



UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**Análisis del Estado Actual de los Hábitos de Seguridad
en Radioprotección del Personal Sanitario Quirúrgico**

D^a Carmen María López López

2018



**ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS HÁBITOS DE
SEGURIDAD EN RADIOPROTECCIÓN DEL PERSONAL
SANITARIO QUIRÚRGICO**

**Tesis para optar al grado de
Doctor en Medicina y Cirugía**

Presentada por
D^a Carmen M^a López López

Dirigida por
Prof. Dr. D. Miguel Ángel Fernández-Villacañas Marín
Prof. Dra. D^a Matilde Campos Aranda
Prof. Dra. D^a M^a Ángeles Rodríguez Navarro

UNIVERSIDAD DE MURCIA
Escuela Internacional de Doctorado

Murcia 2018



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D^a. M^a Ángeles Rodríguez Navarro, Doctora de Universidad del Área de la Facultad de Medicina en el Departamento de Cirugía, Pediatría, Ginecología y Obstetricia, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS HÁBITOS DE SEGURIDAD EN RADIOPROTECCIÓN DEL PERSONAL SANITARIO QUIRÚRGICO.", realizada por D^a. Carmen M^aLópez López, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 25 de Junio de 2018



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D^a. Matilde Campos Aranda, Profesora Titular de Universidad del Área de Medicina preventiva y Salud Pública en el Departamento de Bioestadística, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS HÁBITOS DE SEGURIDAD EN RADIOPROTECCIÓN DEL PERSONAL SANITARIO QUIRÚRGICO.", realizada por D^a. Carmen M^aLópez López, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 25 de Junio de 2018



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. Miguel Ángel Fernández-Villacañas Marín, Profesor Titular de Universidad del Área de Anatomía y Embriología Humana en el Departamento de Anatomía Humana y Psicobiología, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS HÁBITOS DE SEGURIDAD EN RADIOPROTECCIÓN DEL PERSONAL SANITARIO QUIRÚRGICO.", realizada por D^a. Carmen M^aLópez López, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 25 de Junio de 2018

A mis padres,
por esa valiosa herencia; la formación.

A esa segunda familia,
mis amigos, por apoyarme y facilitarme el día a día.

AGRADECIMIENTOS

**“La ciencia y la vida cotidiana no pueden,
y no deben, ser separados”.**

Rosalind Franklin.

Me gustaría resumir en las siguientes líneas mi agradecimiento y gratitud hacia cada una de las personas que me han ayudado en cada paso de este largo y a veces pedregoso camino.

En primer lugar dar las gracias a mis directores:

D. Miguel Ángel Fernández-Villacañas por animarme a realizar este proyecto y orientarme desde el principio, por ver siempre el vaso medio lleno. Gracias.

D^a. Matilde Campos gracias por tu gran dedicación, esfuerzo y todas esas tardes dedicadas al análisis de los datos. Por la fuerza que me has proporcionado, por ser inagotable, por tu exhaustiva supervisión, muchas gracias.

D^a. M^a Ángeles Rodríguez, además de directora, compañera y amiga. Muchas gracias por transmitirme la pasión por la investigación y por intentar compaginar el ámbito científico con nuestra práctica asistencial diaria.

A todos los compañeros que han aportado su granito de arena y me han ayudado a la difusión del trabajo en cada uno de los hospitales: gracias Luis, Jero, Víctor, Eva, Dani, Toni, Elena, Pablo y así podría enumerar un sinfín de compañeros.

A todos los que han dedicado diez minutos de su tiempo para rellenar el cuestionario.

A las compañeras de biblioteconomía y documentación del Hospital General Universitario Reina Sofía por su gran accesibilidad y eficiencia.

A Ginés Madrid, Miguel González, Ascensión Sánchez y Juana Guirao por asesorarme al inicio de este proyecto.

A Elena Manzano y Arturo Amores, Jefes del Servicio de Anestesiología durante la realización de este proyecto. Gracias por facilitarme la tarea y ayudarme siempre que lo he necesitado. A mis residentes por servirme de motor. A mis compañeros de Servicio. A Isabel Alonso por ser mi referente desde mi primer año de residencia, por marcar la hoja de ruta.

A Rebeca González y Juan Victoria por ser dos pilares fundamentales. Por haber creído en mi desde el principio, por tenderme la mano y levantarme en cada caída. Por sentir como vuestro cada uno de mis logros, gracias.

A mis amigas, Ana, Elena, Ainara, Marina, Elena D., Alicia, Cati,... por vuestra comprensión y todo el tiempo robado. Nuria, sin ti nunca lo hubiera logrado... gracias por guiarme y apoyarme en cada paso.

A mi familia, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

A ti Jose, por estar, apoyarme en la distancia y regresar. Por ser capaz.

A todos vosotros, GRACIAS.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	39
1.1. MARCO TEÓRICO	41
1.1.1. Origen y desarrollo de la fluoroscopia	41
1.1.2. Concepto general de radiación.....	42
1.1.2.1. Bases físicas de los rayos X.....	46
1.1.3. Dimensión de la fluoroscopia en la asistencia sanitaria.....	52
1.1.3.1. Características de los equipos radioquirúrgicos.....	53
1.1.3.2. Situación actual.....	55
1.2. RADIOBIOLOGÍA.....	56
1.2.1. Respuesta a la radiación del ser humano	58
1.2.2. Efectos inmediatos de la radiación.....	61
1.2.2.1. Letalidad por radiación aguda	61
1.2.2.2. Daño hístico local	62
1.2.2.3. Efectos hematológicos	63
1.2.2.4. Efectos citogenéticos	64
1.2.3. Efectos tardíos de la radiación.....	65
1.2.3.1. Efectos locales a nivel hístico	65
1.2.4. Gestación y radiación.....	67
1.3. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	69
1.3.1. Conceptos, objetivos y principios.....	69
1.3.2. Límites de dosis	70
1.3.3. Clasificación de los trabajadores	72
1.3.4. Clasificación y señalización de las zonas de trabajo.....	72
1.3.5. Vigilancia y control.....	73
1.3.5.1. Vigilancia dosimétrica	73
1.3.5.2. Vigilancia de la salud	74
1.4. MARCO LEGAL.....	75
1.4.1. Organismos internacionales	75
1.4.2. Organismos nacionales.....	77
1.4.3. Legislación y normativa básica aplicable.....	78
1.4.4. Consentimiento informado.....	78
1.5. ANESTESIOLOGÍA.....	81
1.5.1. Nacimiento y evolución.....	81
1.5.2. Anestesiología y fluoroscopia.....	82

1.6. JUSTIFICACIÓN	83
2. OBJETIVOS	87
2.1 OBJETIVOS	89
3. MATERIAL Y MÉTODOS	91
3.1 POBLACIÓN	93
3.2 TIPO DE ESTUDIO.....	93
3.3 MATERIAL Y MÉTODOS	94
3.3.1 Muestra.....	94
3.3.2 Material	94
3.3.2.1 Diseño y características estructurales del cuestionario	94
3.3.3 Aplicación del instrumento a la muestra.....	96
3.3.4 Variables a estudio	97
3.3.4.1 Variables demográficas	97
3.3.4.2 Variables específicas	98
3.3.4.3 Variables relativas al paciente	100
3.4 MÉTODOS ESTADÍSTICOS	100
4. RESULTADOS	101
4.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	103
Descriptiva de las variables demográficas	104
4.2. RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA NO UTILIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE RADIOPROTECCIÓN	112
4.2.1. Dosímetro	113
Uso global.....	113
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y el dosímetro.....	114
4.2.2. Control del tiempo	117
Uso global.....	117
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y el control del tiempo de fluoroscopia	118
4.2.3. Colimación	121

Uso global.....	121
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y la colimación.....	121
4.2.4. Distancia.....	122
Uso global.....	122
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y la distancia	123
4.2.5. Gafas de protección	124
Uso global.....	124
Uso de gafas en función de la distancia con mayor riesgo de exposición..	125
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y el uso de gafas de protección	126
4.2.6. Guantes de protección.....	128
Uso global.....	128
Uso de guantes en función de la distancia con mayor riesgo de exposición	129
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y el uso de guantes de protección	130
4.3. RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL USO ADECUADO DE LAS MEDIDAS DE RADIOPROTECCIÓN.....	132
4.3.1. Dosímetro	133
Uso global.....	133
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y el uso adecuado del dosímetro	134
4.3.2. Control del tiempo	137
Uso global.....	137
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y el adecuado control del tiempo de fluoroscopia.....	137
4.3.3. Colimación	138
Uso global.....	138
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y el uso adecuado de la colimación	139
4.3.4. Gafas de protección	140

Uso global.....	140
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y el uso adecuado de gafas de protección.....	141
4.3.5. Guantes de protección.....	143
Uso global.....	143
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y el uso adecuado de guantes de protección.....	145
4.4. RESULTADOS DE LOS FACTORES RELATIVOS AL PACIENTE	146
4.4.1. Información dada al paciente.....	147
4.4.2. Protección del paciente	149
Resultados de las relaciones entre las variables demográficas y la información y protección del paciente	150
5. DISCUSIÓN	153
5.1. HACIA DONDE NOS DIRIGIMOS	169
6. CONCLUSIONES	171
BIBLIOGRAFÍA	175
ANEXOS	187
ANEXO I: CRONOGRAMA	189
ANEXO II: ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	190
ANEXO III: ASPECTOS ÉTICOS Y LEGALES	191
ANEXO IV: CUESTIONARIO	192

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Procedimientos guiados por fluoroscopia de uso frecuente.....	53
Tabla 2:	Efectos deterministas y no deterministas	60
Tabla 3:	Muestra mínima de población requerida para demostrar que una dosis determinada de radiación aumenta de forma significativa la incidencia de leucemia	65
Tabla 4:	Riesgo relativo de leucemia infantil tras la irradiación uterina por trimestres.....	67
Tabla 5:	Límites de dosis de exposición a radiación ionizante de la ICRP.....	71
Tabla 6:	Zonas de trabajo.....	73
Tabla 7:	Edad	104
Tabla 8:	Estadísticos descriptivos de la edad	105
Tabla 9:	Años de experiencia.....	105
Tabla 10:	Estadísticos descriptivos de los años de experiencia.....	106
Tabla 11:	Sexo.....	106
Tabla 12:	Ámbito profesional	107
Tabla 13:	Cercanía obligatoria.....	108
Tabla 14:	Número de procedimientos por semana.....	108
Tabla 15:	Estadísticos descriptivos del número de procedimientos por semana....	109
Tabla 16:	Uso de imagen continua	109
Tabla 17:	Formación específica	110
Tabla 18:	Uso de dosímetro	113
Tabla 19:	Ámbito profesional y uso de dosímetro	114
Tabla 20:	Años de experiencia y uso de dosímetro	115
Tabla 21:	Número de procedimientos y uso de dosímetro.....	115

Tabla 22: Uso del dosímetro en los profesionales con formación específica.....	116
Tabla 23: Control del tiempo de fluoroscopia.....	117
Tabla 24: Ámbito profesional y control del tiempo de fluoroscopia.....	118
Tabla 25: Años de experiencia y control del tiempo de fluoroscopia.....	119
Tabla 26: N° procedimientos y control del tiempo.....	119
Tabla 27: Formación específica y control del tiempo de fluoroscopia.....	120
Tabla 28: Colimación.....	121
Tabla 29: Distancia con la fuente emisora.....	122
Tabla 30: Uso de gafas de protección.....	124
Tabla 31: Uso de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m.....	125
Tabla 32: Uso de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m y formación específica (FE).....	126
Tabla 33: Uso de guantes de protección.....	128
Tabla 34: Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m.....	129
Tabla 35: Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m y formación específica (FE).....	130
Tabla 36: Uso adecuado del dosímetro.....	133
Tabla 37: Características descriptivas del uso adecuado del dosímetro.....	134
Tabla 38: N° procedimientos y uso adecuado del dosímetro.....	135
Tabla 39: Formación específica y uso adecuado del dosímetro.....	135
Tabla 40: Control del tiempo de fluoroscopia adecuado.....	137
Tabla 41: Uso adecuado de la colimación.....	138
Tabla 42: Uso adecuado de las gafas de protección.....	140
Tabla 43: Uso adecuado de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m.....	141

Tabla 44: Características descriptivas del uso adecuado de las gafas de protección	142
Tabla 45: Uso adecuado de los guantes de protección.....	143
Tabla 46: Uso adecuado de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m	144
Tabla 47: Características descriptivas del uso adecuado de los guantes de protección.....	145
Tabla 48: Información de los riesgos al paciente.....	147
Tabla 49: Información adecuada de los riesgos al paciente.....	148
Tabla 50: Protección del paciente.....	149
Tabla 51: Protección adecuada del paciente.....	150
Tabla 52: Cronograma.....	189

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura 1:	a) W. Röntgen; b) Anna Röntgen; c) Primera radiografía humana	41
Figura 2:	Fluoroscopio de T. Edison	42
Figura 3:	Espectro de Radiación Electromagnético	44
Figura 4:	Ionización	45
Figura 5:	Contribución en mSv de las fuentes de radiación ionizante a la dosis efectiva por persona/ año	46
Figura 6:	Efecto Compton	48
Figura 7:	Efecto fotoeléctrico	48
Figura 8:	Ley de la Inversa del Cuadrado de la Distancia	50
Figura 9:	Equipo radioquirúrgico tipo Arco en C	54
Figura 10:	Variación de la radiosensibilidad con la edad	57
Figura 11:	Cascada de acontecimientos tras exposición a radiación ionizante	59
Figura 12:	Efecto de la radiación ionizante en el ADN	64
Figura 13:	Checklist uso fluoroscopia	170
Gráfico 1:	Edad	104
Gráfico 2:	Años de experiencia	105
Gráfico 3:	Sexo	106
Gráfico 4:	Ámbito profesional	107
Gráfico 5:	Número de procedimientos por semana	108
Gráfico 6:	Uso de imagen continua	109
Gráfico 7:	Formación específica	110
Gráfico 8:	Uso de dosímetro	113

Gráfico 9: No uso de dosímetro y formación específica (FE).....	116
Gráfico 10: Control del tiempo de fluoroscopia	117
Gráfico 11: Colimación	121
Gráfico 12: Distancia con la fuente emisora	122
Gráfico 13: Uso de gafas de protección.....	124
Gráfico 14: Uso de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m.....	125
Gráfico 15: Uso de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m y formación específica (FE).....	126
Gráfico 16: Uso de guantes de protección.....	128
Gráfico 17: Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m.....	129
Gráfico 18: Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m y formación específica (FE).....	130
Gráfico 19: Uso adecuado del dosímetro.....	133
Gráfico 20: Uso adecuado del dosímetro y formación específica.....	136
Gráfico 21: Control del tiempo de fluoroscopia adecuado.....	137
Gráfico 22: Uso adecuado de la colimación.....	138
Gráfico 23: Uso adecuado de las gafas de protección.....	140
Gráfico 24: Uso adecuado de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m	141
Gráfico 25: Uso adecuado de los guantes de protección.....	143
Gráfico 26: Uso adecuado de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m.....	144
Gráfico 27: Información de los riesgos al paciente.....	147
Gráfico 28: Información adecuada de los riesgos al paciente.....	148
Gráfico 29: Protección del paciente.....	149
Gráfico 30: Protección adecuada del paciente.....	150

ABREVIATURAS

ADN: Ácido Desoxirribonucleico.

AIEA: Agencia Internacional de Energía Atómica, o IAEA de sus siglas en inglés (*International Atomic Energy Agency*).

ALARA: *As Low As Reasonably Achievable*.

ANOVA: Análisis de la varianza.

ASA: *American Society of Anesthesiologist*.

BOE: Boletín Oficial del Estado.

CIPR: Comisión Internacional de Protección Radiológica.

Cm: centímetros.

Cols.: y colaboradores.

CSN: Consejo de Seguridad Nuclear.

Desv. Típ. : Desviación típica.

Ed.: Edición.

Ej.: Ejemplo.

EEUU: Estados Unidos.

EURATOM: Comunidad Europea de Energía Atómica.

FE: Formación Específica.

Fig.: Figura.

Gy: Gray.

Gy_t: Gray en el tejido.

HGURS: Hospital General Universitario Reina Sofía.

IRCP: *International Commission on Radiological Protection*.

k: Kerma (Kinetic Energy Released in MAterials).

LET: *Linear Energy Transfer*.

M: metros.

mGy: miligray.

mGy_t: miligray en el tejido.

MHz: megahertzios.

MIR: Médico Interno Residente.

mSv: miliSievert.

N: tamaño muestral.

NCRP: *National Council on Radiation Protection and Measurements.*

Nº: número.

OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica.

Rad: dosis absorbida de radiación.

RBE: *Relative Biologic Effectiveness.*

RD: Real Decreto.

Rem: radiación equivalente en el hombre.

SI: Sistema Internacional.

Sv: Sievert.

TAC: Tomografía Axial Computarizada.

TE: Trabajadores Expuestos.

UE: Unión Europea.

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

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MARCO TEÓRICO

1.1.1. ORIGEN Y DESARROLLO DE LA FLUOROSCOPIA

Uno de los grandes hitos de la denominada medicina científica o medicina moderna, y germen de la medicina contemporánea actual, fue el descubrimiento de los rayos X. Debemos remontarnos a finales del siglo XIX, concretamente al 8 de Noviembre de 1895, cuando el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen mientras experimentaba en su laboratorio de física de la Universidad de Würzburg, advirtió que por un tipo de radiación que desconocía era capaz de ver a través de distintos materiales, incluida su propia piel. Denominó a este fenómeno rayos “X” aludiendo a su naturaleza desconocida, X¹. Este descubrimiento accidental fue considerado por la comunidad científica como uno de los descubrimientos más relevantes de la ciencia puesto al servicio de la humanidad, lo que le valió la concesión del primer Premio Nobel de Física en 1901².

W. Röntgen, como visionario que fue, intuyó inmediatamente la aplicación de su descubrimiento al campo de la medicina, y realizó la primera exploración radiográfica del esqueleto óseo humano, que correspondería a la mano de su esposa, Anna Röntgen³.



Figura 1: a) W. Röntgen; b) Anna Röntgen; c) Primera radiografía humana

a) y b) Tomadas de García P D, García B C. Anna Bertha Roentgen (1833-1919): La mujer detrás del hombre. c) Tomada de U. Busch. Wilhelm Conrad Roentgen. The discovery of X-rays and the creation of a new medical profession

El gran impacto del descubrimiento supuso una rápida difusión entre la comunidad científica, y se tradujo en la publicación de 49 monografías y 1044 artículos especiales sobre los rayos X⁴.

Sería Thomas Edison el que fabricara el primer fluoroscopio disponible comercialmente, convirtiéndose en uno de los pioneros de la fluoroscopia en Estados Unidos al transformar el descubrimiento de W. Röntgen en un éxito comercial. En Mayo de 1896, Edison, instaló en la “Exposición de Luz Eléctrica” en la ciudad de Nueva York una atracción en la que los visitantes, a cambio de unas monedas, podían ver la imagen de su mano mediante rayos X. Dicho espectáculo tuvo un gran éxito pero finalizó tras el fallecimiento de su asistente principal y amigo, Clarence Dally, como consecuencia de las graves quemaduras causadas por los rayos X que requirieron la amputación de ambas extremidades superiores. Dally fue considerado la primera víctima mortal de los rayos X en Estados Unidos⁴.

En este contexto, la fluoroscopia va a ser definida como la técnica que permite obtener imágenes en tiempo real de las estructuras internas del cuerpo humano⁵.

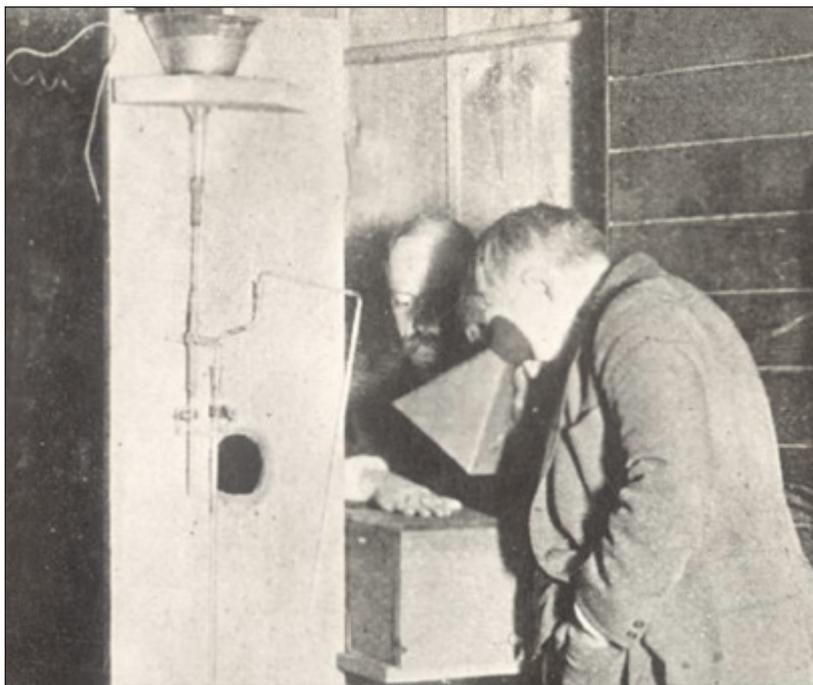


Figura 2: Fluoroscopio de T. Edison

Tomada de La historia de la radiología. [Monografía en Internet]. Sociedad Europea de Radiología.

1.1.2. CONCEPTO GENERAL DE RADIACIÓN

La energía se define como la capacidad de realizar un trabajo y se clasifica en distintos tipos en función de sus características específicas. La energía electromagnética es aquella que se emplea en la obtención de imágenes por rayos X. Albert Einstein, en

su “Teoría de la Relatividad”, describe la especial propiedad de la materia y la energía de ser intercambiables. Entre sus múltiples investigaciones, desarrolla la ecuación de equivalencia masa-energía¹:

$$E = m c^2$$

Donde E , representa la energía m , la masa y c , es la velocidad luz en el vacío.

La energía electromagnética suele denominarse radiación electromagnética o simplemente radiación. La radiación no es más que transferencia de energía.

Por tanto, la radiación electromagnética supone una propagación de energía a través del espacio, sin necesidad de un medio natural, es decir, tiene lugar una transmisión de energía desde un sistema que la produce a un sistema que la recibe. La materia que intercepta la radiación y la absorbe, se denomina, materia expuesta o irradiada.

Cuando un paciente es sometido a una exploración radiológica es expuesto a un tipo de radiación electromagnética, los rayos X, de ahí el concepto de “irradiar” al paciente.

