

6.1.1 Organismos internacionales

1. Comité Internacional de Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR).

Es un comité científico de Naciones Unidas cuyo objetivo es estimar los niveles y los efectos de la exposición a radiación ionizante e informar sobre ellos. Periódicamente realiza exámenes exhaustivos basados en la información científica actualizada para la Asamblea Nacional de las Naciones Unidas que se utilizan como base para elaborar medidas de protección radiológica.

2. Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICPR)

Se trata de un organismo internacional independiente, cuyos miembros son los principales científicos y legisladores del ámbito de la protección radiológica. Esta organización está constituida por cinco comités, que se dedican a distintos campos, que son el estudio de los efectos de las radiaciones, definición de límites secundarios de dosis, protección radiológica en medicina, aplicación de las recomendaciones que ella formula, y protección del medio ambiente.

La ICPR publica recomendaciones sobre la protección contra las radiaciones ionizantes, que constituyen la base para la normativa y la reglamentación de otras organizaciones. Ha publicado más de un centenar de informes sobre diferentes aspectos de la protección radiológica.

En cuanto al tema de este trabajo, destacan las publicaciones nº 117⁽¹⁷⁾, que trata sobre la protección radiológica en procedimientos guiados por fluoroscopia fuera del servicio de radiodiagnóstico, y la nº 105⁽¹⁸⁾, que aborda la protección radiológica en Medicina.

3. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)

El OIEA es un organismo mundial de cooperación científica en el uso pacífico de la tecnología nuclear. Da apoyo a los Estados Miembros de las Naciones Unidas en aspectos de seguridad radiológica. Dentro de sus publicaciones, destacan “Nociones fundamentales sobre protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación” y “Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante”, ambos publicados en 1996.

Entre sus diferentes programas, destaca el “Programa de protección ocupacional”, con el que se pretende establecer un criterio internacional para mejorar las medidas y los conocimientos sobre protección radiológica ocupacional, con la elaboración de directrices. Para ello, redacta una serie de Guías de Seguridad que recopilan el conjunto los principios aceptados internacionalmente y las prácticas recomendadas sobre protección radiológica ocupacional.

4. Comunidad Europea de Energía Atómica (EURATOM)

Es un organismo que se crea por la Comunidad Europea para “establecer las medidas necesarias para la existencia de un mercado común de materia nuclear”. Entre sus numerosas funciones destacan: establecer normas de seguridad sobre protección radiológica para los trabajadores y para la población, y velar por la aplicación de dichas normas; desarrollo de la investigación; y promover el progreso en la utilización pacífica de la energía nuclear.

Los Estados Miembros de la Unión Europea (UE) deben adaptar e incorporar la normativa dispuesta de la EURATOM a sus legislaciones, ya que son de obligado cumplimiento.

6.1.2. Organismos nacionales

1. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)

Es un organismo colegiado, independiente de la Administración General del Estado, y es el único organismo de España con competencias en seguridad nuclear y protección radiológica. Posee capacidad jurídica propia.

Su principal función es proteger a los trabajadores, la población y el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. En el artículo primero de la Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear ⁽¹⁸⁾ se exponen las bases de su creación. El artículo 2 de dicha Ley se establecen sus funciones, destacando tres de ellas por estar relacionadas con este trabajo:

“- Proponer al Gobierno las reglamentaciones necesarias en materia de protección radiológica. Además, adecuará la legislación nacional a la internacional, especialmente la derivada de las directivas de la Unión Europea.

- Colaborar con las autoridades competentes en relación con la vigilancia sanitaria de los trabajadores profesionalmente expuestos y en la atención médica de personas potencialmente afectadas por las radiaciones ionizantes.

- Conceder y renovar, las acreditaciones para dirigir u operar las instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico.”

2. Administración General del Estado.

Destaca el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, que se encarga de las autorizaciones de las instalaciones nucleares y radiactivas, y de elaborar el Registro de Instalaciones de Rayos X con fines de diagnóstico médico. Además, el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad es el que se ocupa de la protección radiológica de las personas expuestas a radiaciones ionizantes por diagnóstico y tratamiento médico.

Por último, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente tiene competencias en la evaluación del impacto radiológico ambiental.

6.1.3. Legislación y normativas

La legislación y normativa básicas relacionadas con la protección radiológica en el ámbito quirúrgico es la siguiente:

1. “**Real Decreto 783/2001**, en el que se aprueba el Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes” ⁽¹⁹⁾. En este artículo se establecen los límites de dosis para el personal expuesto, los principios de protección de los trabajadores, la clasificación de las zonas de trabajo y de las categorías de los trabajadores, el control dosimétrico y la vigilancia de la salud de los trabajadores.
2. “**Real Decreto 1439/2010**, de 5 de noviembre, por el que se modifica el RD 783/2001” ⁽²⁰⁾. En este decreto se concretan aspectos sobre la radiación de origen natural.
3. “**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” ⁽²¹⁾.
4. **Ley 31/1995**, de Prevención de Riesgos Laborales ⁽²²⁾. El artículo 18 reúne las normas de trabajo seguro para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.
5. “**Ley 15/1980**, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear”. En esta ley se establece al CSN como un organismo independiente de la Administración General del Estado y como único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. También establece las funciones del Consejo, su constitución y su régimen jurídico y se complementa con el Estatuto del CSN, que concreta su estructura, organización, funciones y régimen jurídico ⁽²³⁾.

6. “**Directiva 2013/59/EURATOM** del consejo de 5 de diciembre de 2013 por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes”.

7. **Publicación nº 117 de la ICRP** ⁽¹⁷⁾. En ella se recogen aspectos sobre el uso de la fluoroscopia en procedimientos médicos.

8. **Publicación nº 84 de la ICRP** ⁽²⁴⁾. En ella se recogen aspectos sobre los efectos de la radiación y la protección radiológica durante el embarazo y la lactancia.

9. “**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” ⁽²⁵⁾.

6.2 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

6.2.1 Conceptos, objetivos y principios

Según el RD 815/1980, “la protección radiológica es el conjunto de medidas establecidas por los organismos competentes para la utilización segura de las radiaciones ionizantes y garantizar la protección de los individuos, de sus descendientes, de la población en su conjunto y del medio ambiente, frente a los posibles riesgos que se deriven de la exposición a las radiaciones ionizantes” ⁽²⁵⁾. Es decir, se trata actividad multidisciplinar de carácter científico y técnico, que tiene el objetivo de aportar un correcto nivel de protección para las personas que se exponen a la radiación ionizante, pero sin limitar los beneficios que les pueden aportar.