Dentro de las ondas electromagnéticas se incluyen además de los rayos X, las ondas de radio, las microondas, la luz ultravioleta e infrarroja y la luz visible.

Espectro de radiación electromagnética:

La radiación electromagnética se basa en un fenómeno de naturaleza ondulatoria, y los distintos tipos de ondas electromagnéticas se van a diferenciar por la longitud de onda, la frecuencia, y la energía que transportan.

A la clasificación del conjunto de todas las ondas electromagnéticas conocidas se denomina Espectro de Radiación Electromagnética⁶.

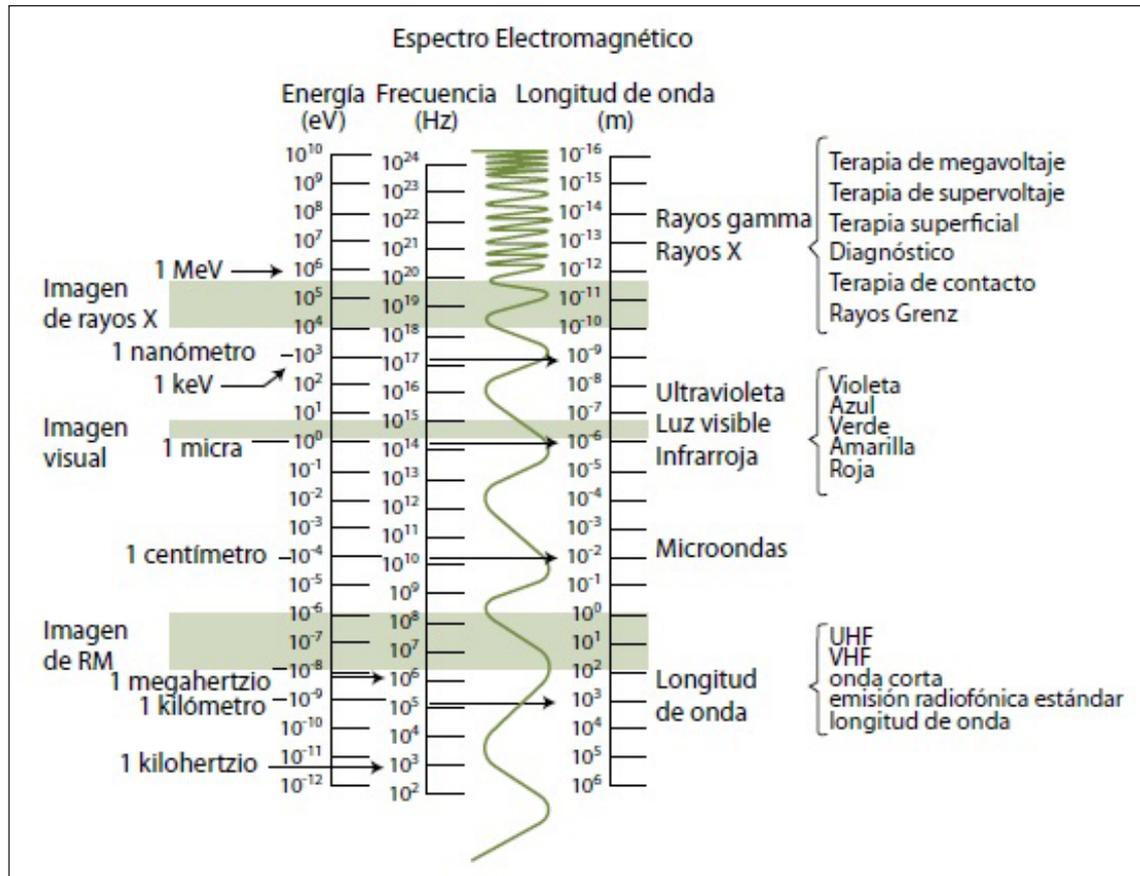


Figura 3: Espectro de Radiación Electromagnético

Tomada de Brosed Serreta A, Ruíz Manzano P. Fundamentos de Física Médica Vol.2.

Radiación ionizante:

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 (Fig-4) a la capacidad de la radiación de extraer un electrón orbital del átomo con el que interactúa, creándose un par iónico entre el electrón libre (ion negativo) y el resto del átomo (ion positivo). Cualquier tipo de energía con dicha capacidad se va a incluir dentro de la radiación ionizante. Los rayos X, los rayos gamma y la luz ultravioleta son los únicos tipos de radiación electromagnética con capacidad de ionizar la materia.

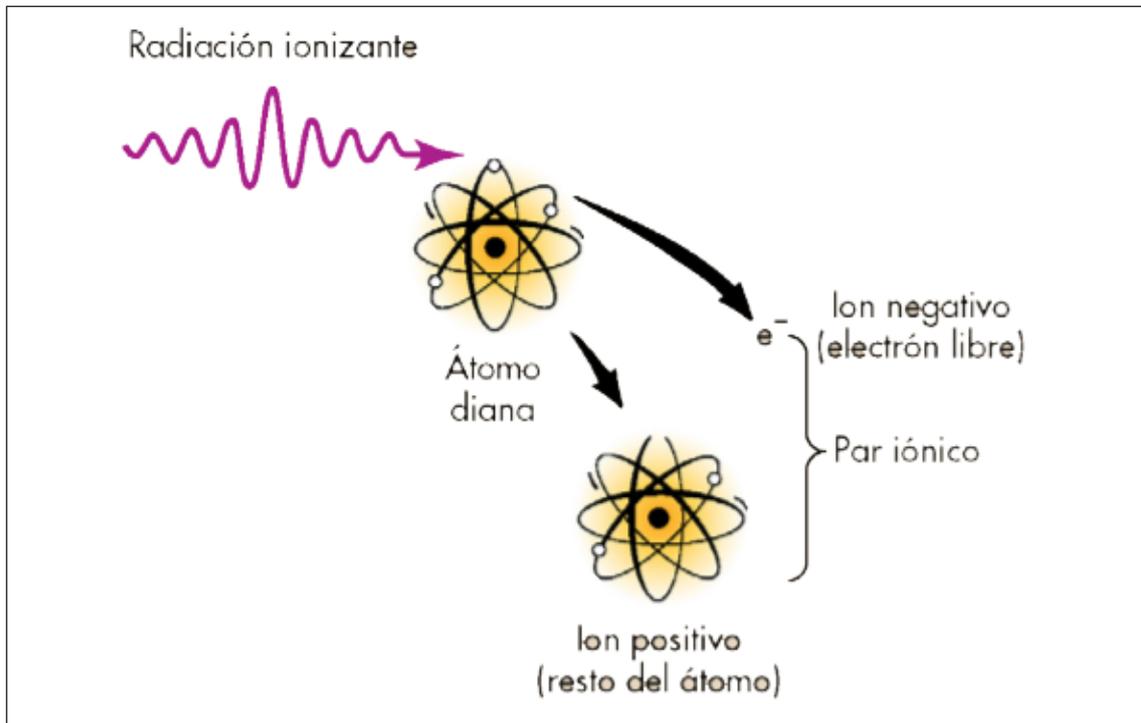


Figura 4: Ionización

Tomada de Bushong S. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.

El ser humano ha estado expuesto desde su comienzo a numerosas fuentes de radiación ionizante, pudiendo clasificarse en dos tipos principales según su origen, natural o artificial.

1. Radiación ambiental natural: los seres vivos han convivido durante milenios con un nivel de radiación ambiental de origen natural, que se caracteriza por una intensidad constante a lo largo del tiempo, con variaciones geográficas. Se distinguen tres componentes dentro de la radiación natural: los rayos cósmicos, la radiación terrestre y los radionucleidos del cuerpo humano. La dosis anual estimada para la radiación natural se establece en menos de 3 mSv.
2. Radiación artificial: es aquella producida por el hombre, e incluye principalmente, los radionucleidos artificiales y los generadores de radiaciones ionizantes (rayos X y electrones), aplicados tanto en el diagnóstico como en la terapéutica médica, la energía nuclear, fuentes industriales y productos de consumo. Los rayos X diagnósticos son considerados la principal fuente de radiación ionizante artificial.

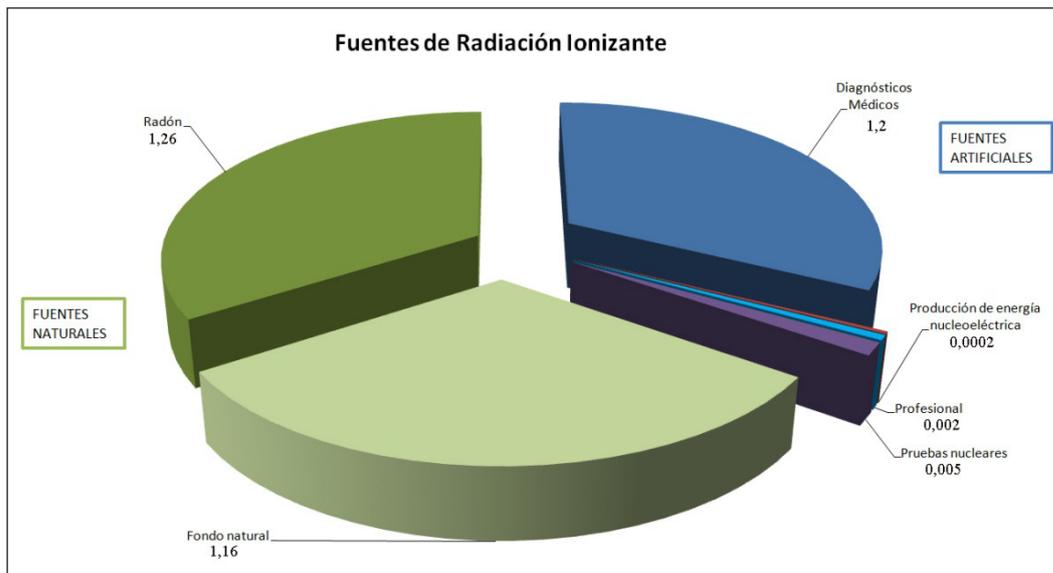


Figura 5: Contribución en mSv de las fuentes de radiación ionizante a la dosis efectiva por persona/ año

Elaboración propia a partir de datos tomados del Consejo de Seguridad Nuclear

1.1.2.1. Bases físicas de los rayos X

Los rayos X como radiación electromagnética son invisibles al ojo humano, con una longitud de onda que va desde 10 a 0.1 nanómetros y una frecuencia situada en un rango de 30 a 3.000 MHz.

Propiedades:

Los rayos X poseen las siguientes propiedades:

1. **Poder de penetración:** hace referencia a la capacidad de penetrar la materia, de tal forma que cuando un haz de rayos incide sobre la materia se van a producir tres tipos de radiación:

- Radiación incidente: se denomina así a la parte de la radiación que va a ser absorbida.
- Radiación dispersa: parte de la radiación que se dispersa al ambiente.
- Radiación emergente o remanente: parte de la radiación de dicho haz que no es modificable y va a ser la que atraviese la materia.

Dependiendo de la densidad, el espesor y la dureza, los cuerpos van a absorber distinta cantidad de energía, atendiendo al coeficiente de atenuación específico de cada sustancia.

2. Efecto fotográfico: capacidad de modificar las emulsiones que cubren las placas radiográficas.
3. Efecto luminiscente: se explica mediante la combinación de los fenómenos de fluorescencia y fosforescencia:
 - Fluorescencia: capacidad de los rayos X de que ciertas superficies emitan luz al incidir sobre ellas.
 - Fosforescencia: capacidad de algunas de estas superficies de seguir emitiendo luz tras haber cesado la radiación.
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. Como hemos explicado anteriormente, la ionización se produce cuando los rayos X pasan cerca de un electrón orbital de un átomo, al que proporcionan la energía suficiente para que dicho electrón abandone el átomo.

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: es el efecto producido entre los rayos X y los electrones de las capas más externas, causando la ionización del átomo, un cambio en la dirección de rayo X y la reducción en la energía del mismo. La longitud de onda (λ) del rayo dispersado va a ser superior a la del rayo incidente, y como consecuencia va a poseer menor energía, pero tanto el electrón secundario o electrón Compton, como el rayo X disperso van a tener energía suficiente para producir nuevas ionizaciones en la materia. Por tanto, los rayos X dispersos producidos por el efecto Compton pueden producir un grave riesgo de exposición para el personal, especialmente durante la fluoroscopia, debido a que una gran cantidad de radiación puede ser dispersada desde el paciente al ambiente durante la técnica.

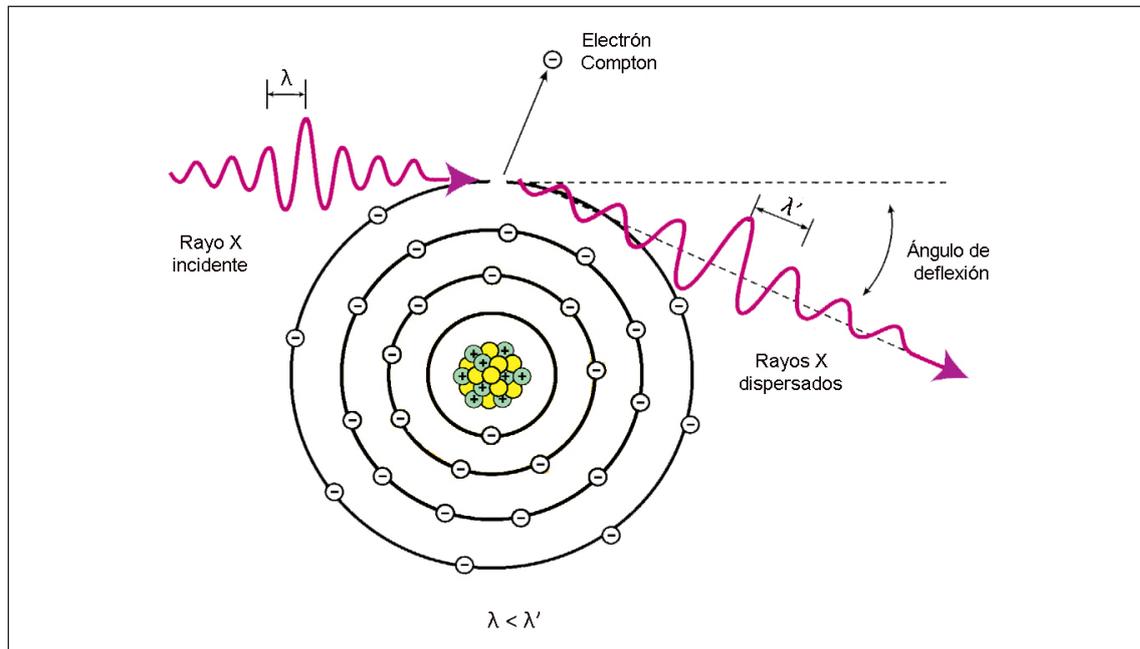


Figura 6: Efecto Compton

Tomada y modificada de Bushong S. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010

2. Efecto fotoeléctrico: se produce por la interacción de los rayos X con las capas más internas y a diferencia del efecto Compton, en el efecto fotoeléctrico la energía no se dispersa, sino que se absorbe en su totalidad. El electrón ionizado de las capas profundas se denomina fotoelectrón y saldrá expulsado del átomo.

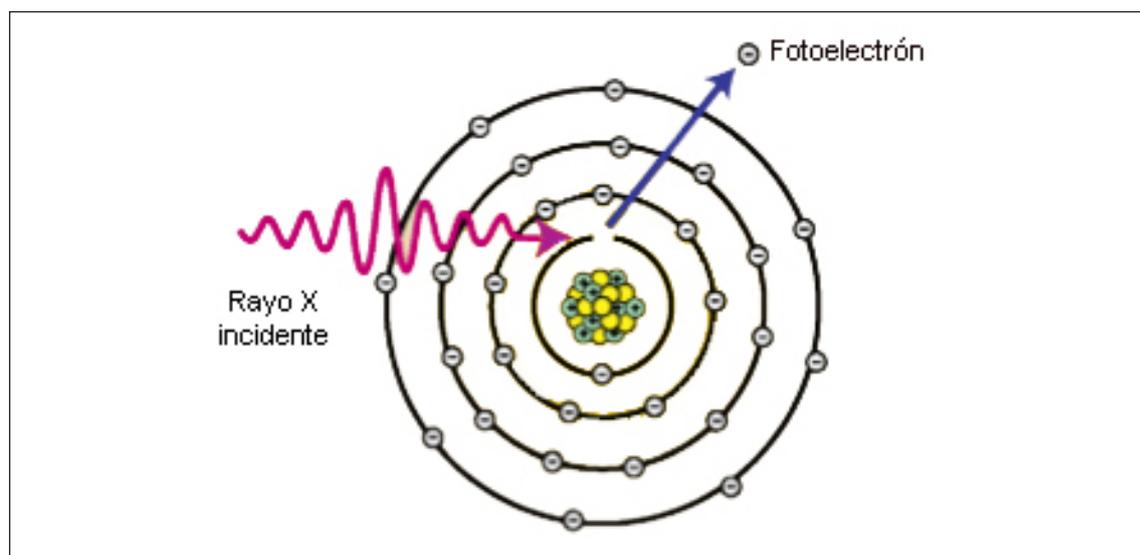


Figura 7: Efecto fotoeléctrico

Tomada y modificada de Bushong S. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.

La convivencia del ser humano desde su comienzo con la radiación ambiental de origen natural ha sido motivo de estudio y existen líneas dentro de los genetistas que defienden que dicha radiación debe considerarse como un factor principal dentro de la evolución.

Los rayos X suponen en la actualidad la mayor fuente de origen humano de radiación ionizante. La estimación realizada en 2006 por el *National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP) fue de 3.2 mSv/año. Destaca el notable incremento en la radiación evidenciado y que el NCRP atribuyó al uso creciente de la fluoroscopia y la tomografía computarizada

Los beneficios de la aplicación de los rayos X en el campo de la medicina son indiscutibles pero 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.

En relación con esto, si tomamos en consideración las teorías genéticas sobre evolución e ionización, debemos enfatizar en el control de la exposición a radiación innecesaria. En el último siglo se ha producido un aumento significativo de la exposición anual media de la población a la radiación por su uso creciente en el ámbito médico.

Leyes generales de las radiaciones ionizantes de interés en Protección Radiológica:

El comportamiento común de las radiaciones electromagnéticas ha favorecido que se enuncien una serie de leyes físicas generales que recogen las características de las radiaciones, de las que podemos destacar por su interés en la Protección Radiológica, las dos siguientes⁷:

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 ($1/d^2$). De tal manera que:

- Si la distancia entre el foco emisor y el receptor aumenta, la dosis de radiación disminuye en razón inversa al cuadrado de la distancia, es decir, si la distancia aumenta de un metro a dos, la dosis recibida por la superficie

se va a reducir hasta un 25% (dosis= $1/2^2$). Al aumentar la distancia a tres metros, la dosis de radiación disminuirá un 90% (dosis= $1/3^2$) y no un tercio como podríamos pensar.

- Si disminuimos la distancia al foco emisor, la intensidad o radiación va a aumentar en proporción al cuadrado de la distancia, de tal forma que deberemos multiplicar la dosis por cuatro y no por dos, como cabría esperar.

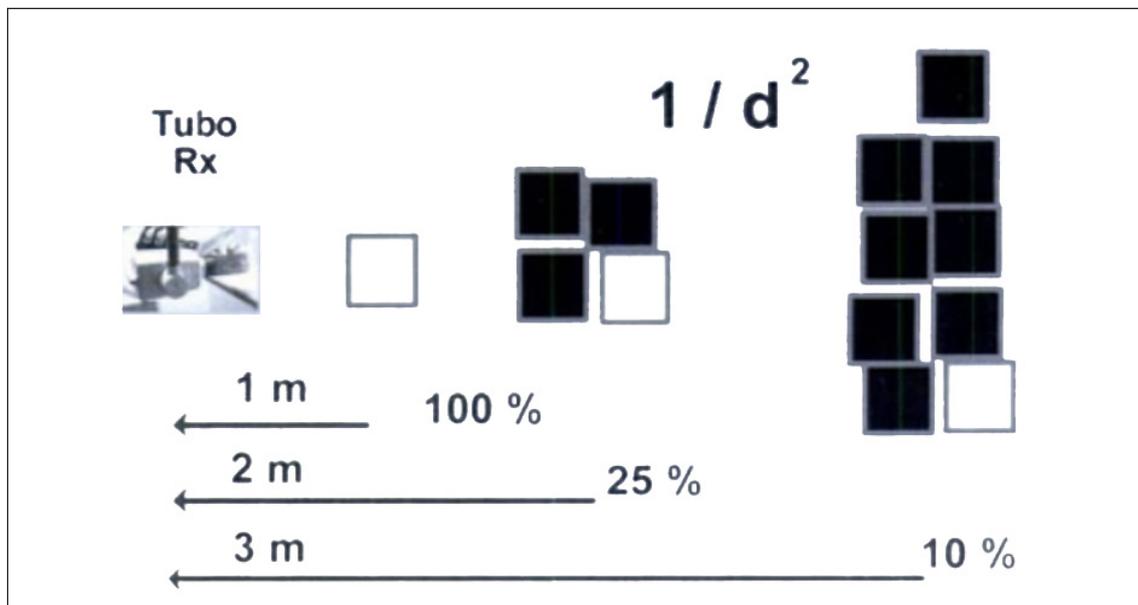


Figura 8: Ley de la Inversa del Cuadrado de la Distancia

Tomada y modificada de Alcaraz Baños M. Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico medico. 2ª ed.

En la práctica, aumentar la distancia al foco emisor es una forma fácil, segura y económica de minimizar la exposición a la radiación.

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. De tal manera que será máxima cuando incida perpendicularmente.

En la práctica, podemos decir que para una distancia determinada, la intensidad de radiación será menor en el sentido opuesto al que lleva el haz primario de radiación.

Magnitudes y unidades:

Dosis absorbida: la cantidad de energía cedida a la materia al interactuar con las radiaciones ionizantes se denomina “dosis absorbida”. 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, que va a depender de la naturaleza y la energía de la radiación, así como del tipo de tejido expuesto. Por lo que se introducen las siguientes dos magnitudes:

Dosis equivalente: hace referencia a la dosis absorbida en un órgano o tejido, ponderada en función del tipo y calidad de la radiación. Se expresa en sievert (Sv). 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 ponderada de las dosis equivalentes en los distintos órganos y tejidos del cuerpo por radiaciones ionizantes. Su unidad es el sievert (Sv) y su valor informa sobre el riesgo global del organismo.

–Unidades de absorción:

Rad (dosis absorbida de radiación): unidad clásica para la dosis absorbida y el kerma del aire.

Gray (Gy): nombre especial para la unidad del Sistema Internacional (SI) de la dosis absorbida y del kerma del aire, que equivale a la energía de 1 julio cedida en un kilogramo de materia.

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

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.

–Unidades de equivalencia:

Rem (radiación equivalente en el hombre): unidad especial para la dosis equivalente y la dosis efectiva. Ha sido reemplazado por el sievert (Sv) en el SI.

Sievert (Sv): nombre especial para la unidad del SI de la dosis equivalente y la dosis efectiva y que equivale a 100 rem.

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

1.1.3. DIMENSIÓN DE LA FLUOROSCOPIA EN LA ASISTENCIA SANITARIA

El radiodiagnóstico incluye el conjunto de procedimientos de exploración y visualización de las estructuras anatómicas mediante la utilización de rayos X. La continua aparición de nuevas técnicas y el incremento en las indicaciones hace que el número de procedimientos médicos en los que se emplean rayos X crezca día a día^{5,8}. Dentro de las exploraciones con rayos X, se incluyen la radiología convencional y la fluoroscopia. La característica principal que diferencia a la fluoroscopia de la radiología convencional es que es dinámica. Esta capacidad de ofrecer imágenes anatómicas en movimiento⁹ supone una gran ventaja al facilitar una localización de las áreas anatómicas de interés con mayor precisión, y permitir la verificación de la posición del instrumental en relación con el área a tratar.

En esta técnica, el receptor de la imagen radiográfica es una pantalla fluorescente que se va a iluminar al incidir el haz de rayos X sobre ella. La imagen se va a producir por distinta intensidad de la luz emitida en las diferentes partes de la pantalla. Se emplean intensificadores de imagen para aumentar la intensidad de la imagen luminosa, que va a ser recogida por una cámara y visualizada en un monitor de televisión.

En la fluoroscopia la emisión de radiación puede prologarse un mayor tiempo, debido precisamente a la necesidad de una exploración dinámica de las estructuras anatómicas, lo que puede incrementar notablemente la dosis de radiación recibida.

Las ventajas de la técnica hacen que la imagen fluoroscópica se emplee de manera rutinaria en numerosos procedimientos quirúrgicos e intervencionistas¹⁰.

En la siguiente tabla se resumen algunos ejemplos de dichos procedimientos, que con frecuencia se realizan fuera de las áreas de radiodiagnóstico¹¹.

Región anatómica	Especialidad	Procedimiento
Sistema musculoesquelético	-Radiología -Traumatología y Cirugía Ortopédica -Anestesiología -Neurocirugía	-Reducción de fracturas -Osteosíntesis de fracturas -Vertebroplastia -Cifoplastia -Ablación nerviosa por radiofrecuencia -Localización y colocación de agujas para inyecciones intraarticulares, aspiración o toma de biopsia
Aparato Digestivo	-Radiología -Aparato digestivo	-Gastrotomía percutánea
Hepatobiliar	-Radiología -Cirugía general	-Colangiopancreatografía retrógrada (CPRE) -Exploración vía biliar
Aparato urinario	-Radiología -Urología	-Nefrostomía -Nefrolitotomía percutánea -Cistografía -Ureterografía -Pielografía
Vascular	-Radiología -Cardiología -Cirugía vascular	-Angioplastia -Filtro vena cava -Reparación de aneurisma -Embolización
Sistema nervioso central	-Radiología -Neurocirugía	-Angiografía -Embolización -Trombolisis

Tabla 1: Procedimientos guiados por fluoroscopia de uso frecuente

1.1.3.1. Características de los equipos radioquirúrgicos

Una de las características de los equipos radioquirúrgicos es que son móviles, a diferencia de los equipos fijos de las salas de radiodiagnóstico, desplazándose según las necesidades concretas en función del tipo de intervención y las características del paciente.

El equipo radioquirúrgico empleado con mayor frecuencia es el arco en C. Su denominación se debe a la disposición característica del tubo de rayos X y el receptor de imagen. Ambos componentes quedan alineados, a una distancia fija (de 90 cm a 100 cm) y unidos por un brazo en forma de C, lo que permite una amplia variedad de movimientos. La capacidad que tienen estos equipos para variar la posición del

arco en torno al paciente sin necesidad de movilizarlo es una de sus características fundamentales. El paciente quedará situado entre el tubo y el intensificador de forma que el acceso a la zona de exploración quede relativamente libre. Este arco en C va unido a un brazo extensible anclado al pie del equipo donde se incluye el generador de rayos X y la consola con los mandos de control. Otro de sus componentes son los monitores para la visualización de imágenes y la fluoroscopia en tiempo real.

Los equipos actuales incorporan generadores de alta frecuencia que permiten el empleo de fluoroscopia pulsada, de tal manera que la emisión de radiación se activa y desactiva en intervalos cortos de tiempo durante la exposición, lo que se traduce en una reducción de dosis tanto para el paciente como para el personal. Por otro lado también disponen de opciones para aumentar la dosis cuando sea necesaria una elevada calidad de imagen.

Otro de los modelos habituales en el entorno quirúrgico es el “mini arco”, variante del arco en C que se diferencia por un arco pequeño y una menor distancia entre el foco y el intensificador (alrededor de 35 cm). Diseñado específicamente para la exploración y cirugía de las extremidades.

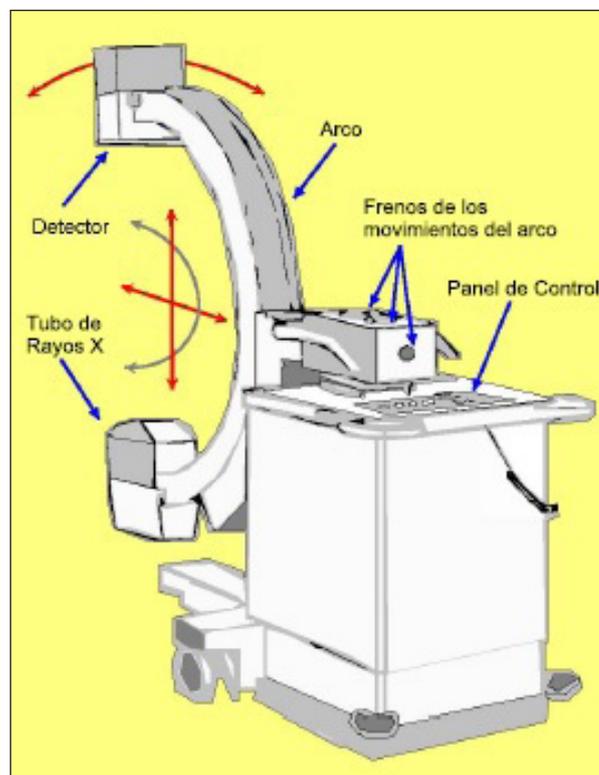


Figura 9:Equipo radioquirúrgico tipo Arco en C

Actualmente la expansión de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el ámbito médico ha llevado al desarrollo de equipos especializados que permiten disponer de un tomógrafo o un acelerador lineal de partículas portátil en el quirófano. Éste último está diseñado para la aplicación de radioterapia intraoperatoria en los denominados quirófanos oncológicos y una de sus características es que logra concentrar en una sola dosis el equivalente a seis sesiones de radioterapia externa.

1.1.3.2. Situación actual

La exposición a radiación ionizante, para la realización de procedimientos médicos, se ha incrementado notablemente en las tres últimas décadas debido a las importantes novedades tecnológicas y científicas. Paralelamente, la utilización de la fluoroscopia durante procedimientos quirúrgicos ha contribuido al incremento de la media de exposición a radiación por paciente¹². Otro factor importante ha sido la evolución de la radiología intervencionista, que ha supuesto un aumento del grado, el volumen y la complejidad de los pacientes sometidos a procedimientos dirigidos por técnicas de imagen¹⁰.

La exposición a la radiación ionizante resulta inevitable durante estos procedimientos, por lo que es fundamental para disminuir los efectos deletéreos de la técnica, tratar de minimizar la absorción por parte del tejido biológico.

Aunque en ocasiones se subestime, no se debe olvidar el riesgo de exposición a la radiación ionizante tanto en los pacientes como en los profesionales. Otro aspecto importante a considerar es la escasez de estudios poblacionales a largo plazo sobre los efectos perjudiciales de la exposición ocupacional a radiación ionizante.

1.2. RADIOBIOLOGÍA

La radiobiología es la parte de la biología destinada al estudio e investigación de los efectos de la radiación ionizante en los seres vivos. La mayoría de los estudios científicos de la investigación radiobiológica se centran en el estudio de la relación entre la dosis y la respuesta, con el objetivo de prever el efecto para una dosis calculada y así conocer de manera más precisa la respuesta esperada.

Se define la radiosensibilidad como la susceptibilidad a la radiación de una célula o tejido vivo. En 1906, Bergonie y Tribondeau¹³ formularon que la radiosensibilidad era una función del estado metabólico del tejido que se irradiaba.

La Ley de Bergonie y Tribondeau enumera los siguientes postulados:

- 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 estas características celulares, en relación a la radiosensibilidad de las mismas, existen factores físicos y biológicos que afectan a los tejidos:

A) Factores físicos:

1. Transferencia lineal de energía o LET (*Linear Energy Transfer*): se define como la relación entre la energía de la radiación ionizante y el tejido blando al que se transfiere. La capacidad de ionización de los rayos X es mayor cuando la LET es elevada, incrementándose la probabilidad de producir efectos biológicos.
2. Eficacia biológica relativa o RBE (*Relative Biologic Effectiveness*): es la razón entre la dosis de una radiación de referencia y la dosis de radiación considerada que produce el mismo efecto biológico. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{RBE} = \frac{\text{Dosis de radiación estándar necesaria para producir un efecto dado}}{\text{Dosis de radiación estudiada necesaria para producir el mismo efecto}}$$

A mayor LET, mayor capacidad de producir daño biológico, y dicho efecto relativo se describe cuantitativamente mediante la RBE.

3. Escalamiento y fraccionamiento de la dosis: al aumentar el tiempo de radiación para una determinada cantidad de radiación dada, el efecto será menor, debido a que se dará tiempo para que actúen los mecanismo de reparación celular y recuperación tisular.

B) Factores biológicos:

1. Efecto del oxígeno: el tejido es más radiosensible en condiciones de oxigenación plena o aeróbicas que en condiciones de hipoxia o anoxia. Los rayos X diagnósticos se irradian bajo situaciones de oxigenación plena.
2. Edad: la edad afecta a la radiosensibilidad de un organismo. Se ha observado experimentalmente mediante estudios en animales que existe una mayor radiosensibilidad durante la vida intrauterina que, desciende tras el nacimiento para volver a aumentar en la senectud.

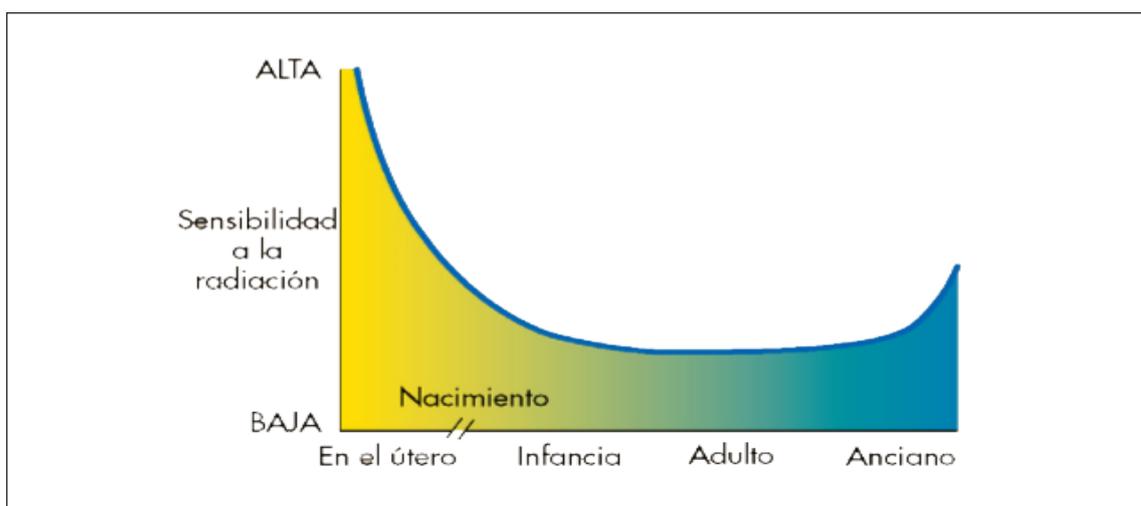


Figura 10: Variación de la radiosensibilidad con la edad

Tomada de Bushong S. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.

3. Recuperación: es la combinación de la reparación intracelular y la repoblación, y contribuirá a la reparación del daño producido por la radiación. No todos los tipos celulares tienen la misma capacidad de reparar el daño subletal. Cuando un número de células suficiente sobrevive y se recupera del daño subletal, pueden sobrevivir, proliferar y repoblar el tejido u órgano irradiado.

1.2.1. RESPUESTA A LA RADIACIÓN DEL SER HUMANO

Es indudable el efecto perjudicial que poseen los rayos X a dosis elevadas, siendo diversas las lesiones que pueden causar, sin embargo no se conoce con certeza cómo y en qué grado afectan cuando se emplean con fines diagnósticos.

Por otro lado también son indudables los beneficios de su aplicación en el diagnóstico médico.

El cuerpo humano no va a responder de una manera predecible ante la radiación ionizante. El efecto de dicha radiación se produce como consecuencia de su interacción con el átomo, en concreto se relaciona con los procesos de ionización y excitación. Durante ambos procesos se va a producir una liberación de energía, y este depósito de energía a nivel atómico puede provocar cambios a nivel molecular. Su repercusión dependerá de si la molécula afectada es decisiva, o por el contrario, no lo es.

Tras la exposición a la radiación ionizante se producen una serie de acontecimientos que pueden acabar en daño celular y/u orgánico (Fig-11).

Pero, ¿por qué se produce dicho daño? Al ser ionizado, la modificación de las propiedades físicas del átomo puede condicionar que se vean alteradas sus características químicas. Si este átomo forma parte de una molécula grande, esta ionización puede producir la ruptura de la molécula o el cambio de la posición de dicho átomo en ella. Como consecuencia se puede dar lugar a una molécula anómala que podrá funcionar de manera incorrecta o incluso ser inoperante, lo que puede contribuir a un deterioro de la célula o incluso a la muerte celular en última instancia.

Como mecanismo de protección la célula cuenta con mecanismos reparadores y afortunadamente en la mayoría de ocasiones este proceso es reversible, al conseguir la reparación de la molécula mediante sistemas enzimáticos¹⁴. Con estos mecanismos se consigue la recuperación y regeneración a nivel celular y tisular tras una agresión por radiación ionizante.

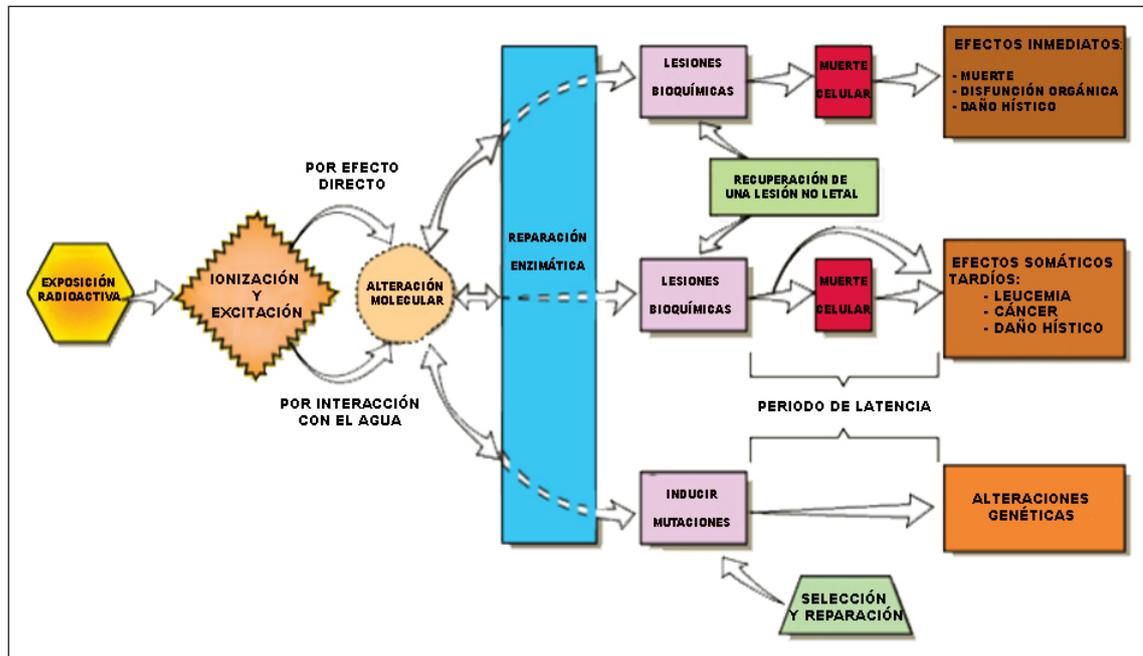


Figura 11: Cascada de acontecimientos tras exposición a radiación ionizante

Tomada y modificada de Bushong S. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICPR) 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 ionizante¹⁵⁻¹⁶.

- **Efectos deterministas:** se caracterizan porque su gravedad depende de la dosis de radiación absorbida. Existe una dosis umbral por debajo de la cual no se produce el efecto o las lesiones. Cuanto mayor sea la dosis de radiación recibida más grave será la lesión producida. Los efectos deterministas nunca son hereditarios, son siempre efectos somáticos, aunque pueden afectar a las poblaciones de células germinales (ej. la irradiación de gónadas conduce a esterilidad, permanente o temporal, tanto en el hombre como en la mujer).
- **Efectos no deterministas:** se caracterizan porque la probabilidad de que se manifieste el efecto, pero no su gravedad, depende de la dosis de radiación recibida. Estos efectos se relacionan con la aparición de mutaciones tanto en células somáticas como en germinales, relacionándose con neoplasias o malformaciones fetales respectivamente. La gravedad de los efectos no deterministas es independiente de la dosis de radiación recibida, y los efectos serán igual de graves si se han recibido dosis altas o bajas. Sin embargo, la

probabilidad de que aparezcan en las poblaciones irradiadas será mayor cuanto mayor sea la dosis de radiación recibida. En este caso no existe dosis por debajo de la cual no se produzca dicho efecto, es decir, no se relaciona con una dosis umbral. Esta característica es muy importante para los trabajadores profesionalmente expuestos a radiación ionizante, pues pone de manifiesto la imposibilidad de poder eliminarlos completamente.

EFFECTOS DETERMINISTAS	EFFECTOS NO DETERMINISTAS
-No estocásticos o no probabilísticos	-Estocásticos o probabilísticos
-Dosis umbral	-No dosis umbral
-Gravedad dependiente de la dosis	-Probabilidad dependiente de la dosis pero no su gravedad
-Predecibles	-No predecibles

Tabla 2: Efectos deterministas y no deterministas

La respuesta del organismo humano a la radiación ionizante puede ser inmediata o tardía, en función del tiempo que transcurre desde la exposición hasta que se produce la respuesta celular. Sus efectos se clasifican en:

A) Efectos inmediatos:

1. Síndrome o letalidad por radiación aguda:
 - Síndrome hematológico
 - Síndrome gastrointestinal
 - Síndrome del sistema nervioso central
2. Lesión hística a nivel local:
 - Piel
 - Gónadas
3. Depresión hematológica
4. Lesión citogenética

B) Efectos tardíos:

1. Leucemia
2. Otras neoplasias: cáncer óseo, pulmonar, tiroideo o de mama
3. Lesión hística a nivel local:

- Piel
- Gónadas
- Ocular
- 4. Lesiones genéticas:
 - Lesión citogenética
 - Duplicación de dosis
 - Dosis significativa genéticamente

C) Efectos a nivel fetal:

1. Muerte prenatal
2. Muerte neonatal
3. Malformación congénita
4. Enfermedad maligna en la infancia
5. Retraso en el crecimiento

1.2.2. EFECTOS INMEDIATOS DE LA RADIACIÓN

La respuesta inmediata a la radiación se denomina no estocástica o determinista, y su gravedad aumenta al aumentar la dosis de radiación. Esto hace que exista una dosis umbral para que se produzcan dichos efectos. Una vez alcanzada dicha dosis, la gravedad aumentará con el aumento de la dosis.

1.2.2.1. Letalidad por radiación aguda

En la actualidad no existen casos documentados de muerte tras exposición a rayos X diagnósticos, pues con los equipos modernos, afortunadamente, no se alcanzan dosis letales durante el diagnóstico de imagen y además, no suele producirse una exposición corporal total, sino que se irradia únicamente una parte del cuerpo humano.

Este tipo de afectación fue observada y estudiada, lamentablemente, en el desafortunado accidente de Chernobyl, donde 30 personas fallecieron como consecuencia de un síndrome de radiación aguda.

Dentro de la definición del síndrome de radiación aguda se incluyen tres síndromes distintos que son dependientes de la dosis de radiación recibida, y que clínicamente están bien diferenciados entre sí. Estos tres síndromes son la muerte hematológica, la muerte gastrointestinal y la muerte del sistema nervioso central. El síndrome hematológico se

caracteriza por pancitopenia, afectando a las tres series celulares (hematíes, plaquetas y leucocitos). El síndrome gastrointestinal se produce como consecuencia de la muerte del epitelio intestinal, mientras que la afectación del sistema nervioso se debe al aumento de la presión intracraneal.

El síndrome de radiación aguda se desarrolla en tres fases, una primera fase prodrómica, que se inicia en las primeras horas y puede prolongarse hasta dos días tras la exposición. A esta fase le sigue un periodo de recuperación aparente o periodo de latencia, que puede prolongarse varias semanas, para dar paso por último a la fase de enfermedad manifiesta.

1.2.2.2. Daño hístico local

La exposición corporal parcial a la radiación ionizante puede afectar a cualquier órgano o tejido, y se produce atrofia como resultado de la muerte celular. La respuesta de cada tejido va a depender de su radiosensibilidad específica.

Efectos a nivel cutáneo: la piel es el tejido en el que más se ha estudiado el efecto de la exposición a la radiación, y es la alteración de las células basales de la epidermis la manifestación más inmediata tras la exposición. Clínicamente se manifiesta con eritema, seguido de descamación.

El tiempo de fluoroscopia elevado que se requiere en los procedimientos intervencionistas supone un mayor riesgo de lesiones cutáneas, lo que ha hecho que se incremente la preocupación al respecto, y se adopten medidas para este tipo de exposiciones¹⁷.