La ICRP propuso el “Sistema de Protección Radiológica”, que se basa en tres criterios fundamentales:

1. Criterio de justificación.

Cualquier procedimiento en el que se utilicen radiaciones ionizantes debe estar justificada, de modo que no se deben realizar pruebas diagnósticas o terapéutica que precise exposición a radiación sin que suponga un beneficio para el paciente. Es decir, cualquier dosis que se reciba debe ser a cambio de un beneficio.

El médico que solicita la prueba que conlleva a la exposición de radiación ionizante al paciente es el que tiene la responsabilidad de la justificación de que realmente sea necesaria para su diagnóstico o seguimiento.

La ICRP indica que “La responsabilidad por la justificación del uso de un procedimiento en particular recae en los facultativos médicos pertinentes, quienes necesitan tener una capacitación especial en protección radiológica”.

2. Criterio de optimización.

Todas las exposiciones a radiación ionizante deben optimizarse según el principio ALARA, que hace referencia a las siglas en inglés “*As Low As Reasonably Achievable*”. Este término se traduce al español como “tan bajo como sea razonablemente posible”.

La importancia de esto radica en que toda dosis de radiación conlleva algún tipo de riesgo para la salud debido a los efectos no deterministas. Para minimizar la probabilidad de que estos ocurran se deben respetar los límites de dosis que recomienda la normativa nacional.

3. Criterio de limitación.

Se deben limitar las dosis de radiación a las que se exponen los trabajadores. En la legislación vigente se establecen estos límites de dosis. Este concepto no tiene aplicación para los pacientes, ya que para las exposiciones médicas no se recomiendan límite de dosis.

6.2.2 Límites de dosis

Como ya se ha mencionado anteriormente, hay unos límites de dosis de radiación establecidos para los trabajadores. Dichos límites se aplican a la suma de las dosis procedentes de las exposiciones externas en el periodo especificado y las dosis comprendidas para cincuenta años en los adultos y hasta setenta años en el caso de los niños. En estas limitaciones no se contempla la exposición a radiación natural ni a las exposiciones médicas que recibe el trabajador como paciente ⁽¹⁹⁾.

Según el Artículo 9 del R.D. 783/2001 ⁽¹⁹⁾ “el límite de dosis para los trabajadores expuestos es:

1. El límite de dosis efectiva para trabajadores expuestos será de 100 mSv durante todo el periodo de 5 años oficiales consecutivos, sujetos a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.
2. Sin perjuicio de lo dispuesto en el Apartado 1 los límites de dosis equivalente serán:
 - a) El límite de dosis equivalente para el cristalino será de 150 mSv por año oficial.
 - b) El límite de dosis equivalente para la piel será de 500 mSv por año oficial. Dicho límite se aplicará a la dosis promedia sobre cualquier superficie de 1 cm² con independencia de la zona expuesta.
 - c) El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos será de 500 mSv por año oficial.”

Aunque hasta ahora el límite de dosis para el cristalino era de 150 mSv por año oficial, en las últimas recomendaciones de la ICRP se aconseja la modificación de este límite a 20 mSv por año durante un periodo de cinco años, sin sobrepasar los 50 mSv en un único año ⁽²⁶⁾.

En cuanto al personal en formación y a los estudiantes mayores de 18 años, los límites establecidos van a ser los mismos que para los trabajadores. En cambio, si la edad está

comprendida entre 16 y 18 años, los límites son más restrictivos, y los recoge el artículo 11 del RD 781/2001⁽¹⁹⁾:

“1. Los límites de dosis para las personas en formación y los estudiantes mayores de dieciocho años que, durante sus estudios, tengan que utilizar fuentes, serán los mismos que los de los trabajadores expuestos que se establecen en el artículo 9.

2. El límite de dosis efectiva para personas en formación y estudiantes con edades comprendidas entre dieciséis y dieciocho años que, durante sus estudios, tengan que utilizar fuentes, será de 6 mSv por año oficial.

Sin perjuicio de este límite de dosis:

- a) El límite de dosis equivalente para el cristalino será de 50 mSv por año oficial.
- b) El límite de dosis equivalente para la piel será de 150 mSv por año oficial. Dicho límite se aplicará a la dosis promediada sobre cualquier superficie de 1 cm² con independencia de la zona expuesta.
- c) El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos será de 150 mSv por año oficial.

3. Los límites de dosis para las personas en formación y los estudiantes que no estén sometidos a las disposiciones previstas en los apartados 1 y 2 serán los mismos que los establecidos en el artículo 13 para los miembros del público.”

Dosis por año oficial	Trabajadores expuestos	Personal en formación
Dosis efectiva	100 mSv	< 18 años: 6 mSv > 18 años: 100 mSv
Dosis equivalente en el cristalino	150 mSv Nuevo límite: 20mSv/año durante 5 años	< 18 años: 50 mSv > 18 años: 150 mSv Nuevo límite: 20 mSv/año durante 5 años
Dosis equivalente en la piel	500 mSv	< 18 años: 150 mSv > 18 años: 500 mSv
Dosis equivalente en manos, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv	< 18 años: 150 mSv > 18 años: 500 mSv

Tabla 2. Resumen de los límites de dosis de exposición.

6.2.3 Clasificación de los trabajadores

Se consideran trabajadores expuestos (TE) los que pueden estar expuestos a dosis superiores a 1mSv por año oficial. Existen dos categorías:

1. Categoría A.

Según el RD 783/2001 ⁽¹⁹⁾, son los TE que “por las condiciones en las que realizan su trabajo, pueden recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año, o una dosis equivalente superior a 15 mSv por año para el cristalino o a 150 mSv por año para la piel y las extremidades”.

La vigilancia de las dosis se realizará sistemáticamente según las mediciones individuales realizadas por un servicio de dosimetría. Estos trabajadores serán sometidos también a controles médicos por un servicio de salud laboral.

2. Categoría B.

Según el RD 783/2001 ⁽¹⁹⁾, son “aquellas personas que por las condiciones en las que se realiza su trabajo es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, la piel y las extremidades”.

En la práctica clínica, los TE son aquellos que llevan a cabo su actividad diaria en zonas en las que se utilizan radiaciones ionizantes, como son los equipos de fluoroscopia.