Los efectos cutáneos potenciales de altas dosis de fluoroscopia pueden resumirse en:

- Eritema inmediato transitorio.
- Eritema importante.
- Depilación: temporal o permanente.
- Descamación húmeda.

Efectos a nivel gonadal: 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. A partir de la tercera década de edad la radiosensibilidad vuelve a aumentar de forma progresiva y continua cada año. Dosis pequeñas de 10 rad (100 mGy) en la mujer madura pueden causar amenorrea, y dosis de 200 rad infertilidad temporal.

La irradiación gonadal en estudios experimentales con animales se ha relacionado con mutaciones genéticas incluso con dosis moderadas de radiación (25 rad).

– Testículos: su irradiación puede provocar descenso en el número de espermatozoides. Si se alcanza una dosis de 200 rad (2 Gy) puede producirse infertilidad temporal.

La gametogénesis masculina presenta la cualidad de ser un sistema con la capacidad de renovarse, de tal manera que si la procreación se produce entre los dos y cuatro meses posteriores a la irradiación parece reducirse el incremento de mutaciones genéticas.

1.2.2.3. Efectos hematológicos

Los componentes que constituyen el sistema hematopoyético son la médula ósea, la sangre periférica y el tejido linfoide. El principal efecto descrito tras su irradiación es el descenso del recuento de células sanguíneas maduras en sangre periférica por el descenso de todos los precursores celulares.

Los linfocitos son las células más radiosensibles del sistema hematopoyético. Esto explica que a principios del siglo XX el análisis periódico de sangre periférica se incluyera como medida de control de exposición en los trabajadores expuestos, no concebible como medida de radioprotección en la actualidad.

1.2.2.4. Efectos citogenéticos

La citogenética es el estudio de las células en general y de los cromosomas en particular, e incluye el estudio del daño cromosómico secundario a la radiación ionizante. Han sido descritos distintos tipos de daño cromosómico:

- Delección de la cromátide.
- Aberración cromosómica dicéntrica.
- Translocaciones recíprocas.

Las aberraciones cromosómicas inducidas por radiación siguen una relación dosis-respuesta con dosis umbral en el caso de roturas simples, mientras que las roturas múltiples siguen una relación no lineal, sin dosis umbral. El estudio de las alteraciones cromosómicas en los pacientes sometidos a exámenes radiológicos no ha sido posible, pero sí se ha observado en algunos estudios realizados que altas dosis de fluoroscopia se han relacionado con anomalías cromosómicas inducidas por radiación. La exposición a bajas dosis de radiación se ha relacionado con anomalías cromosómicas secundarias a rotura simple del ADN.

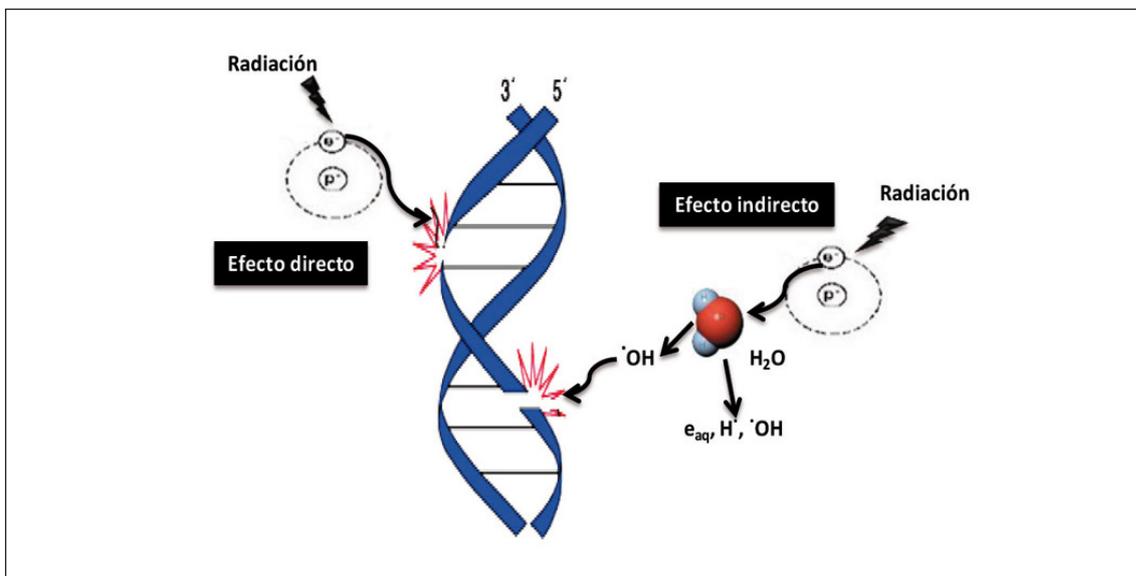


Figura 12: efecto de la radiación ionizante en el ADN

Tomada de <http://www.seguridadypromociondelasalud.com/n134/es/articulo2.html>.

1.2.3. EFECTOS TARDÍOS DE LA RADIACIÓN

Las dosis bajas de radiación mantenidas durante un periodo largo de tiempo van a desencadenar los efectos tardíos, que en la mayoría de las ocasiones son estocásticos o no deterministas.

Los principales efectos tardíos son la malignidad inducida por radiación y los efectos genéticos, y se caracterizan por presentar una mayor incidencia con el aumento de la dosis, sin existir una dosis umbral para que se produzcan. Este aumento de incidencia con la dosis de radiación no conlleva un aumento en la gravedad de las lesiones.

Las guías de protección radiológica se basan en limitar los efectos tardíos de la radiación observados o teóricos, con una relación dosis-respuesta lineal y sin dosis umbral.

La realización de estudios epidemiológicos en las personas expuestas es complicada, debido a que la dosis generalmente no se conoce con exactitud y la frecuencia de estos efectos es muy baja. Esto hace que el tamaño de la muestra a estudiar sea muy elevado para alcanzar significación estadística. En la tabla 3 se muestra la magnitud del problema al realizar el cálculo del tamaño muestral mínimo para demostrar que se produce un incremento de la incidencia de leucemia significativo para una dosis de radiación dada.

Dosis	Tamaño muestral requerido
5 rad (0.05 Gy)	6.000.000
10 rad (0.1 Gy)	1.600.000
15 rad (0.15 Gy)	750.000
20 rad (0.2 Gy)	500.000
50 rad (0.5 Gy)	100.000

Tabla 3: muestra mínima de población requerida para demostrar que una dosis determinada de radiación aumenta de forma significativa la incidencia de leucemia

Tomada y modificada de Bushong S. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.

1.2.3.1. Efectos locales a nivel hístico

Efectos a nivel cutáneo: los efectos tardíos a nivel cutáneo se pueden clasificar en malignos y no malignos. Entre los primeros destaca el desarrollo tardío de carcinoma y entre los no malignos la radiodermatitis.

La radiodermatitis se observó en los primeros radiólogos, los cuales realizaban exámenes con fluoroscopia sin protección con guantes plomados. Se observó que desarrollaban una apariencia despigmentada, envejecida y queratinizada de la piel. La dosis necesaria para que se produzcan es muy elevada, no observándose este efecto con las dosis actuales de exposición.

Efectos a nivel cromosómico: el daño cromosómico de los linfocitos de la sangre periférica puede producirse tanto como respuesta inmediata como tardía. Dosis bajas de radiación ionizante pueden producir anomalías cromosómicas silentes hasta que años después de la radiación se hagan aparentes.

El daño cromosómico a nivel de los linfocitos se manifiesta clínicamente de forma tardía como leucemia.

Efectos a nivel ocular: el cristalino presenta una elevada radiosensibilidad, que es variable en función de la edad, de forma que a mayor edad, mayor radiosensibilidad y más corto es el periodo de latencia. En los seres humanos se ha observado un periodo de latencia que varía desde 5 a 30 años, con un periodo medio de 15 años.

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.

En 1949 se publica el primer artículo que informaba de la aparición de cataratas como efecto secundario a la exposición a pantallas fluorescentes en los físicos que trabajaban con el ciclotrón, lo que conocemos actualmente como física de alta energía. Una década después se comunicaron centenares de casos de cataratas inducidas por radiación.

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.

1.2.4. GESTACIÓN Y RADIACIÓN

Las aplicaciones médicas de los rayos X durante la gestación ha constituido un punto de controversia desde el inicio de su utilización. Los datos disponibles se basan en estudios animales, que exponen los efectos de la radiación en función de la edad gestacional.

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 la gestación el periodo con mayor radiosensibilidad. Este aspecto es importante si tenemos en cuenta que en estas fases iniciales, con frecuencia, se desconoce el estado de gestación.

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.

La irradiación uterina en mujeres gestantes se ha relacionado con enfermedades malignas en la infancia, como pone de manifiesto el estudio *Oxford Survey*¹⁸, llevado a cabo por A. Stewart y cols. en Inglaterra, Escocia y Gales, donde se estudian todos los casos de enfermedad maligna en la infancia desde 1946 hasta la actualidad. En sus resultados destacan los casos de leucemia inducida por radiación, y concluyen un incremento de riesgo relativo a 1.5 de leucemia tras la irradiación uterina, lo que supone un aumento del 50% sobre la tasa normal de leucemia en sujetos no expuestos.

Edad gestacional	RR (riesgo relativo)
Primer trimestre	8.3
Segundo trimestre	1.5
Tercer trimestre	1.4
Total	1.5

Tabla 4: Riesgo relativo de leucemia infantil tras la irradiación uterina por trimestres

Tomada y modificada de Bushong S. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.

En relación con los efectos genéticos producidos por la radiación durante la gestación, los datos proceden de estudios en animales, en concreto moscas y ratones. Destacan las investigaciones del premio Nobel H. J. Muller, que en 1927 publicó sus resultados sobre la irradiación de *Drosophila* o mosca de la fruta. Muller irradiaba a las moscas maduras antes de la procreación, y posteriormente medía la frecuencia de mutaciones letales observadas en la descendencia, observando una relación dosis-respuesta lineal, es decir, sin dosis umbral. Este trabajo, entre otros, sirvió de base para que el *National Council on Radiation Protection* disminuyera las dosis máximas recomendadas en 1932, y que, por primera vez, reconociera que existían efectos de la radiación sin dosis umbral.

Todos estos efectos se han observado con dosis elevadas de radiación, siendo poco probable que la exposición embrionaria o fetal durante las exploraciones radiodiagnósticas a la mujer gestante produzcan efectos deterministas en el niño nacido. Pero la Comisión Internacional de Protección Radiológica recomienda ser cautos y evitar los procedimientos diagnósticos o terapéuticos que supongan la exposición abdominal durante la gestación o en mujeres con riesgo de estarlo. Esto se debe a que las mutaciones inducidas por radiación son generalmente peligrosas, y no debe olvidarse que cualquier dosis de radiación, aunque sea pequeña, sobre una célula germinal, lleva implícito cierto riesgo genético.

1.3. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

1.3.1. CONCEPTOS, OBJETIVOS Y PRINCIPIOS

La protección radiológica es definida como 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 ionizantes¹⁹. En definitiva es una actividad multidisciplinar de carácter científico y técnico cuya finalidad va a ser proporcionar un nivel de protección adecuada para las personas expuestas a radiación ionizante sin limitar los beneficios derivados de su uso.

La "*International Commission on Radiological Protection*" (ICRP) es la organización científica que se encarga de establecer la filosofía de la Protección Radiológica y de proporcionar, al mismo tiempo, recomendaciones para la utilización segura de las radiaciones ionizantes.

Su política de acción está basada en los siguientes principios fundamentales:

- **JUSTIFICACIÓN** de la actividad a realizar con radiaciones ionizantes: toda práctica en la que se utilicen radiaciones ionizantes debe estar justificada, de tal manera que no debe realizarse ninguna actuación que no conlleve un beneficio neto positivo para el paciente.
- **OPTIMIZACIÓN** de todas las exposiciones a radiación ionizante o principio ALARA. El término ALARA hace referencia a las siglas en inglés "*As Low As Reasonably Achievable*" que se puede traducir al castellano como "tan bajo como sea razonablemente posible". Aún cuando la exposición esté justificada, para una fuente determinada, las dosis deberán ser lo más bajas que razonablemente sea posible teniendo en cuenta factores sociales y económicos. La importancia de esto radica en que toda dosis de radiación lleva implícita algún tipo de riesgo para la salud y por tanto no será suficiente con cumplir con los límites de dosis recogidos en la normativa nacional.
- **LIMITACIÓN** de las dosis individuales recibidas en dichas actividades: las dosis de radiación recibidas no deberán superar los límites de dosis establecidos en la legislación vigente. Con este principio se pretende acotar los riesgos a los que está sometida una persona expuesta.

Los dos objetivos fundamentales de la protección radiológica considerados por la ICRP van a ser por tanto:

1. Prevenir los efectos deterministas: ya que para su aparición es preciso superar una dosis umbral, se podrían por tanto eliminar por completo limitando la dosis de radiación.
2. Acotar la probabilidad de incidencia de los efectos no deterministas hasta unos límites que se puedan considerar aceptables por una determinada sociedad: este objetivo se va a conseguir mediante la aplicación del criterio ALARA y el cumplimiento de los límites de dosis. No bastará con que las dosis se mantengan por debajo del límite sino que deben ser siempre tan bajas como sea posible.

1.3.2. LÍMITES DE DOSIS

Se establecen límites de dosis tanto para los trabajadores expuestos como para el público en general. 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. No están incluidas en el cómputo las dosis debidas a fuentes naturales ni la exposición secundaria a exámenes y tratamientos médicos (artículo 8 del capítulo segundo del RD 783/2001).

Trabajadores expuestos:

- El límite de dosis efectiva para trabajadores expuestos será de 100 mSv durante un periodo de cinco años oficiales consecutivos, sin superar una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.
- El límite de dosis equivalente hasta ahora para el cristalino era de 150 mSv por año oficial, pero 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.
- El límite de dosis equivalente para la piel será de 500 mSv por año oficial.
- El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos será de 500 mSv por año oficial.

Personas en formación y estudiantes:

Los límites de dosis para los estudiantes y personas en formación mayores de 18 años serán los mismos que para los trabajadores expuestos. En el caso de personas en formación con edades comprendidas entre 16 y 18 años estos límites son más restrictivos:

- El límite de dosis efectiva será de 6 mSv por año oficial.
- El límite de dosis equivalente para el cristalino será de 50 mSv por año oficial. En las últimas recomendaciones de la ICRP se reduce este límite a 20 mSv por año durante un periodo de cinco años, sin sobrepasar los 50 mSv en un único año.
- El límite de dosis equivalente para la piel será de 150 mSv por año oficial.
- El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos será de 150 mSv por año oficial.

Público:

- El límite de dosis efectiva para los miembros del público será de 1 mSv por año oficial.
- El límite de dosis equivalente para el cristalino será de 15 mSv por año oficial.
- El límite de dosis equivalente para la piel será de 50 mSv por año oficial.

DOSIS POR AÑO OFICIAL	TRABAJADORES EXPUESTOS	PERSONAS EN FORMACIÓN	PÚBLICO
Dosis Efectiva	100 mSv	Menores de 18 años: 6 mSv Mayores de 18 años: 100 mSv	1 mSv
Dosis Equivalente cristalino	150 mSv Nuevo límite: 20 mSv al año durante 5 años	Menores de 18 años: 50 mSv Mayores de 18 años: 150 mSv Nuevo límite: 20 mSv al año durante 5 años	15 mSv
Dosis equivalente piel	500 mSv	Menores de 18 años: 150 mSv Mayores de 18 años: 500 mSv	50 mSv
Dosis equivalente extremidades	500 mSv	Menores de 18 años: 150 mSv Mayores de 18 años: 500 mSv	50 mSv

Tabla 5: Límites de dosis de exposición a radiación ionizante de la ICRP

1.3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS TRABAJADORES

Los trabajadores se consideraran expuestos (TE) cuando puedan recibir dosis superiores a 1 mSv por año oficial. Se clasifican en dos categorías:

Categoría A: personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, pueden recibir una dosis superior 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.

Categoría B: personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

En la práctica pueden considerarse trabajadores expuestos aquellos que desempeñan su actividad en zonas en las que se utilizan fuentes de radiaciones ionizantes como son los equipos radiológicos fijos, portátiles o radioquirúrgicos, equipos de radioterapia externa o de medicina nuclear.

Por tanto los profesionales sanitarios que pueden en términos generales considerarse dentro del grupo de trabajadores expuestos incluyen:

- Facultativos especialistas en Radiodiagnóstico, Cirugía Ortopédica y Traumatológica, Urología, Anestesiología, Aparato Digestivo o Medicina Nuclear entre otros.
- Personal de enfermería y auxiliar que desarrollen su actividad en Radiología Intervencionista y Hemodinámica, área quirúrgica con equipo radioquirúrgico, Oncología Radioterápica o Medicina Nuclear entre otros.

1.3.4. CLASIFICACIÓN Y SEÑALIZACIÓN DE LAS ZONAS DE TRABAJO

Las áreas de trabajo se clasifican en función del riesgo de exposición y de la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales en las siguientes zonas²⁰:

Zona vigilada: aquella zona en la 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 o las extremidades. Se señala con un trébol gris/azulado sobre fondo blanco.

Zona controlada: es aquella zona en la que existe 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 equivalentes para el cristalino, la piel o las extremidades. Se señala con un trébol verde sobre fondo blanco.

A su vez las zonas controladas se podrán subdividir en:

Zona de permanencia limitada: existe el riesgo de superar los límites anuales de dosis para los trabajadores expuestos. Se señala con un trébol amarillo sobre fondo blanco.

Zona de permanencia reglamentada: existe el riesgo de recibir en cortos periodos de tiempo una dosis superior a los límites de dosis. Se señala con un trébol naranja sobre fondo blanco.

Zona de acceso prohibido: existe el riesgo de recibir en una exposición única dosis superiores a los límites de dosis. Se señala con un trébol rojo sobre fondo blanco.

Zona Vigilada	Zona Controlada	Zona de Permanencia Limitada	Zona de Permanencia Reglamentada	Zona de Acceso Prohibido
				

Tabla 6: Zonas de trabajo

La clasificación de los lugares de trabajo en las zonas establecidas deberá estar siempre actualizada y en consonancia con las condiciones existentes de trabajo reales.

1.3.5. VIGILANCIA Y CONTROL

1.3.5.1. Vigilancia dosimétrica

La vigilancia dosimétrica individual es llevada a cabo por los servicios de dosimetría personal expresamente autorizados por el CSN y es diferente según la clasificación de la categoría del trabajador expuesto.

Los dosímetros pueden definirse como sistemas detectores diseñados para estimar la dosis de radiación acumulada en un determinado tiempo. Existen de diferentes tipos según su funcionamiento, siendo los más empleados los de termoluminiscencia.

Para los trabajadores de categoría A es obligatorio el uso de dosímetro individual que mida la dosis externa, representativa de la dosis para la totalidad del organismo durante toda la jornada laboral. En el caso de exposición parcial o no homogénea deberán emplearse dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas. Los dosímetros individuales pueden ser de tres tipos:

- Dosímetro de solapa: estima la dosis recibida en la totalidad del organismo.
- Dosímetro de muñeca: estima las dosis recibidas en las extremidades.
- Dosímetro de abdomen: estima la dosis recibida en el abdomen de las trabajadoras gestantes expuestas.

La estimación de la dosis en los trabajadores de categoría B podrá realizarse a partir de la dosimetría de área o mediante dosimetría individual.

La dosis recibida por los TE debe determinarse con una periodicidad no superior a un mes. Los resultados de la vigilancia dosimétrica de cada trabajador formarán parte del historial dosimétrico, el cual deberá conservarse hasta que el trabajador alcance la edad de 75 años y siempre durante un periodo mínimo de treinta años desde el cese de la actividad laboral.

1.3.5.2. Vigilancia de la salud

La vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos se basa en los principios generales de la Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre la Prevención de Riesgos Laborales, y Reglamentos que la desarrollan²⁰. El Ministerio de Sanidad y Consumo elaboró el Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica para su aplicación en todas aquellas prácticas que impliquen un riesgo derivado de las radiaciones ionizantes.

Los trabajadores clasificados como categoría A deberán someterse a un examen de salud inicial y a exámenes periódicos anuales que permitan comprobar que siguen siendo aptos para desempeñar sus funciones. Será el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales el que desempeñe la función de vigilancia y control de la salud de dichos trabajadores.

En la vigilancia sanitaria de los trabajadores de categoría B se aplicará el mismo Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica con la salvedad de que la periodicidad no será obligatoriamente anual²¹.

1.4. MARCO LEGAL

Existen distintos organismos encargados de velar por el conocimiento, difusión y aplicación de los principios de protección radiológica mediante la promulgación de leyes, reglamentos, órdenes ministeriales y la elaboración de guías de actuaciones tanto generales como específicas.

1.4.1. ORGANISMOS INTERNACIONALES

– **Comité Internacional de Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR)**: este comité científico de Naciones Unidas tiene como objetivo estimar los niveles y los efectos de la exposición a radiación ionizante e informar sobre ellos. Emite informes de manera periódica para la Asamblea Nacional de las Naciones Unidas, los cuales son empleados como base científica para establecer medidas de protección radiológica. Una de sus publicaciones más recientes aborda los efectos sobre la salud de la exposición a dosis bajas de radiación.

– **Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR o ICRP de sus siglas en inglés)**: es un organismo internacional independiente que emite recomendaciones sobre la protección contra las radiaciones ionizantes. Desde su origen en 1928 ha desarrollado, mantenido y elaborado el Sistema Internacional de Protección Radiológica. Sus recomendaciones son la base para el establecimiento de la reglamentación y la normativa por parte de otras organizaciones tanto internacionales como nacionales y regionales. La ICRP ha publicado más de un centenar de informes sobre los diferentes aspectos de la protección radiológica, los cuales han servido de germen para el desarrollo del Sistema Internacional de Protección Radiológica. Sus recomendaciones están fundamentadas en los principios básicos de justificación, optimización y limitación de dosis, expuestos anteriormente en el presente trabajo.

Entre sus miembros están representados más de treinta países y seis continentes, reuniendo a los principales científicos y legisladores en el campo de la protección radiológica.

De sus publicaciones más recientes destaca la n° 117 que trata sobre la protección radiológica en procedimientos guiados por fluoroscopia fuera del servicio de radiodiagnóstico¹¹. Otra de las publicaciones importantes por la materia que nos ocupa es la publicación n° 105 que aborda la protección radiológica en Medicina.

– **Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)**: constituye el principal foro mundial de cooperación científica en el uso pacífico de la tecnología nuclear, teniendo en su inicio como premisa básica, aprovechar la energía del átomo en beneficio de la humanidad.

Creado por Naciones Unidas en 1957 como órgano independiente da servicio a todos sus Estados Miembros. Uno de los aspectos sobre los que la OIEA brinda su apoyo a los Estados Miembros, es en seguridad radiológica. En 1996 publicó las “Nociones fundamentales sobre protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación”. En ese mismo año también publicó las “Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante”²².

Entre sus diferentes programas cabe destacar el “Programa de protección ocupacional”, con el que el OIEA pretende promover un criterio internacional sobre la optimización de la protección radiológica ocupacional, a través de la elaboración de directrices para la restricción de las exposiciones a radiación y la aplicación de la protección radiológica en el ambiente laboral. Con este fin redacta una serie de Guías de Seguridad que recogen en su conjunto los principios aceptados internacionalmente y las prácticas recomendadas en protección radiológica ocupacional.

– **Comunidad Europea de Energía Atómica (EURATOM)**: organismo creado con la firma de uno de los tres Tratados Constitutivos de la Comunidad Europea en 1957, aunque España no pasaría a ser miembro de EURATOM hasta 1985 con la firma del Tratado de Madrid. Nace con el fin de establecer las medidas necesarias para la existencia de un mercado común en materia nuclear. Dentro de sus numerosas funciones destacan:

1. Establecer normas de seguridad en materia de protección radiológica de la población y de los trabajadores.
2. Velar por la aplicación de dichas normas.
3. Desarrollo de la investigación.
4. Promover el progreso en la utilización pacífica de la energía nuclear.

Los Estados Miembros de la Unión Europea (UE) deberán adaptar e incorporar la normativa dispuesta en este tratado a sus respectivas legislaciones ya que serán disposiciones de obligado cumplimiento.

1.4.2. ORGANISMOS NACIONALES

–Consejo de Seguridad Nuclear (CNS):

El CNS es el único organismo competente en España en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. Es un órgano colegiado independiente de la Administración General del Estado. Posee capacidad jurídica propia y por tanto, podrá dictar normas de obligado cumplimiento sin que requiera la aprobación posterior de cualquier otro poder o administración. Su actividad es comunicada de manera periódica en el Congreso de los Diputados y el Senado. Su principal función va a ser 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 Nuclear²³ se exponen las bases de su creación. El artículo 2 de la citada Ley enumera sus funciones, destacando tres de ellas por estar relacionadas con el tema que nos ocupa:

1. 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.
2. 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.
3. Conceder y renovar, las acreditaciones para dirigir u operar las instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico.

–**Órganos de la administración General del Estado:** en España el Ministerio de Industria, Energía y Turismo es el responsable de otorgar las autorizaciones de las instalaciones nucleares y radiactivas, y elaborar el Registro de Instalaciones de Rayos X con fines de diagnóstico médico. Por otro lado, el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad asume las competencias en materia de protección radiológica de las personas expuestas a radiaciones ionizantes por diagnóstico y tratamiento médico.

1.4.3. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA BÁSICA APLICABLE

Entre otras y por lo que a nuestro trabajo respecta cabe destacar:

Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes:

1. Real Decreto 783/2001 por el que se establece el Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (BOE, 26 de julio de 2001).
2. Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el RD 783/2001.

Reglamento sobre aparatos de Rayos X:

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 (BOE, 18 de julio de 2009).

Protección radiológica:

4. Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales. En su artículo 18 recoge las normas de trabajo seguro para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.
5. 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.
6. 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.

1.4.4. CONSENTIMIENTO INFORMADO

La relación médico paciente ha experimentado una notable evolución en las últimas décadas, lo que ha dado lugar a un cambio de modelo, pasando de un modelo paternalista, donde el médico decidía por el paciente, a un modelo deliberativo de toma de decisiones compartidas. En dicho modelo deliberativo el paciente pasa a formar parte activa en la toma de decisiones relacionadas con cualquier proceso o intervención sobre su salud.

Las bases de este nuevo modelo son el principio de autonomía y el derecho de información del paciente, siendo el consentimiento informado un requisito imprescindible para la actividad asistencial.

Por tanto el consentimiento informado es considerado en la actualidad un elemento clave de la información sanitaria, el cual va a tener numerosas implicaciones legales ya que va a ser el soporte documental que permita verificar que el paciente ha sido informado de manera adecuada por el profesional sanitario²⁴.

El consentimiento informado queda definido en el ordenamiento jurídico español mediante la Ley 41/2002 básica reguladora de la autonomía del paciente y derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica, como “la conformidad libre, voluntaria y consciente del paciente manifestada en el pleno uso de sus facultades después de recibir la información adecuada, para que tenga lugar una actuación que afecte a su salud”²⁵.

En relación con la regulación del consentimiento informado converge normativa de fuente legislativa tanto nacional como autonómica. A continuación se citan las más relevantes:

- Normativa nacional:

1. Constitución Española de 1978 ²⁶: en sus artículos 1.1, 9.3, 14 y 17.1 se recoge el derecho a la libertad individual, destacando el derecho a la libertad y autonomía de la persona.
2. Ley 14/1986 General de Sanidad ²⁷: en ella se establece la regulación del derecho a la protección de la salud. En particular, el artículo 10 hace referencia al deber de informar al paciente y establece que dicha información debe ser comprensible y completa.
3. Ley 41/2002, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica ²⁵. Actualmente constituye el referente a nivel legislativo en esta materia.
4. Código Civil.

- Normativa autonómica:

1. Ley 3/2009, de 11 de Mayo, de los derechos y deberes de los usuarios del sistema sanitario de la Región de Murcia: desde un punto de vista integrador propone una visión global de los principios fundamentales que deben inspirar cualquier actuación sanitaria. En relación con el derecho a la libertad de elección y al consentimiento informado dice: “como una de las manifestaciones básicas del derecho de decisión que ostenta el paciente en consideración a lo dispuesto en la legislación básica del Estado, toda actuación asistencial que afecte a la salud de un paciente necesita el consentimiento libre y voluntario de éste tras recibir la información asistencial necesaria para valorar las opciones propuestas”²⁸.

Además de las normas jurídicas deben tenerse en cuenta las normas deontológicas, no menos importantes. Se define la Deontología Médica como el conjunto de principios y reglas éticas que deben inspirar y guiar la conducta profesional del médico. El Código Deontológico actualmente vigente en España fue aprobado en la Asamblea de la Organización Médica Colegial en 1999²⁹ y en su capítulo tercero se exponen los aspectos relativos al consentimiento informado.

1.5. ANESTESIOLOGÍA

1.5.1. NACIMIENTO Y EVOLUCIÓN

La anestesiología es considerada una especialidad médica relativamente joven, con claras raíces británicas y estadounidenses. La primera anestesia publicada data del 16 de octubre de 1846, cuando William Morton realizó la primera demostración pública de anestesia general con éter, en el Hospital General de Massachusetts, aunque no se consolidaría como especialidad hasta varias décadas más tarde³⁰.

El médico inglés John Snow es considerado el padre de la anestesiología como especialidad, al dedicarse exclusivamente al estudio y desarrollo de la misma. Fue el propio Snow el que en 1847 publicara el primer libro sobre anestesia general, titulado “*On the Inhalation of Ether*”.

No obstante, la anestesiología no obtuvo reconocimiento oficial como especialidad en Inglaterra hasta 1947, y no sería hasta 1992 tras la fundación del *College of Anaesthetists*, independiente del *College of Surgeons*, cuando tomara personalidad como especialidad propia.

En Estados Unidos no fue hasta 1905 cuando se consolidó la primera organización de médicos anestesiólogos, que posteriormente daría nombre a la *American Society of Anesthesiologist* (ASA) en 1945, y que actualmente, constituye un referente mundial de la especialidad³¹.

La *American Society of Anesthesiologist* define la anestesiología como “la práctica de la medicina dedicada al alivio del dolor y al cuidado completo e integral del paciente quirúrgico antes, durante y después de la cirugía”. Por tanto, el anestesiólogo va a ser un componente esencial dentro del equipo quirúrgico, pues tiene la responsabilidad de garantizar el bienestar del paciente durante cualquier procedimiento quirúrgico o anestésico.

Es indiscutible que la práctica de la anestesiología actual ha experimentado una evolución sustancial desde los inicios con Snow. El anestesiólogo no se va a limitar a administrar los agentes anestésicos con el único objetivo de dejar al paciente insensible al dolor, sino que sus competencias van a ser mucho más amplias. En definitiva, la esencia del arte anestésico es velar por el mantenimiento y la integridad de las distintas funciones vitales del paciente, controlando las funciones básicas sin olvidar el control de la temperatura corporal, la posición del paciente o la protección ocular entre otros.

Todo esto ha hecho que el desarrollo de la anestesiología haya sido considerado como uno de los descubrimientos más importantes en la historia de la medicina por su contribución con la humanidad. Como afirmó Goytisoló “la anestesia representó pasar de la barbarie a la civilización”³².

Su desarrollo además, hizo posible el desarrollo de la cirugía moderna, con técnicas cada vez más complejas y tiempos quirúrgicos mayores.

Cirujano y anestesiólogo deben trabajar de manera conjunta como un equipo eficaz, con el paciente como objetivo prioritario, de igual manera que el desarrollo de ambas especialidades deberá ir de la mano.

1.5.2. ANESTESIOLOGÍA Y FLUOROSCOPIA

La intervención del anestesiólogo se requiere con frecuencia en los procedimientos guiados mediante fluoroscopia. A pesar de ser una técnica de uso habitual y de los potenciales riesgos que comporta para la salud, se desconoce la forma de empleo de la misma entre los especialistas³³.

Cada vez es mayor la demanda de anestesiólogos durante estos procedimientos e idealmente esto debiera ir asociado a un mayor conocimiento por parte del personal de anestesiología sobre la seguridad ante la radiación y a un mayor conocimiento de las medidas de radioprotección.

En este contexto podemos plantearnos la siguiente pregunta: ¿Qué papel juega el anestesiólogo en la radioprotección?

Como se ha expuesto previamente, las funciones desempeñadas por el anestesiólogo son diversas, siendo un pilar importante en la coordinación del equipo multidisciplinar que constituye el área quirúrgica. Dentro de estas funciones se incluye la de proteger al paciente y al resto del equipo quirúrgico de los distintos peligros durante la cirugía.

Un factor más que deberemos tener en cuenta ante la situación de vulnerabilidad en la que se encuentra el paciente durante el acto anestésico es la exposición a radiación ionizante, siendo nuestro deber aplicar las medidas de radioprotección vigentes, para contribuir así a aumentar la seguridad global del paciente durante el acto quirúrgico.

1.6. JUSTIFICACIÓN

La fluoroscopia, desde que se iniciase su utilización hace más de un siglo, ha experimentado una expansión notable de su uso tanto con fines diagnósticos como terapéuticos, que lejos de limitarse a las áreas de radiodiagnóstico propiamente dichas abarcan numerosos servicios y especialidades médicas³⁴. Un aspecto relevante es que cada vez el uso que se da a esta técnica fuera de los servicios de radiodiagnóstico es mayor. Esta realidad quedó reflejada en la estimación del *National Council on Radiation Protection and Measurement* de 17 millones de procedimientos guiados por fluoroscopia llevados a cabo de media durante el año 2006 en EEUU³⁵⁻³⁶.

La previsión es que dicho incremento se mantenga como una constante en esta época actual de generalización de los procedimientos quirúrgicos e intervencionistas mínimamente invasivos. Si bien es cierto que estas técnicas han demostrado reducir la morbimortalidad perioperatoria, presentan como inconveniente que con frecuencia van a precisar el uso de fluoroscopia intraoperatoria para la visualización indirecta de las estructuras anatómicas.

Son conocidos los efectos deletéreos que las dosis elevadas de radiación ionizante producen en el organismo humano³⁷⁻³⁸ y que los procedimientos guiados por fluoroscopia suponen una dosis de radiación considerablemente más elevada que los estudios convencionales. A pesar de que algunos de estos procedimientos pueden suponer dosis potencialmente superiores a 1 Gy sobre la piel existen pocos estudios que hayan investigado los efectos de la radiación en los profesionales sanitarios que realizan o están implicados en dichos procedimientos. La mayoría de trabajos realizados se centran en las áreas de la radiología y cardiología intervencionistas por ser las especialidades pioneras en la realización de procedimientos guiados por fluoroscopia³⁹⁻⁴¹. Una de las limitaciones encontradas es que, en ocasiones, estos estudios se centran exclusivamente en las fases iniciales tras la exposición, obviando que algunos de estos efectos deletéreos son tardíos y pueden presentar un tiempo de latencia muy prolongado.

Uno de los trabajos publicados recientemente y que pone esto de manifiesto es el de Ko et al⁴² donde se propone un estudio prospectivo con el objetivo de estimar el riesgo para la salud de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante de los profesionales médicos que realizan su actividad asistencial en Corea. Una de sus limitaciones es el tamaño muestral pequeño y el largo tiempo de seguimiento necesario para obtener

resultados. Trabajos como este muestran la carencia actual de información sobre la exposición ocupacional a la radiación y su repercusión real sobre el estado global de salud de estos trabajadores implicados o involucrados en dichos procedimientos.

Uno de los aspectos que motivó nuestro trabajo es estudiar qué uso hacen los profesionales del área quirúrgica que trabajan con fluoroscopia de la monitorización dosimétrica. Consideramos este punto fundamental, pues el uso adecuado o inadecuado del dosímetro personal va a determinar cómo de fidedignas son las mediciones obtenidas sobre la dosis de radiación recibida de dichos trabajadores. Una mala utilización de este dispositivo se va a traducir en mediciones erróneas que pueden llevarnos a extraer conclusiones equívocas y condicionar la aplicación de medidas innecesarias y/o incorrectas.

Otro aspecto importante es que en la actualidad se desconoce la forma de empleo de la fluoroscopia entre los especialistas del área quirúrgica. La Revista Española de Anestesiología publicó en 2012 un estudio a nivel nacional que tenía como objetivo conocer la forma de empleo de la fluoroscopia de los anestesiólogos dedicados a la terapéutica del dolor, concluyendo que dos terceras partes de los especialistas en anestesiología no habían recibido formación específica sobre fluoroscopia durante los cuatro años de residencia. Otros de los resultados extraídos son que la mayoría no aplica las medidas de protección radiológica recomendadas y que casi el 80% de los profesionales no informa al paciente de los riesgos de radiación ni incluye éstos en el consentimiento informado. Por tanto este estudio pone de manifiesto la deficiente formación en cuanto al manejo de la fluoroscopia en el tratamiento del dolor y las insuficientes medidas de radioprotección adoptadas³³.

Numerosas publicaciones concluyen que la formación y entrenamiento del personal es una herramienta clave para reducir la exposición innecesaria y aumentar las medidas de protección que garanticen un uso seguro de las fuentes de radiación. Existen varios trabajos publicados cuyo objetivo era conocer el nivel de formación en radioprotección de especialistas médicos⁴³ pero no se ha encontrado ningún trabajo que amplíe el ámbito de estudio al personal de enfermería y personal auxiliar, integrantes también del equipo quirúrgico. Consideramos este último punto interesante debido a que, como se pone de manifiesto en el artículo de Tunçer et al⁴⁴ con frecuencia son estos profesionales los encargados de manipular los equipos radioquirúrgicos.

Otro aspecto interesante poco estudiado y que se pretende conocer es el grado de información que el profesional ofrece al paciente y qué importancia se le da a su protección durante la realización de estos procedimientos. Si tenemos en cuenta que la complejidad y la indicación de estas técnicas intervencionistas han experimentado un crecimiento constante e incluso se han situado como primer escalón terapéutico la exposición del paciente puede no ser anecdótica.

Teniendo en cuenta que la fluoroscopia es una técnica en auge, que los datos sobre exposición real de los trabajadores y que los efectos a largo plazo de la exposición a dosis bajas se desconocen, aumenta el interés y la necesidad de resolver numerosas cuestiones en relación con este tema. Los organismos tanto nacionales como internacionales han mostrado en reiteradas ocasiones su preocupación al respecto, publicando cada vez normativas y límites de dosis más restrictivas y cautelosas.

La actual preocupación creciente sobre el uso de la radiación ionizante en el ámbito médico y la escasa evidencia sobre su modo de empleo en el área quirúrgica nos ha motivado para la realización de este estudio.

En definitiva, se pretende conocer el grado de adherencia a la monitorización dosimétrica y la formación en materia de radioprotección de los profesionales sanitarios del área quirúrgica, así como los hábitos en materia de seguridad aplicados tanto por el mismo profesional como para el paciente en lo referente al uso de fluoroscopia.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS

1. Analizar el grado de adherencia del profesional a la monitorización dosimétrica.
2. Estudiar la utilización de las medidas de protección del personal sanitario quirúrgico en el uso de fluoroscopia.
3. Estudiar si el sexo, el ámbito profesional, los años de experiencia, el número de procedimientos y la formación específica están relacionados con la aplicación o no de las medidas de protección radiológica.
4. Estudiar el grado de información y protección ofrecidos al paciente.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. POBLACIÓN

La población a estudio está constituida por profesionales sanitarios que desarrollaban su actividad asistencial en el área quirúrgica en el momento del estudio, involucrados en procedimientos guiados por fluoroscopia y siendo la decisión del uso de medidas de radioprotección personal e individual, sin existir imposición por parte del centro.

A continuación se enumeran las categorías sanitarias y especialidades médicas que se incluyeron:

- a) Médicos residentes en formación o facultativos especialistas de área de las siguientes especialidades:
 - ✓ Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del dolor.
 - ✓ Traumatología y Cirugía Ortopédica.
 - ✓ Cirugía General y del aparato digestivo.
 - ✓ Urología.
 - ✓ Medicina Intensiva.
 - ✓ Otros: Aparato Digestivo y Cardiología (implantes de dispositivos intracardiacos).
- b) Personal sanitario de enfermería.
- c) Personal no sanitario: personal auxiliar de enfermería.

3.2. TIPO DE ESTUDIO

Se ha llevado a cabo un estudio observacional transversal.

3.3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.3.1. MUESTRA

Tamaño muestral:

Se obtuvo un tamaño muestral mínimo de 320. Finalmente el tamaño muestral del estudio ascendió a 349 encuestados.

Criterios de selección:

- **Criterios de inclusión:**

- Aquellos que acepten voluntariamente participar en el estudio.

- **Criterios de exclusión:**

- Cuestionarios que no estén correctamente cumplimentados.
- Profesionales sanitarios de especialidades quirúrgicas en las que no se incluye el uso del fluoroscopio.

3.3.2. MATERIAL

El instrumento de medida empleado para la realización del estudio fue un cuestionario autoaplicado.

3.3.2.1. Diseño y características estructurales del cuestionario

En una primera fase de planificación se tuvieron en cuenta los objetivos planteados y el propósito del estudio.

Tras revisar la bibliografía publicada se decidió emplear como modelo para la elaboración del cuestionario el diseñado por Hernández et al³³ y que había sido aplicado previamente a nivel nacional para evaluar el uso de fluoroscopia en los facultativos especialistas en anestesiología dedicados a la terapéutica del dolor. Con tal fin se contactó telemáticamente con dicho autor, el cual dio su beneplácito sin mostrar impedimento alguno. Una vez otorgado dicho consentimiento se continuó con el proceso de elaboración de la encuesta, para lo que se tuvieron en cuenta por un lado los estándares de seguridad y las recomendaciones del Consejo de Seguridad Nuclear y de la Comisión Internacional de Protección Radiológica y por otro, las opiniones de expertos.

Las preguntas del cuestionario adaptadas a nuestro entorno se sometieron a un pre-test cognitivo por parte de una muestra representativa (n=80) de la población a estudio. Uno de los aspectos importantes durante este ensayo piloto fue determinar el tiempo empleado por los encuestados en cumplimentar el 100% de las preguntas. Dicho tiempo se estableció en cinco a diez minutos.

En una segunda fase de elaboración se modificaron aquellos ítems que habían sido dudosos en el pre-test. Algunas preguntas fueron directamente eliminadas por ser muy dirigidas las respuestas y otras fueron sustituidas por preguntas con una redacción más clara siguiendo las recomendaciones de los expertos consultados.

En la siguiente fase se procedió al análisis de las características psicométricas del cuestionario: fiabilidad, factibilidad y validez. La evaluación de la fiabilidad se llevó a cabo mediante el estudio de la consistencia interna. La factibilidad se estudió observando el porcentaje de respuesta, el tiempo de cumplimentación y la percepción de esta muestra preseleccionada durante el estudio piloto. El estudio de la validez se llevó a cabo mediante la aplicación del método Delphi, el cual evalúa la validez de contenido a partir de la obtención de la opinión de un panel de expertos⁴⁵⁻⁴⁶.

Una vez acabada la redacción de las preguntas se procedió al diseño de la estructura del cuestionario, aspecto fundamental para lograr la máxima colaboración de los participantes durante la fase de aplicación. Tres pilares esenciales durante esta etapa son la estructura, la presentación y el seguimiento de la aplicación. Se buscó un diseño claro y simple, con una primera hoja informativa del estudio donde se incluían las instrucciones para su cumplimentación. Otro aspecto que se tuvo en cuenta fue la selección de un tamaño de letra y espaciado adecuados que facilitarían la lectura y cumplimentación del mismo.

Características estructurales

El cuestionario definitivo estaba formado por 23 preguntas divididas en cuatro áreas específicas a estudio o bloques:

- Primer bloque: incluye cuatro preguntas (desde la 1 a la 4) destinadas a conocer las características sociodemográficas y sociolaborables de la muestra. Las preguntas son del tipo abiertas, cerradas dicotómicas y mixtas.

- Segundo bloque: compuesto por cinco preguntas descriptivas (de la 5 a la 9) que tienen como objetivo valorar el grado de formación en radioprotección y en el empleo de fluoroscopia del profesional. Otro de los objetivos de este bloque es conocer el número de procedimientos guiados por fluoroscopia que realiza o en los que interviene el profesional. Integrado por preguntas abiertas, cerradas dicotómicas y policotómicas.
- Tercer bloque: formado por diez preguntas (de la 10 a la 19) las cuales valoran el grado de aplicación de las medidas de radioprotección adoptadas por el profesional. Los tipos de preguntas son abiertas, cerradas dicotómicas, policotómicas.
- Cuarto bloque: integrado por cuatro preguntas (de la 20 a la 23) con las que se valora el grado de información ofrecido al paciente y las medidas de radioprotección adoptadas. Las preguntas son del tipo cerradas dicotómicas y policotómicas.