Los profesionales sanitarios que se consideran como trabajadores expuestos en el ámbito de la fluoroscopia son los residentes y especialistas en Cirugía Ortopédica y Traumatológica, Urología, Anestesiología, Aparato Digestivo, Cirugía General y del Aparato Digestivo y Cardiología; además del personal de enfermería y auxiliar, y los técnicos de imagen que también desempeñen su actividad laboral en esos quirófanos.

6.2.4 Clasificación y señalización de las zonas de trabajo

Según el RD 783/2001 ⁽¹⁹⁾, las áreas de trabajo se clasifican en función del riesgo de exposición y de la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales en diferentes zonas.

“Se considera **Zona Vigilada** aquella que no siendo Zona Controlada 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 equivalentes para el cristalino, la piel, y las extremidades.

Se considera **Zona Controlada** aquella en la que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades o bien, aquella zona en que sea necesario seguir procedimientos de trabajo con objeto de restringir la exposición a la radiación ionizante, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias.

Además, las Zonas Controladas se subdividen en:

- **Zona de Permanencia Limitada:** son aquellas en las que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites de dosis legalmente fijados.
- **Zona de Permanencia Reglamentada:** Son aquellas en las que existe el riesgo de recibir, en cortos periodos de tiempo, una dosis superior a los límites de dosis legalmente fijados y que requieren prescripciones especiales desde el punto de vista de la optimización.
- **Zona de Acceso Prohibido:** Son aquellas en las que existe riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites legalmente fijados.”



Figura 2. Señalización de las distintas zonas de trabajo.

6.2.5 Vigilancia y control

Vigilancia dosimétrica.

La vigilancia dosimétrica individual la realizan los servicios de dosimetría personal autorizados por el CSN y varía según la categoría del trabajador expuesto.

Los dosímetros son sistemas detectores diseñados para estimar la dosis de radiación acumulada en un determinado tiempo. Hay diferentes tipos dependiendo del sistema de funcionamiento, siendo los más frecuentes los de termoluminiscencia.

Como ya se mencionó anteriormente, es obligatorio el uso de dosímetro individual en los trabajadores de categoría A. Este dosímetro medirá la dosis externa, que orienta sobre la dosis que recibe todo el cuerpo durante la jornada laboral. En el caso de que la exposición sea parcial, los trabajadores deberán utilizar otro tipo de dosímetro que refleje la exposición a las zonas potencialmente más afectadas.

Los dosímetros individuales se clasifican según su lugar de colocación en:

1. Dosímetros de cuerpo entero.

Es el tipo de dosímetro que se suele utilizar. Estima la dosis recibida en la totalidad del organismo, y se coloca debajo de las protecciones que se utilicen, por ejemplo, un delantal plomado. Debe llevarse durante toda la jornada laboral.



Figura 3. Dosímetros de cuerpo entero.

2. Dosímetros de extremidades

- Muñeca: estima las dosis recibidas en las extremidades.
- Anillo: para la evaluación de la dosis de radiación en las manos.



Figura 4. Dosímetros de muñeca (A) y de anillo (B).

3. Dosímetros específicos para la medición en otras zonas o situaciones especiales

De cristalino: para la estimación de dosis en el cristalino.



Figura 5. Dosímetro de cristalino, tomada de Jaramillo et al ⁽²⁷⁾.

- De abdomen: estima la dosis recibida en el abdomen de las trabajadoras gestantes expuestas. Su finalidad es estimar la dosis absorbida por el feto.



Figura 6. Dosímetro de abdomen en trabajadora embarazada.

Por otro lado, en los trabajadores de categoría B, la estimación de dosis se puede realizar mediante dosimetría de área o dosimetría individual. La dosimetría de área se utiliza para medir la dosis de radiación en un área concreta.

La dosis recibida por los TE se debe evaluar con una periodicidad no superior a un mes, según el artículo 27 del RD 783/2001 ⁽¹⁹⁾. El historial dosimétrico de cada trabajador, así como su historial médico se deben conservar por parte de los Servicios de Prevención hasta que el trabajador alcance la edad de 75 años y durante al menos un periodo de treinta años tras el cese de la actividad laboral.

Vigilancia de la salud.

La vigilancia de la salud de los TE se basa en los principios generales de la Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995, ⁽²²⁾ y el RD 783/2001 ⁽¹⁹⁾. El Ministerio de Sanidad y Consumo elaboró el Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica ⁽⁸⁾, que tiene como objetivo servir de guía para la vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a radiaciones, tanto de categoría A como B.

Según el RD 783/2001 ⁽¹⁹⁾, los trabajadores de categoría A deberán someterse a un examen de salud inicial y a exámenes periódicos anuales o con una frecuencia mayor si fuera

necesario, para confirmar que los trabajadores son aptos para ejercer sus funciones y que el trabajo no condiciona efectos perjudiciales en su salud (Anexo 1). El Servicio de Prevención de Riesgos Laborales es el encargado de la vigilancia y control de la salud de dichos trabajadores.

Estos reconocimientos médicos estarán adaptados a la exposición a radiaciones ionizantes, y se componen de un examen clínico general y las pruebas necesarias para comprobar el estado de los órganos expuestos a la radiación.

Es necesaria una vigilancia sanitaria especial cuando se sospecha o se confirma que se superan los límites de dosis de exposición ^(19, 28). Se considera que se han superado las dosis en las siguientes situaciones:

- “Las que se conocen tras la lectura mensual del dosímetro individual.
- Las asociadas a prácticas planificadas cuyas consecuencias implican una superación de límites de dosis.
- Casos de detección de contaminación (interna o externa).”

En todos los casos, la vigilancia sanitaria especial se realizará lo más rápido posible, y constará de una revisión médica básica más los estudios adicionales que sean necesarios por las circunstancias de la situación en la que se han superado los límites establecidos y sus posibles consecuencias.

Además, también se debe realizar un reconocimiento médico tras la asignación de tareas especiales con nuevos riesgos para la salud o tras una ausencia prolongada al trabajo ⁽²⁸⁾.

En cuanto a la vigilancia sanitaria de los trabajadores de categoría B, se aplicará el mismo Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica a excepción de que la periodicidad no será obligatoriamente anual ⁽²²⁾.

6.2.6. Situaciones especiales: el embarazo

Durante el embarazo, las trabajadoras que podrían estar expuestas a la radiación ionizante por desempeñar su actividad laboral en zonas controladas o supervisadas deben tener información sobre los siguientes aspectos:

- Los riesgos que supone para el feto la exposición a radiación ionizante
- La importancia de que la empleada avise de que esté embarazada, que puede estarlo o que esté amamantando

Una vez que la trabajadora comunica a su empleador el estado de embarazo o la sospecha, no debe ser una razón para excluirla de su trabajo. Una vez notificado, se deben adaptar las condiciones laborales en función del riesgo al que está expuesta la trabajadora para que el feto tenga el mismo grado de protección que debe tener el público.

En el campo de la protección radiológica, esto supone que las condiciones laborales de la trabajadora embarazada deben asegurar que la dosis equivalente al feto sea lo más baja posible, de manera que sea improbable que esa dosis supere 1mSv, desde que se notifica el embarazo hasta su final ^(19, 29).

Al objeto de una protección adecuada, según el artículo 26 de la ley 31/1995 ⁽²²⁾, “el empresario deberá determinar, previa consulta con los representantes de los trabajadores, la relación de los puestos de trabajo exentos de riesgos a estos efectos”.

6.3 RIESGOS LABORALES Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

6.3.1 Riesgos laborales relacionados con la exposición a la radiación

La fluoroscopia se diferencia de la radiología convencional de que usa equipos móviles, y que puede usarse en lugares distintos del Servicio de Radiología, como son los quirófanos. En este trabajo, nos enfocamos en el uso de la fluoroscopia en el ámbito quirúrgico.

La dosis de radiación emitida en este campo es muy variada, ya que va a variar según el procedimiento que se realice y la complejidad que suponga. Además, una variable que no se da en los Servicios de Radiología convencionales es que el número de personas involucradas es mayor: el anestesista, uno o dos cirujanos, el personal de enfermería, el técnico que maneje el arco, auxiliares y celadores.

El personal va a tener distintas funciones en el quirófano, ya que el cirujano es el que realiza el procedimiento, con ayuda del personal de enfermería. Además, el personal de enfermería y auxiliar de enfermería asiste al anestesista mientras mantiene al paciente anestesiado. El técnico de rayos es el que maneja el arco, y si es preciso movilizar al paciente, será deber del celador. Todo el personal que permanece dentro del quirófano estará expuesto a la radiación que origina la fluoroscopia.

Los riesgos a los que se pueden ver expuestos los trabajadores son los siguientes ⁽⁸⁾:

Irradiación global. Este riesgo no existe prácticamente en nuestro medio gracias a los avances en tecnología, que hacen que los equipos sean mejores y se use una dosis de radiación cada vez menor y ajustada al procedimiento que se realiza. En este tipo de exposición, cuanto mayor es la dosis recibida, más precoz y más grave es la clínica que ocasiona, y se debe a la muerte celular. Como ya se expuso en el apartado de efectos de la radiación, en este tipo de exposición ocurriría el síndrome de radiación aguda. Los efectos a nivel del sistema hematopoyético ocurren con dosis superiores a 1 Gy y en exposiciones con una duración de unos minutos.

Irradiación parcial. Es la que puede ocurrir en los trabajadores que usan fluoroscopia en el ámbito quirúrgico, y especialmente por los efectos de la radiación dispersa.

A nivel cutáneo, con dosis a partir de 10 Gy para radiaciones X y en exposiciones de pocos minutos, se produce una radiodermatitis exudativa como efecto inmediato a la exposición a la radiación ⁽⁸⁾. A nivel tardío, pueden darse radiodermatitis crónicas, con atrofia, hiperqueratosis y telangiectasias, en exposiciones repetidas de 5 mGy/día y dosis acumulada superior a 10 Gy ⁽⁸⁾. A largo plazo, la probabilidad de desarrollar un epiteloma espinocelular cutáneo aumenta, y se desarrolla con dosis acumuladas superiores a 15 Gy.

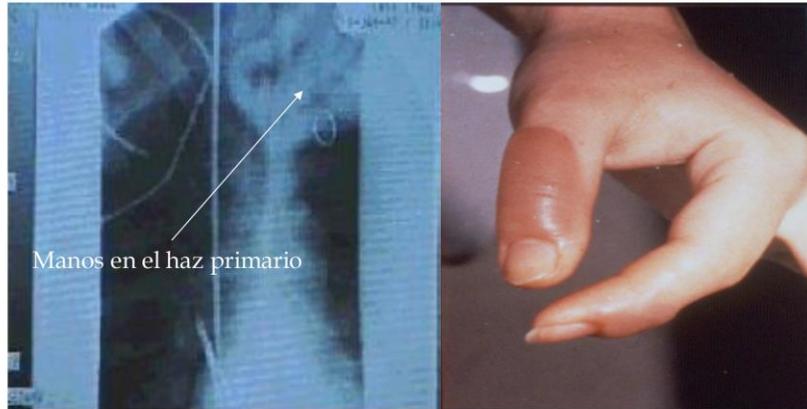


Figura 7. Radiodermitis aguda. Tomada de “Radiation Protection Workshop (G. Bartal and Z. Haskal)”



Figura 8. Radiodermitis crónica. Tomada de López et al ⁽³⁰⁾.

A nivel del pelo, puede ocurrir una alopecia tras una irradiación del cuero cabelludo en exposiciones de pocos minutos e iguales o superiores a 3 Gy ⁽⁸⁾.

A nivel de las gónadas, los trabajadores podrían presentar una esterilidad temporal o permanente, y aumentar la probabilidad de mutaciones en su descendencia. Los gametos masculinos tienen una alta radiosensibilidad, y con dosis a partir de dosis de 0,3 Gy para radiaciones X y en exposiciones de breves minutos se produce oligospermia, y con dosis

superiores a 4 Gy pueden provocar una esterilidad definitiva ⁽⁸⁾. En cambio, en la mujer, la esterilidad se ocurre con dosis superiores 8 Gy ⁽⁸⁾.

Destacan, a nivel ocular, las cataratas radioinducidas, que se desarrollan a partir de dosis acumuladas para el cristalino de 10 Gy en radiaciones X.

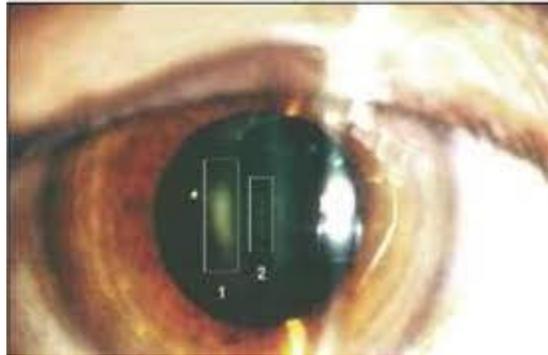


Figura 9. Catarata radioinducida. Tomada de Leyton et al ⁽³¹⁾.