3.3.3. APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO A LA MUESTRA

La aplicación del instrumento a la muestra se llevó a cabo en varias etapas o fases:

En una primera fase se contactó con los Jefes de Servicio o Sección de los servicios médicos implicado o con los supervisores de enfermería del área quirúrgica de cada hospital en el caso de personal no facultativo. El objetivo de esta primera toma de contacto fue la comunicación del estudio que estábamos llevando a cabo y solicitar su ayuda y colaboración.

En una segunda fase se impartieron por parte de la doctoranda sesiones informativas del estudio a los profesionales implicados y se designó a una persona de referencia por servicio hospitalario y por área de salud con la que mantener abierta la comunicación durante todo el proceso. Las encuestas fueron entregadas al finalizar cada una de las reuniones informativas y se estableció un periodo de cumplimentación de tres a cuatro semanas para su recolección. Cada uno de los participantes tras cumplimentar el cuestionario debía depositarlo en los casilleros destinados para ello.

La investigadora principal tras contactar con la persona responsable de cada servicio obtenía información acerca del seguimiento de la aplicación. Pasado el tiempo límite establecido para la cumplimentación se procedió a la recogida de los cuestionarios de

manera personal en cada uno de los servicios hospitalarios de las diferentes áreas de salud. Se recogieron tanto los cuestionarios cumplimentados como los ejemplares en blanco. La respuesta fue muy variable dependiendo del área de salud y del servicio implicado. Destacar también que hubo servicios que rechazaron su participación en el estudio.

Tras finalizar el proceso de recolección se procedió a la codificación de los datos en función de cada variable estudiada y a la extracción de los mismos para la elaboración de la base de datos en formato Excel.

3.3.4. VARIABLES A ESTUDIO

Las variables que se han tenido en cuenta son:

3.3.4.1. Variables demográficas

Las variables demográficas que a continuación se enumeran se han observado porque consideramos que pueden ser factores condicionantes de las variables específicas.

- **Edad y años de experiencia:** se incluyeron porque queremos estudiar si pueden ser factores que influyan por un lado en la formación y por otro en las medidas de protección adoptadas por el profesional hacia sí mismo y hacia el paciente. Ambas variables cuantitativas han sido agrupadas para facilitar su estudio. En el caso de los años de experiencia se ha considerado como poca experiencia de 0 a 5 años y se ha determinado este límite por ser hasta cinco los años incluidos en el programa de formación como médico interno residente (MIR). Como experiencia media se ha considerado de los 6 a los 15 años y con mucha experiencia a aquellos profesionales con más de 15 años de antigüedad en el área quirúrgica.
- **Sexo:** se ha incluido porque cabría esperar a priori una mayor concienciación en relación con la protección en el caso de las mujeres debido a que tradicionalmente se han asociado las radiaciones ionizantes con efectos deletéreos sobre la fertilidad y el feto.
- **Categoría y ámbito profesional:** se ha tenido en cuenta qué profesionales deben situarse obligatoriamente, desde un punto teórico, con mayor probabilidad cerca de la fuente emisora de rayos X. Dentro del primer grupo se incluye traumatología, cirugía general, urología, cardiología, medicina intensiva y enfermería.

- **Número de procedimientos realizados por semana:** el objetivo de incluir esta variable es estudiar si puede actuar como factor condicionante en la aplicación de las medidas de protección. Aunque es una variable cuantitativa y se recogió como valor numérico posteriormente para facilitar su análisis se agrupó en ≤ 1 (pocos), 2-4 (moderados) y ≥ 5 (muchos) procedimientos por semana.
- **Preparación específica:** se pretende conocer el grado de formación específica de los profesionales *en relación* con el uso seguro de radiaciones ionizantes con el fin de estudiar la relación entre la formación y la aplicación de buenos hábitos en el uso de fluoroscopia.

3.3.4.2. Variables específicas

Dentro de las variables específicas destacamos las variables relacionadas con la dosimetría.

DOSIMETRÍA

Una de las variables de mayor relevancia es la relativa al empleo del dosímetro, relacionada tanto con la frecuencia y el porcentaje de su uso.

- **¿Lleva dosímetro?:** este ítem es de gran relevancia. Con el fin de conocer el uso que hacen los trabajadores de este dispositivo se estratificó la respuesta en “no”, “a veces”, “casi siempre” y “siempre”. No llevarlo dista de las recomendaciones actuales pero es importante a su vez conocer el porcentaje de profesionales que pueden llevarlo “algunas veces” o “casi siempre” ya que la medición podría ser subóptima e infraestimar los valores de radiación a la que se ha estado expuesto realmente. Se ha considerado un uso adecuado del dosímetro en los casos donde se ha empleado siempre, agrupándose el resto de respuestas como uso inadecuado del dispositivo.

OTRAS VARIABLES ESPECÍFICAS

Entre ellas tenemos:

- **Distancia con el aparato de rayos:** para la variable distancia se ha estratificado la respuesta en menor o igual a 0.5, 1, 1.5 y mayor o igual a 2 metros. Para su

análisis posterior se han agrupado en menor o igual a un metro y mayor de este valor. Esta división se basa en la ley de la inversa de cuadrado de la distancia.

- **Control del tiempo de fluoroscopia:** el control del tiempo de fluoroscopia debe realizarse en cualquier procedimiento fluoroscópico ya que permite estimar la dosis de radiación. Para valorar el uso que hacen los profesionales de esta medida se ha estratificado la respuesta en “no”, “a veces”, “casi siempre” y “siempre”.
- **Empleo de gafas de protección:** dado que el cristalino es un tejido con gran radiosensibilidad y que la dosis de radiación es acumulativa esta medida de protección resulta básica para los profesionales que realizan procedimientos fluoroscópicos. En la respuesta se incluyen las siguientes opciones: “no”, “a veces”, “casi siempre” y “siempre”.
- **Empleo de guantes con protección:** aspecto poco estudiado en los profesionales del área quirúrgica de manera general. Supone una medida de protección elemental debido a que las manos del terapeuta con frecuencia reciben una dosis muy elevada debido a la necesidad de situarse cerca de la zona a tratar. En la respuesta se incluyen las siguientes opciones: “no”, “a veces”, “casi siempre” y “siempre”.
- **Uso de la imagen continua:** el empleo de la imagen continua frente a la pulsada supone una dosis de radiación mucho mayor. Con el fin de conocer la prevalencia de su uso se ha se ha estratificado la respuesta en “no”, “a veces”, “casi siempre” y “siempre”.
- **Uso de colimación:** la colimación es una herramienta esencial en la reducción de dosis y con su uso estaremos por un lado reduciendo el riesgo estocástico para el paciente y por otro disminuyendo la radiación dispersa tanto para el paciente como para el profesional. En las respuestas se ha incluido “no”, “a veces”, “casi siempre”, “siempre” y “desconoce”. En este caso el porcentaje de profesionales que desconocen el término aporta información pues al ser una de las prácticas que deben emplearse para reducir la dosis de radiación puede comportarse por tanto como indicador del grado de formación en radioprotección.

3.3.4.3. Variables relativas al paciente

- **¿Explica los riesgos de la radiación ionizante?:** la importancia de este ítem radica en la obligación del profesional de informar al paciente de manera adecuada en toda actuación médica. Requisito imprescindible para que el consentimiento otorgado por el paciente sea válido es haber recibido la información completa incluyendo los riesgos generales e individualizados de la técnica.
- **Protección del paciente durante los procedimientos guiados por fluoroscopia:** se incluyó esta variable con el objetivo de conocer las prácticas en materia de radioprotección empleadas hacia el paciente durante los procedimientos quirúrgicos y detectar las posibles áreas de mejora existentes.

3.4. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

El análisis de los datos se ha realizado mediante el paquete estadístico SPSS 19.0© (IBM ® SPSS® Statistics 19) para Windows.

A continuación se enumeran los análisis estadísticos empleados:

- Estudio descriptivo de las variables cuantitativas mediante el cálculo de la media y la desviación típica.
- Estudio de la distribución de frecuencias absolutas y relativas en el caso de las variables cualitativas.
- Estimación de parámetros con un nivel de confianza del 95%.
- Contrastes de una proporción.
- Análisis de tablas de contingencia mediante el test de la χ^2 de Pearson complementado con un análisis de residuos para la comparación de las variables cualitativas entre sí.
- Comparación de igualdad de medias mediante el test de la T de Student para estudiar la relación entre variables cualitativas y cuantitativas.
- Análisis de la varianza (ANOVA) simple y/o Test de Brown-Forsythe para el estudio de variables cualitativas y cuantitativas con varianzas desiguales previa comparación de varianzas.

4. RESULTADOS

4.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS

● **EDAD:** los profesionales incluidos en nuestro estudio se encuentran entre los 23 y 70 años, siendo la edad media de 42 años. La edad mínima registrada fue de 23 años y la máxima de 70.

Tabla. Edad		
	Frecuencia	Porcentaje (%)
De 23 a 28	37	10,8
De 29 a 34	69	20,2
De 35 a 40	56	16,4
De 41 a 46	52	15,2
De 47 a 52	56	16,3
De 53 a 58	42	12,3
De 59 a 64	25	7,3
De 65 a 70	5	1,5
TOTAL	342	100

Tabla 7: Edad

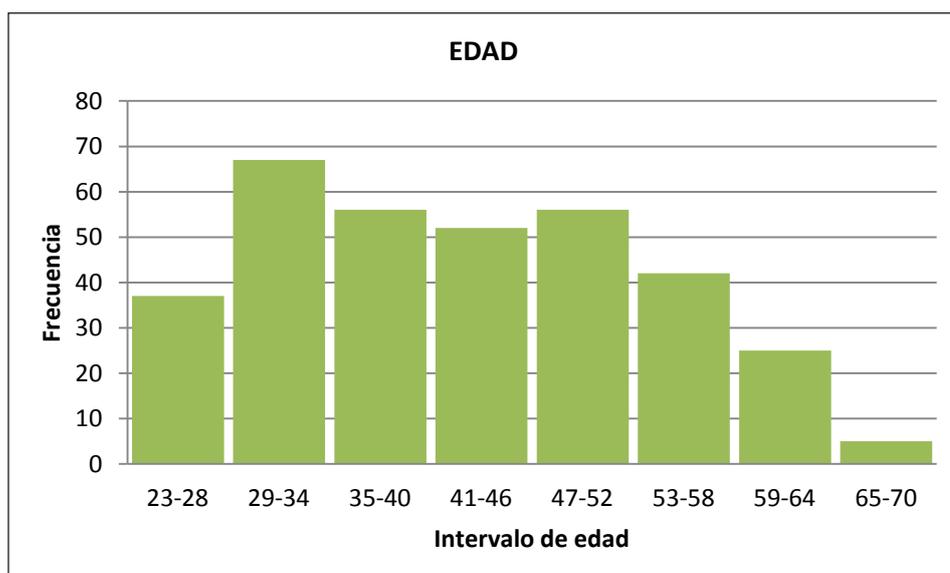


Gráfico 1: Edad

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA EDAD					
	N	Máximo	Mínimo	Media	Desv. Tip.
AÑOS	342	70	23	42,35	10,98

Tabla 8: Estadísticos descriptivos de la edad

Podemos observar en la distribución por edades que nos muestra el Gráfico 1 como existe una mayor concentración de profesionales encuestados con edades comprendidas entre los 29 y 52 años.

Como sabemos la edad y los años de experiencia son variables estrechamente relacionadas, en nuestro caso hemos considerado los años de experiencia como variable con mayor peso para realizar el análisis posterior.

AÑOS DE EXPERIENCIA: La distribución de la población en función de los años de experiencia fue la siguiente:

Tabla. Años de experiencia		
	Frecuencia	Porcentaje
De 0 a 5	88	26
De 6 a 15	118	34,9
Más de 15	132	39,1
TOTAL	338	100

Tabla 9: Años de experiencia



Gráfico 2: Años de experiencia

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS AÑOS DE EXPERIENCIA					
	N	Máximo	Mínimo	Media	Desv. Tip.
EXPERIENCIA	338	43	1	14,223	10,425

Tabla 10: Estadísticos descriptivos de los años de experiencia

La media de años de experiencia profesional en el área quirúrgica fue de 14 años. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

● **SEXO:**

Tabla. Sexo		
	Frecuencia	Porcentaje
Hombres	176	50,4
Mujeres	173	49,6
TOTAL	349	100

Tabla 11: Sexo

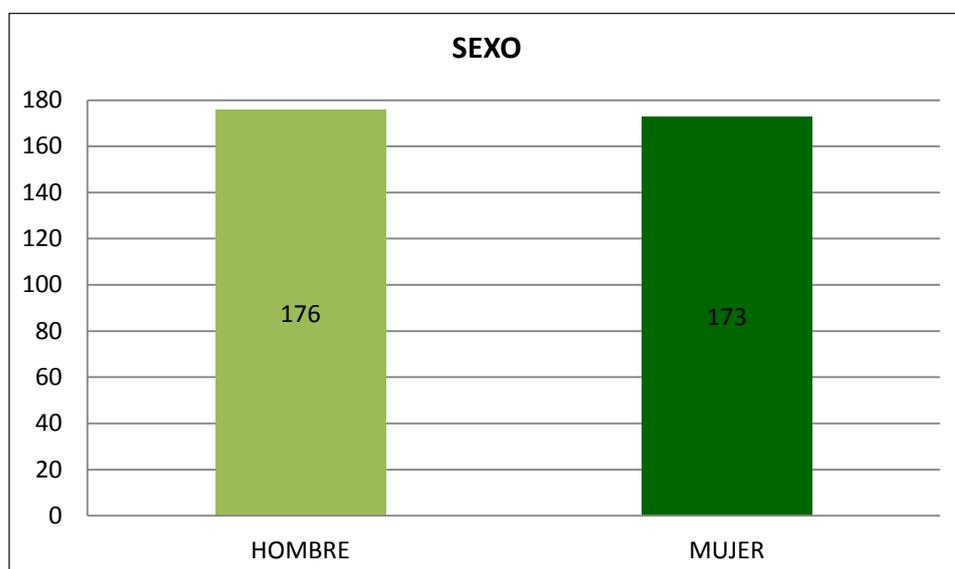


Gráfico 3: Sexo

En nuestro trabajo no se han observado diferencias en los hábitos del uso de fluoroscopia en relación con el sexo.

- **ÁMBITO PROFESIONAL:** La distribución incluyendo las distintas especialidades médicas es la siguiente:

Tabla. Ámbito profesional		
	Frecuencia	Porcentaje
Anestesiología	125	35,8
Traumatología	67	29,2
Cirugía General	37	10,6
Digestivo	1	0,3
Urología	19	5,4
Cardiología	3	0,9
Medicina Intensiva	14	4,9
Enfermería	69	19,8
Personal Auxiliar	11	3,2
TOTAL	342	100

Tabla 12: Ámbito profesional

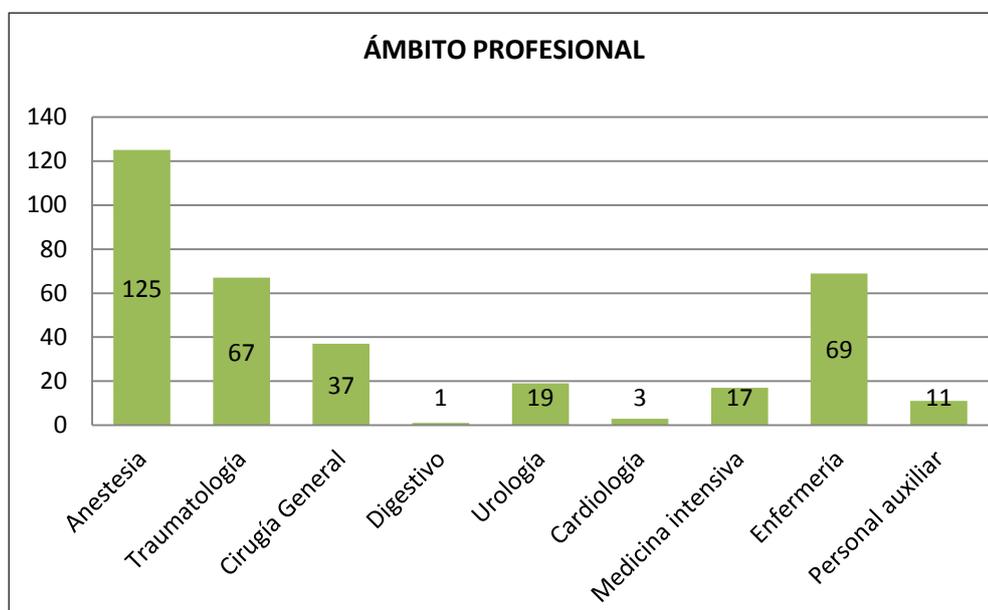


Gráfico 4: Ámbito profesional

La distribución según la categoría profesional es la siguiente: el 77.1% de los encuestados son médicos, un 19.8% enfermeros y un 3.2% personal auxiliar.

● **CERCANÍA OBLIGATORIA:** en base a las categorías profesionales hemos generado una nueva variable que está directamente relacionada con el uso de algunas de las medidas de radioprotección. Así pues para facilitar el análisis posterior agrupamos en función de la necesidad teórica de situarse cerca de la fuente emisora según el ámbito y especialidad profesional, encontrando la siguiente distribución:

Tabla. Ámbito profesional		
	Frecuencia	Porcentaje
Necesidad de proximidad	213	61
No necesidad de proximidad	136	39
TOTAL	349	100

Tabla 13: Cercanía obligatoria

● **NÚMERO DE PROCEDIMIENTOS:** los resultados obtenidos son:

Tabla. Nº Procedimientos por semana		
	Frecuencia	Porcentaje
≤1	143	43,6
2-4	104	31,7
≥5	81	24,7
TOTAL	328	100

Tabla 14: Número de procedimientos por semana

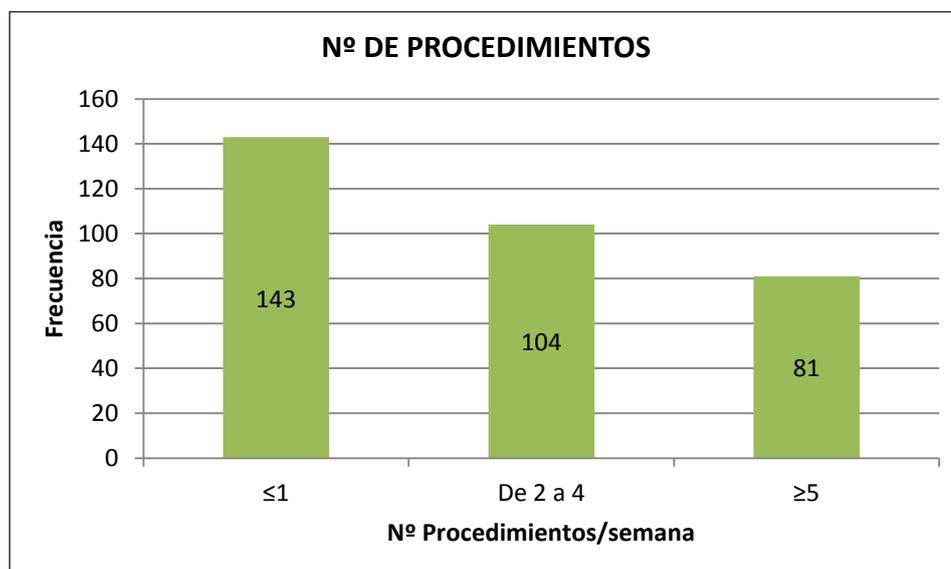


Gráfico 5: Número de procedimientos por semana

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL N° DE PROCEDIMIENTOS					
N° PROCEDIMIENTOS	N	Máximo	Mínimo	Media	Desv. Tip.
	328	30	0	3,014	3,361

Tabla 15: Estadísticos descriptivos del número de procedimientos por semana

El número medio de procedimientos guiados por fluoroscopia realizados a la semana fue de 3. El valor mínimo de procedimientos encontrado fue 0 y el máximo 30.

● **USO DE IMAGEN CONTINUA:**

Tabla. Uso de imagen continua		
	Frecuencia	Porcentaje
Si	193	55,3
No	156	44,7
TOTAL	349	100

Tabla 16: Uso de imagen continua

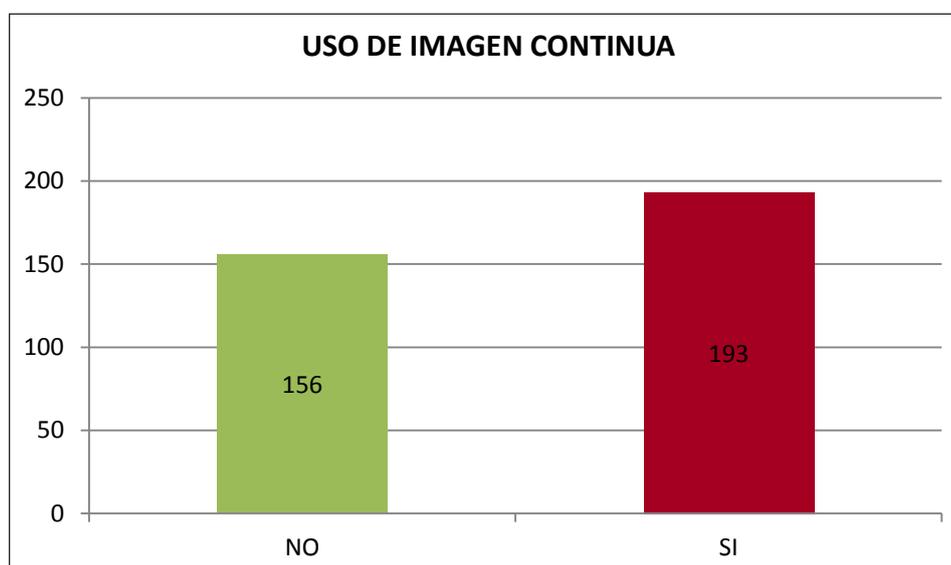


Gráfico 6: Uso de imagen continua

El 55,3% emplea la imagen continua durante los procedimientos, lo que supone un notable incremento de la dosis de radiación emitida. Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más del 52% de los profesionales del área quirúrgica emplean la imagen continua, con una $p < 0,05$.

• **FORMACIÓN ESPECÍFICA:** la formación específica es la última variable medida dentro de las no propias del estudio y ha sido incluida con la intención de estudiar si condiciona de manera determinante el uso de las medidas de radioprotección.