Los riesgos a los que se ven expuestas las trabajadoras embarazadas son malformaciones fetales, que van a depender de la dosis recibida. A partir de 0,3Gy, se desarrollan malformaciones a nivel óseo y cerebral, cuando la exposición se produce en la fase inicial del desarrollo, cuando ocurre la organogénesis. A partir de la 8ª semana de gestación, la irradiación del feto con dosis superiores a 0,5 Gy puede provocar retraso intelectual. Según el estudio *Oxford Survey* ⁽³³⁾, la irradiación intrauterina suponía un incremento del riesgo relativo de desarrollar una leucemia radioinducida en la infancia.

Otros tumores radioinducidos secundarios a los efectos estocásticos son el osteosarcoma (con dosis acumuladas en esqueleto superiores a 8 Gy ⁽⁸⁾), el carcinoma tiroideo o la leucemia, que es el cáncer radioinducido más común. Es la patología estocástica más frecuente en las exposiciones profesionales a radiación. Dentro de las distintas formas de leucemia, a excepción de las leucemias linfoides crónicas, todas pueden ser radioinducidas.

6.3.2 Medidas a adoptar para mejorar la seguridad

Dentro de las diferentes medidas de protección radiológica que encontramos, las vamos a clasificar en función de dónde actúan.

1. Actuar en la fuente

1. Aumentar la distancia de la fuente de radiación, ya que la dosis de radiación recibida disminuirá según la Ley de la Inversa del Cuadrado de la Distancia. Mantener la distancia al menos 1,5m reduce la dosis de radiación a valores mínimos ⁽³⁾.
2. No colocar la mano en el haz primario.
3. Disminuir el tiempo de exposición, ya que la radiación disminuye proporcionalmente con el tiempo de exposición.
4. Optimizar el tiempo de fluoroscopia, ajustando el número de imágenes por segundo.
5. Colimar la imagen a la región de interés, ya que va a reducir la superficie, reduce la radiación dispersa mejorando el contraste de la imagen, y reduce la exposición ambiental para los trabajadores.
6. En cuanto a la posición arco quirúrgico, se debe acercar el intensificador de imagen a fin de reducir radiación dispersa y tasa de dosis en piel del paciente. Se debe mantener el arco a una distancia máxima practicable del paciente.
7. Ajustar la indicación del procedimiento, con el fin de evitar pruebas o procedimientos terapéuticos no necesarios.

2. Actuar en el medio.

8. Antes de comenzar cualquier procedimiento, se deben cerrar las puertas del quirófano.
9. Durante los procedimientos con fluoroscopia permanecerá en el quirófano sólo el personal mínimo imprescindible.

3. Actuar en el individuo.

10. Uso de delantal plomado. Los delantales plomados absorben entre un 80-99% de la radiación dispersa, dependiendo del espesor equivalente de plomo y la energía del haz de radiación. Es importante un adecuado mantenimiento del material, siguiendo las indicaciones del fabricante, para evitar que se deteriore. También es recomendable el uso de protectores tiroideos. En cuanto a los pacientes, se podrán utilizar protectores gonadales y abdominales en el caso de las embarazadas.
11. Uso de gafas protectoras. Suelen tener vidrios con espesores de 0,5-0,75mm equivalentes de plomo. Su eficacia es variable, con atenuaciones que varían del 30% al 80%. Deben tener protección lateral y no separarse mucho de la cara.



Figura 10. Uso del delantal plomado, protector cervical y gafas.

12. Uso de guantes plomados. Aunque es un aspecto poco estudiado en los profesionales del ámbito quirúrgico, es una medida esencial ya que las manos pueden recibir una alta dosis de radiación al realizar un tratamiento.



Figura 11. Guantes plomados

13. Uso de dosímetro personal en los trabajadores de clase A, para poder controlar la exposición a la radiación de cada trabajador. Lo más habitual es el uso de dosímetros de solapa, pero en caso necesario, se pueden usar otros dosímetros para determinar la irradiación de determinados órganos (por ejemplo, dosímetros de cristalino, de anillo, etc).
14. Además, en el caso particular de las trabajadoras embarazadas, deben usar un dosímetro abdominal para determinar la dosis recibida en el útero durante el embarazo.
15. Si hay alguna trabajadora embarazada o con sospecha de estarlo, lo debe comunicar al Servicio de Prevención de Riesgos Laborales. Durante el embarazo, se debe asegurar que la dosis que reciba el feto sea inferior a 1mSv.
16. En cuanto al personal de limpieza: no se puede realizar la limpieza de la sala mientras se esté utilizando la fluoroscopia, y antes de realizar una limpieza se debe confirmar que no se está emitiendo radiación.

17. En cuanto al personal de celadores, si es necesario movilizar al paciente, dentro de la sala deben permanecer el mínimo de personas posible y recibirán indicaciones para reducir al mínimo la exposición, no deben exponerse al haz directo y usarán las medidas de protección anteriormente descritas.

6.3.3 Evaluación del cumplimiento de las medidas en un centro hospitalario

El centro hospitalario evaluado es un hospital con 330 camas de hospitalización, y es el hospital de referencia de una población de aproximadamente 200.000 personas.

Dentro de su cartera de servicios, las especialidades médicas que utilizan fluoroscopia en el ámbito quirúrgico son Traumatología, Anestesia, Cirugía General, Urología, Cardiología, Medicina intensiva y Aparato Digestivo, además del personal de Enfermería y Auxiliares de Enfermería.

Durante la semana del 12 al 16 de julio se realizó una evaluación presencial del cumplimiento de las medidas de protección radiológica expuestas en el apartado anterior (Anexo 2). Durante este periodo, hubo 2 quirófanos programados diarios y 1 procedimiento urgente en los que se realizaron procedimientos guiados por fluoroscopia. En total se evaluaron 29 procedimientos, y en cada procedimiento, a los 6 trabajadores que estaban presentes en cada uno de ellos.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

1. Medidas relacionadas con la fuente de emisión:

- en 24 procedimientos (82,8%) se intentaba emitir radiación durante el menor tiempo posible, mientras que en 5 no se tuvo en cuenta (17,2%).
- En todos los procedimientos los trabajadores mantuvieron la distancia máxima posible de la fuente de emisión.
- La imagen se colimó en 26 procedimientos (89,7%), mientras que en 3 no se hizo (10,3%).

2. Medidas relacionadas con el medio:

- Las puertas del quirófano permanecieron cerradas en los 29 procedimientos evaluados (100%).
- Durante todos los procedimientos (100%) estuvo presente el mínimo personal posible.
- En 28 de los procedimientos (96,6%), el quirófano estaba señalizado como zona de exposición a radiación. No se señalizó en el procedimiento que se realizó en el quirófano de urgencias.

3. Medidas de protección individuales:

- 49 profesionales usaron dosímetro (28,2%), mientras que 125 no lo utilizaron (71,8%).
- En cuanto al uso de collarín plomado, 148 (85,1%) lo usaron y 26 no (14,9%).
- 155 trabajadores utilizaron el delantal plomado (89,1%), y 19 no lo utilizaron (10,9%).
- En cuanto al uso de gafas plomadas, 25 (14,4%) trabajadores las usaron y 149 (85,6%) no las usaron.
- Por último, sólo 12 (6,9%) trabajadores usaron guantes plomados, mientras que 162 (93,1%) no los usaron.

MEDIDA	GRADO DE CUMPLIMIENTO
Disminuir el tiempo de emisión de radiación dentro de lo posible	82,8%
Aumentar la distancia entre la fuente y el personal	100%
Colimar la imagen	79,3%
Las puertas del quirófano permanecen cerradas	100%
Durante el procedimiento está presente el mínimo de personal posible	100%
El quirófano está señalizado como zona con riesgo de exposición a radiación	96,6%
Uso de dosímetro	28,2%
Uso de collarín plomado	85,1%
Uso de delantal plomado	89,1%
Uso de gafas plomadas	14,4%
Uso de guantes plomados	6,9%

Tabla 3. Grado de cumplimiento de las medidas de protección radiológica.

Propuestas de para mejorar el cumplimiento de las medidas de protección radiológica

- Añadir carteles informativos de las medidas de protección individuales en los quirófanos en los que se suelen realizar procedimientos guiados por fluoroscopia
- Asegurar que en el área quirúrgica se dispone de suficientes artículos de protección, como pueden ser las gafas plomadas
- Realizar una revisión periódica de los protectores individuales (collarines y delantales), para asegurar que tienen unas condiciones adecuadas para su uso.
- El servicio de Prevención de Riesgos Laborales debe tener un listado actualizado de los trabajadores que suelen desempeñar su actividad laboral en los quirófanos en los que puedan estar expuestos a radiación ionizante, y comprobar que los trabajadores utilizan el dosímetro.
- Realizar evaluaciones periódicas para comprobar el grado de cumplimiento de las medidas de protección radiológica.

- Fomentar la formación en materia de protección radiológica, mediante cursos acreditados para los trabajadores.



7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Actualmente, se está incrementando el número de procedimientos médicos que utilizan la fluoroscopia fuera de los servicios de Radiología. Un factor de gran importancia en cuanto a la exposición a radiaciones ionizantes de los trabajadores es que, a diferencia de otras pruebas de imagen, el profesional que realiza el procedimiento se encuentra en la misma sala que el paciente, exponiéndose también a la radiación. Aunque la dosis es menor en el trabajador que en el paciente, no debemos olvidar que es esencial adoptar las medidas de protección radiológica, ya que la dosis de radiación recibida es acumulativa, y que la exposición a pequeñas dosis también puede tener consecuencias ⁽³³⁾.

Los factores con mayor peso para minimizar la dosis de radiación recibida son la distancia de la fuente emisora, el tiempo de exposición durante la fluoroscopia y el uso de medidas protectoras tipo blindaje. El papel de la distancia se basa en la ley del cuadrado de la distancia, como se ha mencionado anteriormente. En la fluoroscopia, el profesional suele tener que trabajar cerca de la fuente emisora, por lo que, en esta situación, el resto de las medidas de protección van a cobrar aún más importancia. Dentro de estas medidas, destacaremos también el uso de las gafas plomadas y los guantes, por la sensibilidad del cristalino a las radiaciones y por la cercanía a la fuente emisora a la que suelen estar las manos del trabajador. Aunque en la literatura hay pocos datos sobre el uso de estas medidas de protección, hay estudios ^(34, 35) que reflejan que estas medidas son las menos usadas por los trabajadores expuestos.

Las gafas plomadas son una medida básica, debido a la gran sensibilidad del cristalino a las radiaciones. Durante años, se ha aceptado la relación entre cataratas y dosis elevadas de radiación, aunque la literatura sugiere que las opacidades en el cristalino también se producen con dosis mucho menores ⁽³⁶⁾. Recientemente, las cataratas secundarias a la exposición a la radiación ocupacional se consideran como una entidad propia ⁽³⁷⁾.

Sin embargo, debido a las incógnitas sobre la relación con la dosis y el tiempo de desarrollo de las cataratas, la ICRP disminuyó la dosis de exposición de 150mSv/año a 20 mSv/año ⁽²⁶⁾.

A pesar de la importancia de las gafas plomadas, en nuestra evaluación destaca el poco uso que tienen. Este resultado lo atribuimos a la idea de que son incómodas, de que

dificultan la visión en el campo quirúrgico, a la escasez que hay en nuestro centro y al desconocimiento del personal de los riesgos de la radiación para el cristalino.

Los guantes plomados son otra medida que se usa menos de lo que sería aconsejable, ya que las manos del cirujano van a tener una gran exposición debido a la cercanía de la fuente emisora de radiación ⁽⁹⁾. Este hecho se atribuye a la incomodidad que suponen para el cirujano, así como la pérdida de tacto ⁽³⁸⁾. En nuestra evaluación este hecho también se ve reflejado, ya que sólo un 6,9% utiliza guantes plomados. Los profesionales del HGURS lo atribuyen a la pérdida de tacto y al desconocimiento de su disponibilidad en el área quirúrgica.

En la literatura hay controversia en cuanto al uso de guantes plomados, ya que, aunque la dosis recibida por las manos es elevada, no supera los límites de dosis. Por otro lado, otros autores refieren que el problema está en que no se está midiendo de forma adecuada la radiación que reciben en realidad. En concordancia con este aspecto se encuentra el hecho que no se usen dosímetros en lugares más sensibles (de muñeca o de anillo), o que no se tenga en cuenta la dosis acumulada ⁽³⁹⁾.