Tabla. Formación específica		
	Frecuencia	Porcentaje
No	260	74,5
Si	89	25,5
TOTAL	349	100

Tabla 17: Formación específica

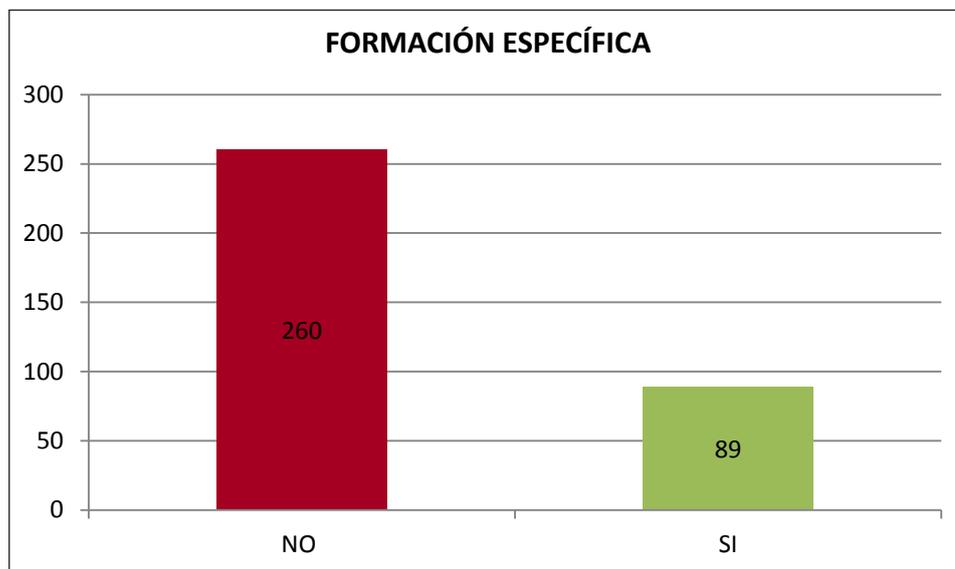


Gráfico 7: Formación específica

Un 74,5 % reconoce no haber tenido ninguna preparación específica en cuanto al manejo del fluoroscopio y uso seguro de radiaciones ionizantes.

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más del 72% de los profesionales del área quirúrgica no poseen preparación específica, con una $p < 0,05$.

A continuación se van a exponer los resultados desde dos perspectivas:

- Un primer bloque en el que se va a analizar la **no utilización** de las medidas de radioprotección.
- Un segundo bloque en el que vamos a analizar dentro de los profesionales que sí emplean las medidas de radioprotección si el **uso** de las mismas es **adecuado** o no.

4.2. RESULTADOS

CORRESPONDIENTES A LA NO UTILIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE RADIOPROTECCIÓN

4.2.1. DOSÍMETRO

En primer lugar se expone un análisis descriptivo del uso del dosímetro, enfatizando en su no utilización y a continuación se detallan los resultados en función de los factores que pueden condicionar su uso.

USO GLOBAL

Los resultados correspondientes a la no utilización (nunca) del dosímetro en la muestra son los siguientes:

Tabla. Uso de dosímetro		
	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	263	75,6
No siempre o siempre	85	24,4
TOTAL	348	100

Tabla 18: Uso de dosímetro

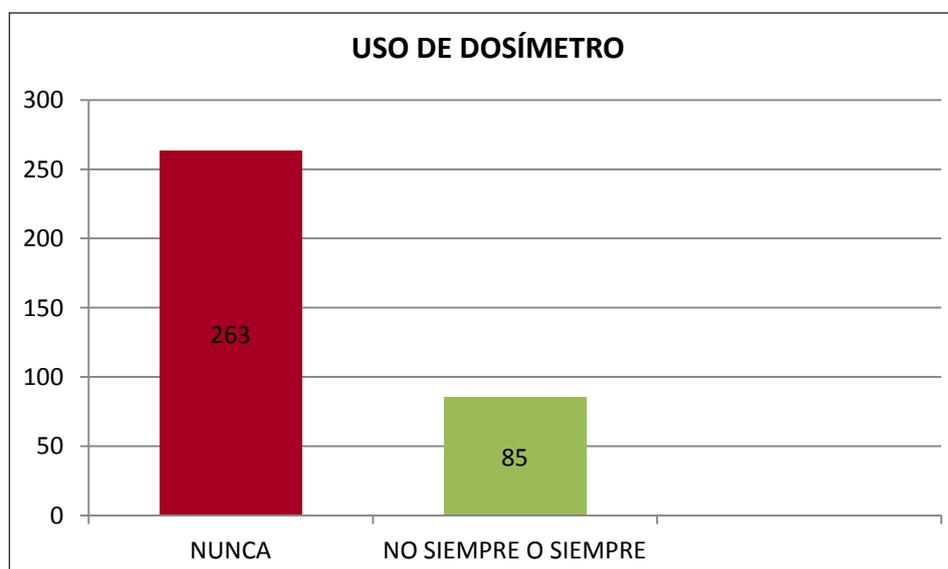


Gráfico 8: Uso de dosímetro

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un **72%** no utiliza **nunca**, con una $p < 0,05$. Merece ser destacado la baja la baja adherencia de los profesionales a la monitorización dosimétrica, ya que casi **tres cuartas partes nunca** lo usan.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EL DOSÍMETRO

A continuación se exponen los resultados correspondientes a las variables que hemos encontrado que están relacionadas con el no uso del dosímetro.

Todas las tablas de contingencia realizadas en este estudio se han analizado mediante el test de la χ^2 de Pearson complementado con un análisis de residuos.

ÁMBITO PROFESIONAL:

Los resultados correspondientes a la se recogen en la siguiente tabla:

Tabla de Contingencia			
ÁMBITO PROFESIONAL	USO DE DOSÍMETRO		Total
	Nunca	No siempre o siempre	
Anestesiología	*103	22	125
Traumatología	47	20	67
Cirugía General	*35	2	37
Enfermería	33	*36	69
Total	218	80	298

Tabla 19: Ámbito profesional y uso de dosímetro

Tras la realización de un análisis mediante tablas de contingencia aplicando el test de la χ^2 de Pearson hemos obtenido que ambas variables están relacionadas, $p < 0,00001$. Mediante el análisis de residuos podemos decir que la **no utilización (nunca)** del dosímetro está asociada con las especialidades médicas de **anestesiología y cirugía general**. La categoría profesional de enfermería en cambio se asocia con la utilización no siempre o siempre de dicho dispositivo.

Ha habido dos especialidades médicas, urología y medicina intensiva, que suponen 18 y 17 profesionales del total de la muestra respectivamente que no se han podido incluir en dicho análisis por ser el tamaño muestral insuficiente, pero sí podemos describir que de los 18 urólogos únicamente 1 lo emplea a veces y de los 17 intensivistas solo 1, por tanto se evidencia una tendencia al no uso del dosímetro dentro de estas especialidades aunque no se haya podido demostrar significación estadística por la limitación expuesta.

AÑOS DE EXPERIENCIA:

Los resultados del análisis de la tabla de contingencia son:

Tabla de Contingencia			
AÑOS DE EXPERIENCIA	USO DE DOSÍMETRO		Total
	Nunca	No siempre o siempre	
≤ 5	*73	15	88
6-15	91	27	118
>15	88	*43	131
Total	252	85	337

Tabla 20: Años de experiencia y uso de dosímetro

Mediante la realización de los análisis correspondientes podemos decir en primer lugar que existe relación entre los años de experiencia y el uso del dosímetro, $p < 0,02$. En segundo lugar podemos decir que existe asociación entre la **poca experiencia** profesional y el no usarlo **nunca**, así como asociación entre una experiencia profesional mayor a quince años con usarlo no siempre o siempre.

Por tanto, la experiencia profesional condiciona el uso del dispositivo.

NÚMERO DE PROCEDIMIENTOS:

Los resultados obtenidos sobre el número de procedimientos y el uso del dosímetro se recogen en la siguiente tabla:

Tabla de Contingencia			
Nº PROCEDIMIENTOS SEMANA	USO DE DOSÍMETRO		Total
	Nunca	No siempre o siempre	
≤ 1	*129	13	142
2-4	81	23	104
≥ 5	39	*42	81
Total	249	78	327

Tabla 21: Número de procedimientos y uso de dosímetro

Existe relación con una $p < 0,00001$. Mediante el análisis de residuos podemos decir que la realización de **uno o menos procedimientos** a la semana se asocia con no emplear **nunca** el dosímetro y que la realización de cinco o más procedimientos está asociada al empleo del dosímetro no siempre o siempre.

FORMACIÓN ESPECÍFICA:

A pesar de que no hemos encontrado relación entre la formación específica y el uso del dosímetro queremos destacar este aspecto ya que cabría esperar que los profesionales con formación específica se relacionen con el uso (ya sea no siempre o siempre) del dosímetro.

Tabla. Uso del dosímetro en los profesionales con formación		
	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	61	68,5
No siempre o siempre	28	31,5
TOTAL	89	100

Tabla 22: Uso del dosímetro en los profesionales con formación específica

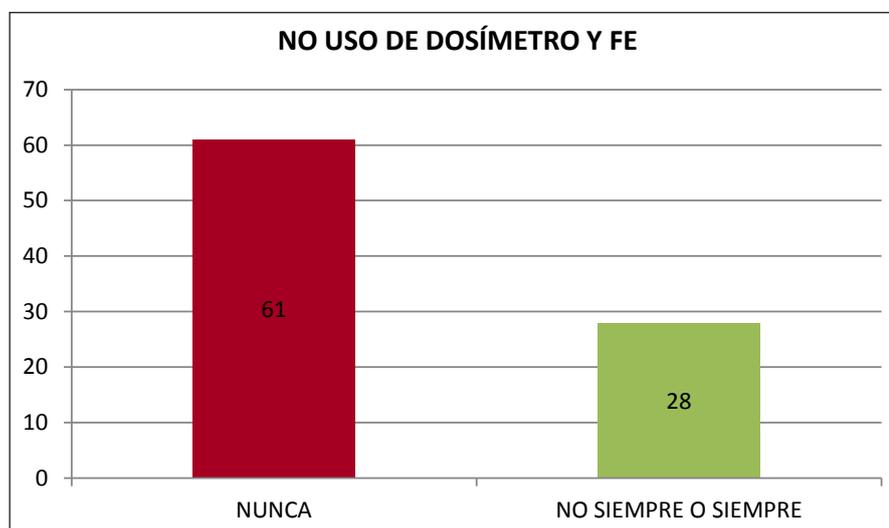


Gráfico 9: No uso de dosímetro y formación específica (FE)

En nuestra muestra encontramos que de los 89 profesionales con formación 61 no lo usan nunca.

De aquí nace la siguiente reflexión: dado que el dosímetro es un dispositivo fundamental en radioprotección, al cuantificar la exposición real de los trabajadores, ¿qué tipo de formación específica se imparte? Y, ¿por qué no se traduce una mayor formación en una mayor concienciación en el uso seguro de las radiaciones ionizantes?

4.2.2. CONTROL DEL TIEMPO

USO GLOBAL

Los resultados correspondientes al control del tiempo de fluoroscopia en la muestra son los siguientes:

Tabla. Control del tiempo de fluoroscopia		
	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	239	68,5
No siempre o siempre	109	31,2
TOTAL	348	99,7

Tabla 23: Control del tiempo de fluoroscopia

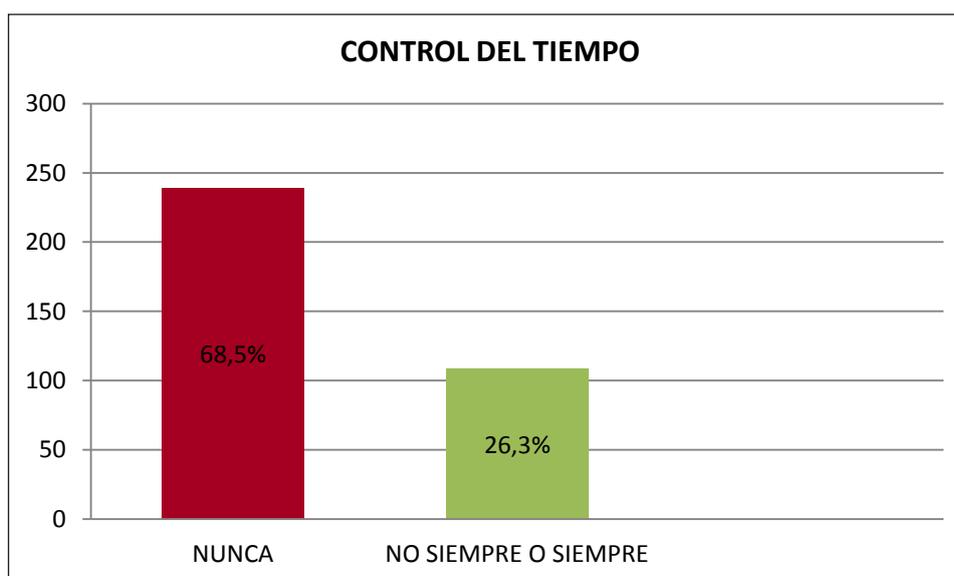


Gráfico 10: Control del tiempo de fluoroscopia

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un **64% no contabiliza nunca** el tiempo de fluoroscopia, con una $p < 0,05$.

La ausencia del control del tiempo de fluoroscopia refleja la poca importancia que se le ha dado tradicionalmente al uso de radiación en quirófano, pues la dosis de radiación como sabemos está directamente relacionada con el tiempo de fluoroscopia, incrementándose notablemente la dosis recibida con tiempos de fluoroscopia elevados. Así pues se recomienda emplear el menor tiempo de fluoroscopia posible que permita la realización de la técnica o examen sin disminuir la calidad del mismo.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EL CONTROL DEL TIEMPO DE FLUOROSCOPIA

A continuación se exponen los resultados correspondientes a las variables que hemos encontrado que están relacionadas con el control del tiempo de fluoroscopia.

Todas las tablas de contingencia realizadas en este estudio se han analizado mediante el test de la χ^2 de Pearson complementado con un análisis de residuos.

ÁMBITO PROFESIONAL:

Para realizar este análisis hemos tomado aquellas categorías donde la muestra es suficientemente grande para poder aplicar el test de la χ^2 de Pearson. Los resultados obtenidos en relación con el ámbito profesional y el control del tiempo de fluoroscopia se recogen en la siguiente tabla:

Tabla de Contingencia			
ÁMBITO PROFESIONAL	CONTROL DEL TIEMPO		Total
	Nunca	No siempre o siempre	
Anestesiología	*99	26	125
Traumatología	39	*28	67
Cirugía General	29	8	37
Enfermería	40	*29	69
Total	207	91	298

Tabla 24: Ámbito profesional y control del tiempo de fluoroscopia

Ambas variables están relacionadas, $p < 0,001$. Mediante el análisis de residuos podemos decir que **no realizar un control del tiempo de fluoroscopia (nunca)** está asociado con la especialidad de **anestesiología**.

Por otro lado también hay asociación entre la especialidad médica de traumatología y la categoría profesional de enfermería con el control del tiempo de fluoroscopia.

AÑOS DE EXPERIENCIA:

Los resultados del análisis de la tabla de contingencia se recogen en la tabla 25.

Tabla de Contingencia			
AÑOS DE EXPERIENCIA	CONTROL DEL TIEMPO		Total
	Nunca	No siempre o siempre	
≤ 5	66	22	88
6-15	85	33	118
>15	77	*55	132
Total	228	110	338

Tabla 25: Años de experiencia y control del tiempo de fluoroscopia

Existe relación entre los años de experiencia y el control del tiempo de fluoroscopia, $p < 0,01$, aunque no podemos decir que exista relación entre los años de experiencia y no contabilizar nunca el tiempo de fluoroscopia. Mediante el análisis de residuos observamos que una experiencia superior a quince años se asocia con controlar no siempre o siempre el tiempo de fluoroscopia.

NÚMERO DE PROCEDIMIENTOS:

Los resultados obtenidos en la muestra son:

Tabla de Contingencia			
N° PROCEDIMIENTOS SEMANA	CONTROL DEL TIEMPO		Total
	Nunca	No siempre o siempre	
≤ 1	*106	37	143
2-4	64	40	104
≥ 5	53	28	81
Total	223	105	328

Tabla 26: N° procedimientos y control del tiempo

Ambas variables están relacionadas con una $p < 0,05$. Mediante el análisis de residuos podemos decir que **no contabilizar nunca** el tiempo de fluoroscopia está asociado con la realización de **uno o menos procedimientos** guiados por fluoroscopia a la semana.

FORMACIÓN ESPECÍFICA:

Los resultados obtenidos sobre la formación específica y el control del tiempo de fluoroscopia se recogen en la siguiente tabla:

Tabla de Contingencia			
FORMACIÓN ESPECÍFICA	CONTROL DEL TIEMPO		Total
	Nunca	No siempre o siempre	
No	*191	69	260
Si	48	*41	89
Total	239	110	349

Tabla 27: Formación específica y control del tiempo de fluoroscopia

Tras la realización de un análisis mediante tablas de contingencia aplicando el test de la χ^2 de Pearson hemos obtenido que ambas variables están relacionadas, $p < 0,0005$. Mediante el análisis de residuos podemos decir que **no controlar (nunca)** el tiempo de fluoroscopia está asociado con la **ausencia de formación**. Por otro lado existe asociación entre la formación específica y controlar el tiempo de fluoroscopia no siempre o siempre.

4.2.3. COLIMACIÓN

USO GLOBAL

Los resultados correspondientes al empleo de colimación en la muestra son los siguientes:

Tabla. Colimación		
	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	184	52,7
No siempre o siempre	140	40,1
Desconoce	25	7,2
TOTAL	349	99,7

Tabla 28: Colimación

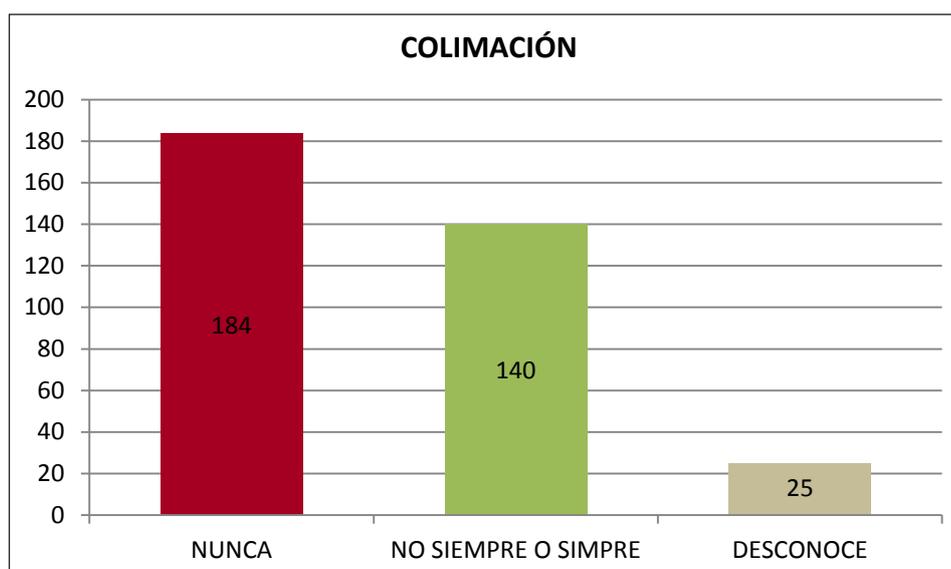


Gráfico 11: Colimación

Destaca que más de la mitad de los profesionales que constituyen la muestra no empleen nunca la colimación. Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más del **49%** no emplea **nunca** la **colimación**, con una $p < 0,05$.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y LA COLIMACIÓN

No hemos encontrado relación entre no utilizar la colimación y el sexo, el ámbito profesional, los años de experiencia el número de procedimientos o la formación.

4.2.4. DISTANCIA

USO GLOBAL

Los resultados obtenidos en la muestra sobre la distancia de los profesionales a la fuente emisora de rayos X son:

Tabla. Distancia		
DISTANCIA (m)	Frecuencia	Porcentaje
≤ 0,5	97	28,6
1	77	22,7
1,5	51	15,0
≥2	114	33,6
TOTAL	339	100

Tabla 29: Distancia con la fuente emisora

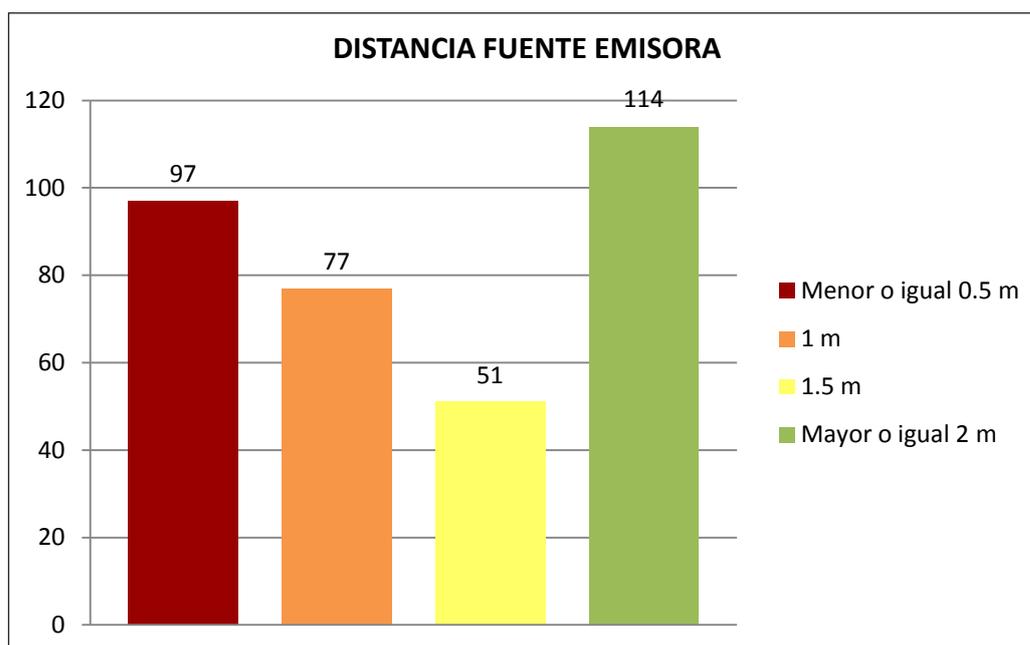


Gráfico 12: Distancia con la fuente emisora

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un **47%** se sitúa a **un metro o menos** de la fuente emisora, $p < 0,05$.

**RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES
DEMOGRÁFICAS Y LA DISTANCIA**

No hemos encontrado relación entre la distancia con la fuente emisora y el sexo, el ámbito profesional, los años de experiencia, número de procedimientos o la formación.

4.2.5. GAFAS DE PROTECCIÓN

USO GLOBAL

Los resultados de la muestra en relación con el no uso de gafas de protección son:

Tabla. Uso de gafas de protección		
	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	309	88,8
No siempre o siempre	39	11,2
TOTAL	348	100

Tabla 30: Uso de gafas de protección

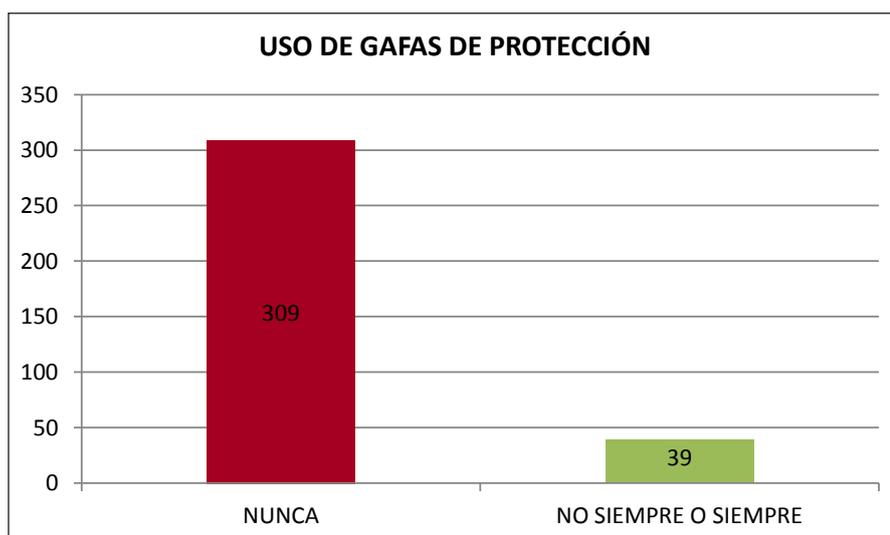


Gráfico 13: Uso de gafas de protección

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más del **85%** de los profesionales **nunca** usan gafas plomadas como medida de prevención con una $p < 0,05$.

Aunque las recomendaciones de los organismos nacionales e internacionales para la adopción de estas medidas de radioprotección del personal expuesto son globales, en el presente trabajo teniendo en cuenta las publicaciones existentes y las consideraciones de expertos hemos estudiado el uso de esta medida de protección entre los profesionales que se sitúan cerca de la fuente emisora de rayos X (distancia menor o igual a un metro) por ser los que presentan una exposición a dosis más elevadas de radiación.

USO DE GAFAS EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA CON MAYOR RIESGO DE EXPOSICIÓN

Podemos pensar que este resultado puede explicarse en parte a que un número elevado de profesionales no las emplea por situarse lejos de la fuente emisora de rayos X.

Si realizamos el análisis incluyendo únicamente a los profesionales situados a una distancia menor o igual a metro (n=174) obtenemos:

Tabla. Uso de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m		
Gafas	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	152	87,3
No siempre o siempre	22	12,6
TOTAL	174	100

Tabla 31: Uso de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m

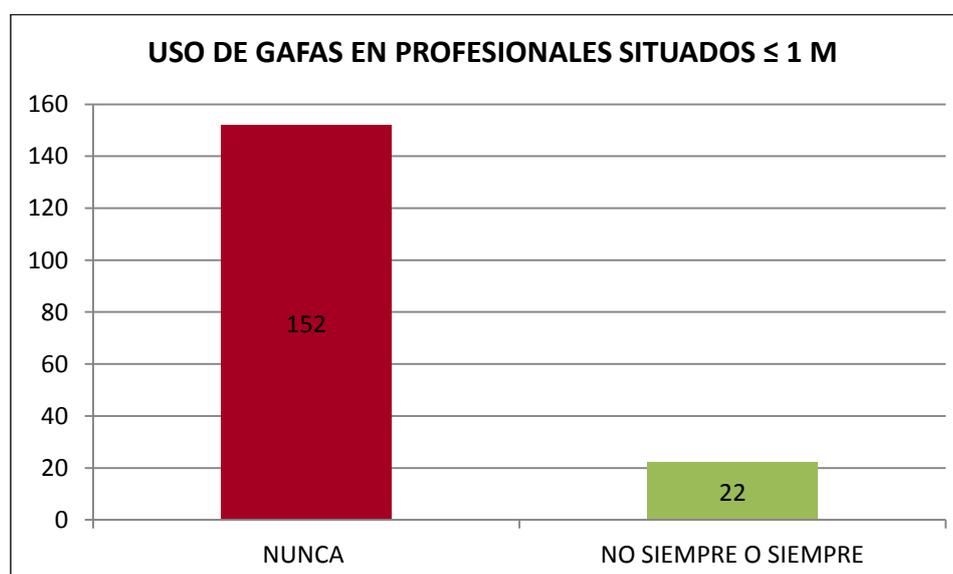


Gráfico 14: Uso de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m

Más de un **79%** de los profesionales situados cerca de la fuente emisora de rayos X no emplean **nunca** las gafas plomadas como medida de radioprotección, $p < 0,05$.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EL USO DE GAFAS DE PROTECCIÓN

Debemos puntualizar que este análisis se ha realizado sobre los profesionales situados próximos a la fuente emisora (n=174) por ser como hemos comentado anteriormente los que presentan un mayor riesgo de irradiación del cristalino y por tanto los que deben emplear obligatoriamente las gafas de protección para desarrollar así su labor asistencial con mayor seguridad.

FORMACIÓN ESPECÍFICA:

Los resultados obtenidos en la muestra se exponen en la siguiente tabla:

Tabla. Uso de gafas en profesionales situados ≤ 1 m y FE		
Gafas	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	33	78,6
No siempre o siempre	9	21,4
TOTAL	42	100

Tabla 32: Uso de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m y formación específica (FE)



Gráfico 15: Uso de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m y formación específica (FE)

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un **68%** de los profesionales con formación específica que se sitúan cerca de la fuente emisora de radiación no utilizan **nunca** las gafas de protección a pesar de ser el cristalino un órgano extremadamente radiosensible, con una $p < 0,05$. Naturalmente debido al pequeño tamaño muestral el porcentaje generalizado es bastante inferior al de la muestra. Cabe esperar que dicho porcentaje ascienda con un mayor tamaño muestral.

4.2.6. GUANTES DE PROTECCIÓN

USO GLOBAL

Los resultados de la muestra en relación con el uso de guantes de protección son:

Tabla. Uso de guantes de protección		
	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	326	93,7
No siempre o siempre	22	6,3
TOTAL	348	100

Tabla 33: Uso de guantes de protección

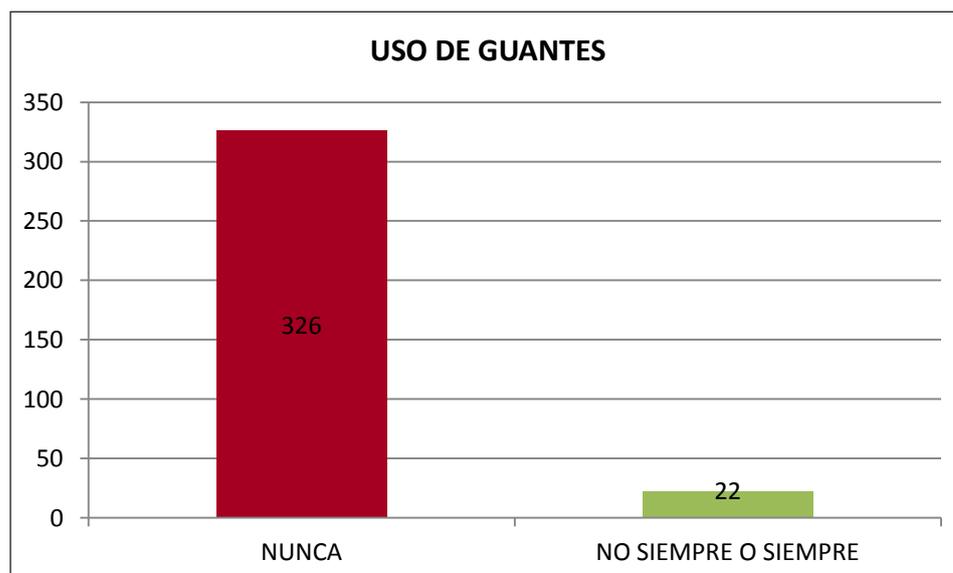


Gráfico 16: Uso de guantes de protección

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un **91%** de los profesionales **nunca** usan guantes plomados como medida de prevención con una $p < 0,05$.

Siguiendo la misma argumentación expuesta en el caso de las gafas plomadas, vamos a realizar el análisis de uso de guantes como medida de radioprotección sobre los profesionales con mayor riesgo de exposición sobre las manos.

USO DE GUANTES EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA CON MAYOR RIESGO DE EXPOSICIÓN

Podemos pensar que este resultado puede explicarse en parte a que un número elevado de profesionales no los emplea por situarse lejos de la fuente emisora de rayos X.

Si realizamos el análisis incluyendo únicamente a los profesionales situados a una distancia menor o igual a metro (n=174) obtenemos:

Tabla. Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m		
Guantes	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	162	93,1
No siempre o siempre	12	9,9
TOTAL	174	100

Tabla 34: Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m



Gráfico 17: Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m

Más de un **89%** de los profesionales situados cerca de la fuente emisora de rayos X no emplean **nunca** los guantes plomados como medida de radioprotección, $p < 0,05$.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EL USO DE GUANTES DE PROTECCIÓN

Debemos puntualizar que este análisis se ha realizado sobre los profesionales situados próximos a la fuente emisora (n=174) por ser como hemos comentado los que presentan un mayor riesgo de irradiación de las manos y son por tanto los que deben emplear los guantes para disminuir la dosis recibida.

FORMACIÓN ESPECÍFICA:

Del estudio de la relación de la formación específica y el no uso de guantes plomados en los profesionales situados cerca de la fuente emisora encontramos:

Tabla. Uso de guantes en profesionales con formación y distancia ≤ 1 m		
Guantes	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	35	83,3
No siempre o siempre	7	16,7
TOTAL	42	100

Tabla 35: Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m y formación específica (FE)

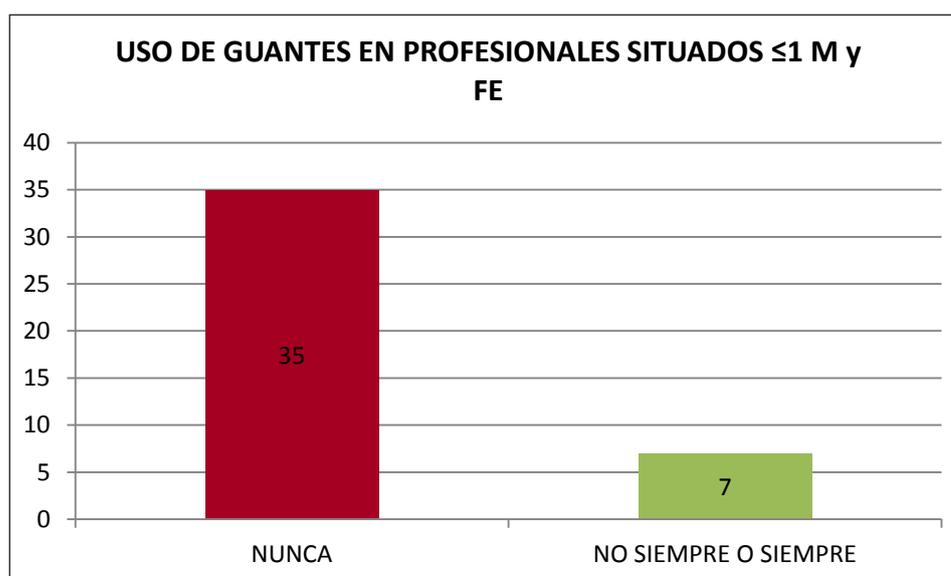


Gráfico 18: Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m y formación específica (FE)

De la tabla anterior porque destaca que de los 42 profesionales con formación específica situados a un metro o menos de la fuente emisora 35 de ellos no emplean nunca los guantes plomados como medida de radioprotección. Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un **73%** de los profesionales con formación específica que se sitúan cerca de la fuente emisora de radiación no utilizan **nunca** los guantes plomados como medida de radioprotección, con una $p < 0,05$. Del mismo modo que ocurría en el caso de las gafas de protección cabe esperar que dicho porcentaje generalizado ascienda con un mayor tamaño muestral.

4.3. RESULTADOS

CORRESPONDIENTES AL USO ADECUADO DE LAS MEDIDAS DE RADIOPROTECCIÓN

4.3.1. DOSÍMETRO

USO GLOBAL

A continuación vamos a analizar el uso del dosímetro desde otra perspectiva. Dentro de los profesionales que emplean el dosímetro vamos a estudiar cuántos hacen un uso adecuado del mismo, entendiendo como adecuado aquellos que se colocan el dosímetro en todos los procedimientos e inadecuado como aquellos que no se lo ponen nunca o solo algunas veces. La importancia de esto radica en que un uso inadecuado de este dispositivo se va a traducir en mediciones poco fiables sobre la dosis de radiación recibida por los trabajadores expuestos, obteniéndose por tanto datos irreales que pueden llevarnos a la extracción de conclusiones equívocas.

Tabla. Uso del dosímetro		
	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuado	331	95,1
Adecuado	17	4,9
TOTAL	349	100

Tabla 36: Uso adecuado del dosímetro

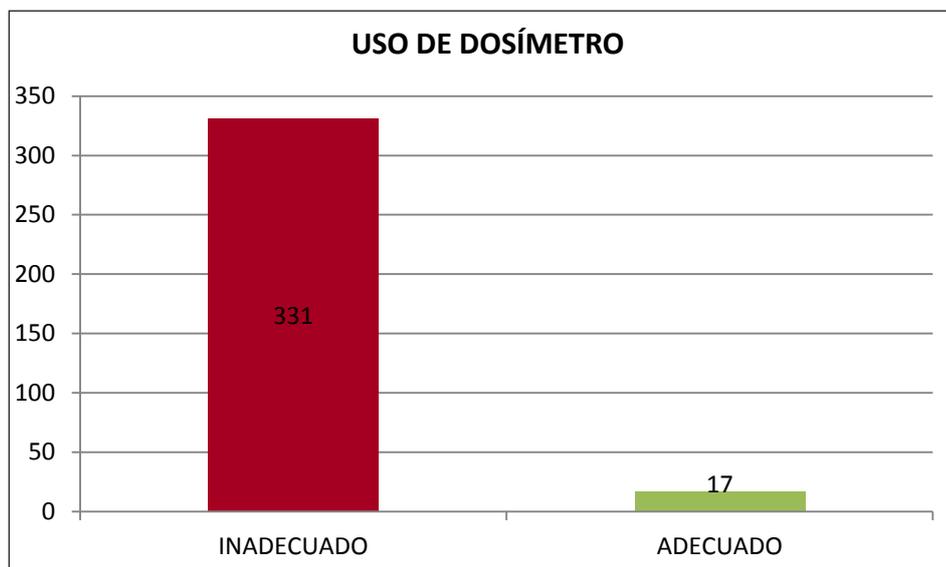


Gráfico 19: Uso adecuado del dosímetro

Analizando los resultados obtenidos en nuestra muestra vemos que menos de un **5%** hace un **uso adecuado** del dosímetro, frente al 95% de los profesionales que lo emplean inadecuadamente.

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más del 93% hacen un uso inadecuado del dosímetro con una $p < 0,05$.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EL USO ADECUADO DEL DOSÍMETRO

Dado que el número de profesionales de la muestra que realizan un uso adecuado del dosímetro es tan pequeño (17 de 349) el análisis y posterior generalización van a estar limitados, por lo que me dispongo a realizar una descripción de las características de esos 17 profesionales que sí hacen uso correcto de dicho dispositivo.

USO ADECUADO DOSÍMETRO (n=17)	
Sexo	
Masculino	6
Femenino	11
Ámbito profesional	
Médicos:	
Anestesiólogos	3
Traumatólogos	2
Enfermería	12
Años de experiencia	
≤5	2
6-15	10
>15	5
Nº Procedimientos	
≤1	2
2-4	1
≥5	14
Formación específica	
No	10
Si	7

Tabla 37: Características descriptivas del uso adecuado del dosímetro

Destaca que, de los 17 profesionales que emplean el dosímetro adecuadamente, 12 son enfermeros. Este dato es llamativo más aún cuando el porcentaje de profesionales médicos prácticamente triplica al porcentaje de profesionales de enfermería en nuestra muestra. Otra característica es que de los 17, 10 presentan una experiencia media. Y 14 de ellos realizan cinco o más procedimientos guiados por fluoroscopia a la semana.

Se evidencia por tanto una tendencia entre el buen uso del dosímetro y el ámbito profesional de enfermería, la experiencia media y muchos procedimientos, pero no hemos podido demostrar asociación debido al pequeño tamaño muestral.

NÚMERO DE PROCEDIMIENTOS:

Podríamos pensar que la adherencia a la monitorización dosimétrica por parte de los profesionales es tan baja porque realmente el número de procedimientos a la semana a los que están expuestos es muy bajo o incluso nulo, pues bien, si realizamos un análisis más detallado observamos:

Tabla de Contingencia			
Nº PROCEDIMIENTOS SEMANA	USO DE DOSÍMETRO		Total
	Inadecuado	Adecuado	
≤ 1	140	2	142
2-4	103	1	104
≥ 5	67	14	81
Total	310	17	327

Tabla 38: Nº procedimientos y uso adecuado del dosímetro

De los resultados de la tabla se extrae que un 83% de los profesionales de la muestra que realizan cinco o más procedimientos guiados por fluoroscopia a la semana no emplean el dosímetro adecuadamente.

FORMACIÓN ESPECÍFICA:

A continuación exponemos la tabla correspondiente a los profesionales con formación específica en relación con el uso del dosímetro.

Tabla. Uso del dosímetro en los profesionales con formación		
	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuado	82	92
Adecuado	7	8
TOTAL	89	100

Tabla 39: Formación específica y uso adecuado del dosímetro

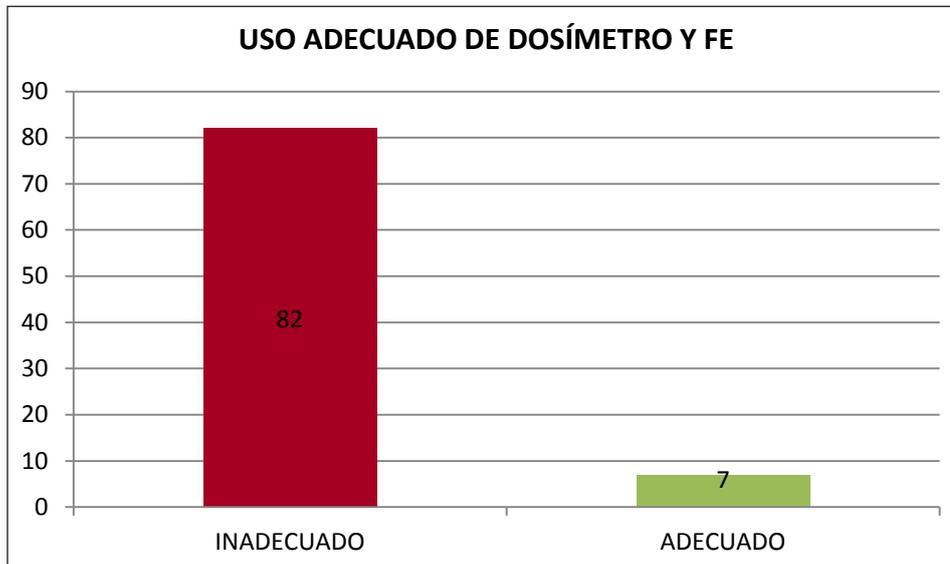


Gráfico 20: Uso adecuado del dosímetro y formación específica

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más del 87% de los profesionales con formación específica no utilizan adecuadamente el dosímetro, con una $p < 0,05$.

4.3.2. CONTROL DEL TIEMPO

USO GLOBAL

Los resultados correspondientes al control adecuado del tiempo de fluoroscopia en la muestra son los siguientes:

Tabla. Control del tiempo de fluoroscopia		
	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuado	331	95,1
Adecuado	17	4,9
TOTAL	348	99,7

Tabla 40: Control del tiempo de fluoroscopia adecuado

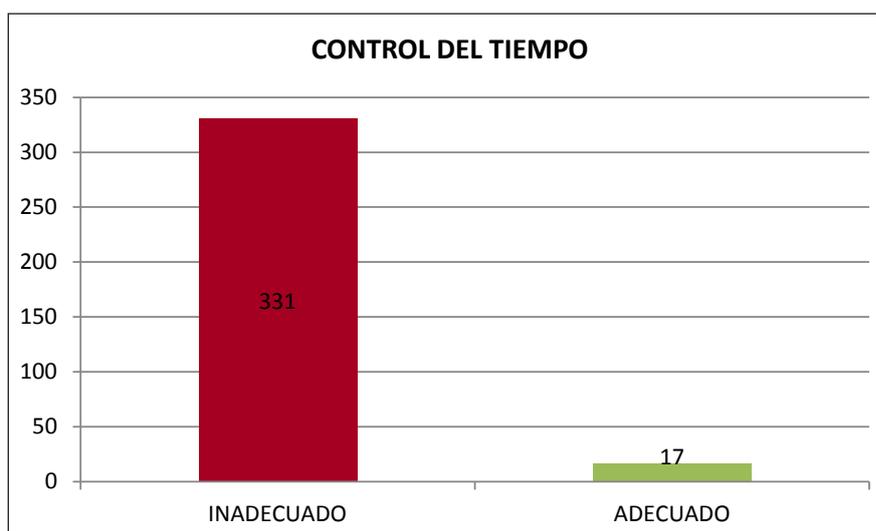


Gráfico 21: Control del tiempo de fluoroscopia adecuado

De nuestro estudio destaca que tan solo un 5% aproximadamente llevan a cabo un control de dicho tiempo en todos los procedimientos. Debido al pequeño tamaño muestral (n=17) la generalización a la población está limitada.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EL ADECUADO CONTROL DEL TIEMPO DE FLUOROSOCOPÍA

No se ha encontrado relación entre un adecuado control del tiempo de fluoroscopia y el sexo, el ámbito profesional, los años de experiencia, el número de procedimientos, o la formación específica.

4.3.3. COLIMACIÓN

USO GLOBAL

Los resultados correspondientes al empleo adecuado de la colimación en la muestra son:

Tabla. Uso de colimación		
	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuado	297	85,1
Adecuado	27	7,7
Desconoce	25	7,2
TOTAL	349	100

Tabla 41: Uso adecuado de la colimación