Sin embargo, no hay controversia en la necesidad de uso de guantes plomados para los procedimientos guiados por fluoroscopia.

Otro factor de gran importancia para aumentar el cumplimiento todas estas medidas es que los trabajadores tengan una formación adecuada en materia de radioprotección.

Ya en 1957, en la creación de la EURATOM, se contemplaba la necesidad de la formación sobre seguridad y protección en cuanto a radiaciones ionizantes en los trabajadores expuestos. La ICRP también trata este tema en su publicación nº117 ⁽¹⁷⁾, donde afirma que la falta de formación en fluoroscopia de los profesionales que no desempeñan su actividad laboral en servicios de radiodiagnóstico puede suponer un incremento del riesgo de irradiación para los pacientes y para los profesionales.

En España, el CSN cuenta con un programa de cursos acreditados para ofrecer una formación adecuada. Estos programas de formación han ganado importancia a la hora de mejorar la seguridad y el grado de competencia de los trabajadores.

Sin embargo, al revisar la literatura, nos encontramos varios estudios ⁽⁴⁰⁻⁴²⁾ en los que hay un déficit de conocimientos en fluoroscopia, lo que conlleva a un aumento de la

dosis de radiación y una mayor exposición ocupacional. Kim y Miller ⁽⁴³⁾ defienden que la involucración del trabajador en medidas de radioprotección es un factor esencial para minimizar la exposición.

Por tanto, la incorporación de programas de formación en radioprotección por parte de los Servicios de Prevención sería un aspecto muy interesante y de gran importancia de cara a disminuir los riesgos para la salud de los trabajadores que supone la radiación ionizante. En nuestro centro la única formación al respecto es un curso que se imparte a los residentes al comenzar su formación. A la vista de los resultados obtenidos en cuanto al uso de medidas individuales, una estrategia que sería interesante para mejorar estos resultados, es ofrecer más formación mediante cursos acreditados, especialmente en las medidas individuales, al personal que va a estar expuesto a radiación. El objetivo sería aumentar la concienciación de los trabajadores en los efectos perjudiciales de la exposición ocupacional, y aumentar sus conocimientos para minimizarlos.

En conclusión, la fluoroscopia tiene ventajas innegables, pero no se debe olvidar el riesgo que supone para el personal la exposición a radiaciones ionizantes. Dicha exposición por debajo de los valores asociados a los límites de dosis existentes no supone riesgo de aparición de efectos deterministas, pero se mantendrá la probabilidad de los efectos estocásticos ⁽⁴⁴⁾. Por ello, es importante el uso de las medidas de protección radiológica descritas: aumentar la distancia a la fuente emisora, disminuir la dosis de radiación emitida y utilizar medidas de blindaje. Con ellas, se disminuirá de manera notable la probabilidad de sufrir los efectos perjudiciales de la radiación.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Bushong S. Manual de Radiología para Técnicos. 9a ed. Elsevier; 2010.
2. Brosed Serreta A, Ruíz Manzano P. Fundamentos de Física Médica Vol.2.Madrid. Adi Servicios editoriales. 2012.
3. CSN. Las radiaciones. 1ª Edición. Publicada online por el CSN, disponible en: <https://www.csn.es/las-radiaciones>
4. Alcaraz Baños M. Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico. 2ª ed. Murcia. Universidad de Murcia, Servicio de publicaciones. 2003.
5. Bergonié J, Tribondeau L. De quelques résultats de la radiotherapie et essai de fixation d'une technique rationnelle. *Comptes-Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*. 1906;143:983-985.
6. Christensen DM, Livingston GK, Sugarman SL, Parillo SJ, Glassman ES. Management of ionizing radiation injuries and illnesses, Part 3: Radiobiology and health effects of ionizing radiation. *J Am Osteopath Assoc*. 2014 Jul;114(7):556-65. Review. PubMed PMID: 25002448.
7. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP* 37(2-4): 1-332.
8. García Escandón F, Fernández González MA, Castell Salvá R, Valls Fontanals A. Protocolos de vigilancia sanitaria específica [monografía en internet]. Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo; 2012. Disponible en: <http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/radiacio.pdf>
9. Koenig TR, Mettler FA, Wagner LK. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 2, review of 73 cases and recommendations for minimizing dose

delivered to patient. AJR Am J Roentgenol. 2001 Jul;177(1):13-20. PubMed PMID: 11418390.

10. Kim KP, Miller DL, Berrington de Gonzalez A, Balter S, Kleinerman RA, Ostroumova E, Simon SL, Linet MS. Occupational radiation doses to operators performing fluoroscopically guided procedures. Health Phys. 2012; 103(1): 80-99.
11. Bhargavan M. Trends in the utilization of medical procedures that use ionizing radiation. Health Phys. 2008 Nov;95(5):612-27. PubMed PMID: 18849695.
12. Miller DL, Balter S, Dixon RG, Nikolic B, Bartal G, Cardella JF, et al. Quality improvement guidelines for recording patient radiation dose in the medical record for fluoroscopically guided procedures. J Vasc Interv Radiol. 2012; 23(1): 11–8. PubMed PMID: 22057151.
13. ICRP, 2010. Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures Performed Outside the Imaging Department. ICRP Publication 117. Ann. ICRP 40(6).
14. Schenker MP, Martin R, Shyn PB, Baum RA. Interventional radiology and anesthesia. Anesthesiol Clin. 2009 Mar;27(1):87-94. PubMed PMID: 19361770.
15. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Boletín Oficial del Estado nº269, 10/11/1995.
16. ICRP, 2007. Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (6).
17. ICRP, 2010. Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures outside the Imaging Department. ICRP Publication 117, Ann. ICRP 40(6).
18. Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear. Boletín Oficial del Estado, nº100, 24/04/1980.

19. Real Decreto 783/2001 de 6 de julio por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. Boletín Oficial del Estado nº178, 26/07/2001.
20. 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. Boletín Oficial del Estado nº 279, 18/11/2010.
21. 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. Boletín Oficial del Estado nº 173, 18/07/2009.
22. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Boletín Oficial del Estado nº269, 10/11/1995.
23. Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear. Boletín Oficial del Estado, nº100, 24/04/1980.
24. ICRP, 2000. Pregnancy and Medical Radiation. ICRP Publication 84. Ann. ICRP 30 (1).
25. 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. Boletín Oficial del Estado, nº 160, 14/07/2001.
26. ICRP, 2012 ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).
27. Jaramillo W, Morales J, Puerta A, Castrillón W. Dosimetría personal y exposición ocupacional en Cardiología intervencionista. Rev Colomb Cardiol. 2020;27(S1):52-60.

28. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por la que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. BOE nº 27, 31/1/1997.
29. Boletín Oficial del Estado. Ley 39/1999, de 5 de noviembre, para promover la conciliación de la vida familiar y laboral de las personas trabajadoras (Capítulo III). BOE nº 266, 6/11/1999.
30. López V, Alonso V, Jordá E. Eficacia de imiquimod tópico al 5% en paciente con radiodermatitis crónica en las manos. *Actas Dermosifiliogr.* 2012 Jun;103(5):441-2. PMID: 22265009
31. Leyton F, Canevaro L, Dourado A, Castello H, Bacelar A, Teixeira M, et al. Riesgos de la Radiación X y la Importancia de la Protección Radiológica en la Cardiología Intervencionista: Una Revisión Sistemática. *Rev Bras Cardiol Invasiva.* 2014; 22(1):87-98.
32. Mole RH. Childhood cancer after prenatal exposure to diagnostic X-ray examinations in Britain. *Br J Cancer.* 1990;62(1):152-68
33. Chartier H, Fassier P, Leuraud K, Jacob S, Baudin C, Laurier D, Bernier MO. Occupational low-dose irradiation and cancer risk among medical radiation workers. *Occup Med (Lond).* 2020 Oct 27;70(7):476-484. PMID: 32756890.
34. Kim TH, Hong SW, Woo NS, Kim HK, Kim JH. The radiation safety education and the pain physicians' efforts to reduce radiation exposure. *Korean J Pain* 2017; 30: 104-15.
35. Hernández JM, García.Vidal A, Gasco C. Encuesta acerca de la utilización de fluoroscopia en el tratamiento del dolor. ¿Lo hacemos correctamente? *Rev Esp Anestesiol Reanim.* 2012;59(8):430-435
36. Shore RE, Neriishi K, Nakashima E. Epidemiological studies of cataract risk at low to moderate radiation doses: (not) seeing is believing. *Radiat Res.* 2010 Dec;174(6):889- 94. PMID: 21128813.

37. Khan DZ, Lacasse MC, Khan R, Murphy KJ. Radiation Cataractogenesis: The Progression of Our Understanding and Its Clinical Consequences. *J Vasc Interv Radiol*. 2017 Mar;28(3):412-419. PubMed PMID: 28111197
38. Back DL, Hilton AI, Briggs TW, Scott J, Burns M, Warren P. Radiation protection for your hands. *Injury*. 2005 Dec;36(12):1416-20.
39. Hafez MA, Smith RM, Matthews SJ, Kalap G, Sherman KP. Radiation exposure to the hands of orthopaedic surgeons: are we underestimating the risk? *Arch Orthop Trauma Surg*. 2005 Jun;125(5):330-5.
40. Fidan F, Çetin MÜ, Kazdal C, Kılıç F, Özkaya U. Behaviour and knowledge skill levels of orthopedic surgeons about radiation safety and fluoroscopy use: A survey analysis. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2019 Jul;53(4):301-305.
41. Altintas E, Bahceci T, Batur AF, Kaynar M, Kilic O, Akand M, Goktas S, Gul M. A survey analysis of knowledge levels of urologists about radiation safety and fluoroscopy use. *Int J Clin Pract*. 2021 Apr;75(4):e13862.
42. Harris AM, Loomis J, Hopkins M, Bylund J. Assessment of Radiation Safety Knowledge Among Urology Residents in the United States. *J Endourol*. 2019 Jun;33(6):492-497.
43. Kim KP, Miller DL. Minimising radiation exposure to physicians performing fluoroscopically guided cardiac catheterisation procedures: a review. *Radiat Prot Dosimetry*. 2009 Feb;133(4):227-33.)
44. Limitation of exposure to ionizing radiation. NCRP report nº. 116. Bethesda, Md.: National Council on Radiation Protection and Measurements, March 1993.

9. ANEXOS

Anexo 1. Modelo de certificación médica de aptitud

Modelo de certificación médica de aptitud

Espacio para el membrete del Servicio de Prevención que realiza la vigilancia de la Salud. Dirección postal completa y teléfono de contacto
--

Se ha realizado, en fecha _____, el examen de salud:

- De Inicio
- Periódico
- Especial tras superación de límites de dosis,
- Tras ausencia prolongada al trabajo,
- Tras asignación de tareas con nuevos riesgos,
- Otro examen considerado por el Servicio de Prevención (especificar) _____

De D/Dª. _____, categorizado como trabajador (A B) expuesto a riesgo de radiaciones ionizantes en empresa/servicio _____

La conclusión del mismo, considerando la información sanitaria obtenida y la laboral disponible respecto al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo, permite calificarle de "APTO"/ "NO APTO" / "APTO EN DETERMINADAS CONDICIONES" (de conformidad con lo establecido en el Artículo 43 del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes – R.D. 783/2001). En caso de Apto en determinadas condiciones, especificar condiciones de aptitud:

1. -----
2. -----
3. -----

Nombre del Médico del Trabajo

Número de colegiado

Firma del Médico del Trabajo

Anexo 2. Hoja de evaluación utilizada para valorar el cumplimiento de las medidas

QUIRÓFANO:

FECHA:

Nº TRABAJADORES EVALUADOS:

CUMPLIMIENTO DE LAS MEDIDAS:

1. Medidas relacionadas con la fuente de emisión

MEDIDA	GRADO DE CUMPLIMIENTO
Disminuir el tiempo de emisión de radiación dentro de lo posible	- Sí: - No:
Aumentar la distancia entre la fuente y el personal	- Sí: - No:
Colimar la imagen	- Sí: - No:

2. Medidas relacionadas con el medio

MEDIDA	GRADO DE CUMPLIMIENTO
Las puertas del quirófano permanecen cerradas	- Sí: - No:
Durante el procedimiento está presente el mínimo de personal posible	- Sí: - No:
El quirófano está señalizado como zona con riesgo de exposición a radiación	- Sí: - No:

3. Medidas de protección individuales

MEDIDA	GRADO DE CUMPLIMIENTO
Uso de dosímetro	- Sí: - No:
Uso de collarín plomado	- Sí: - No:
Uso de delantal plomado	- Sí: - No:
Uso de gafas plomadas	- Sí: - No:
Uso de guantes plomados	- Sí: - No:

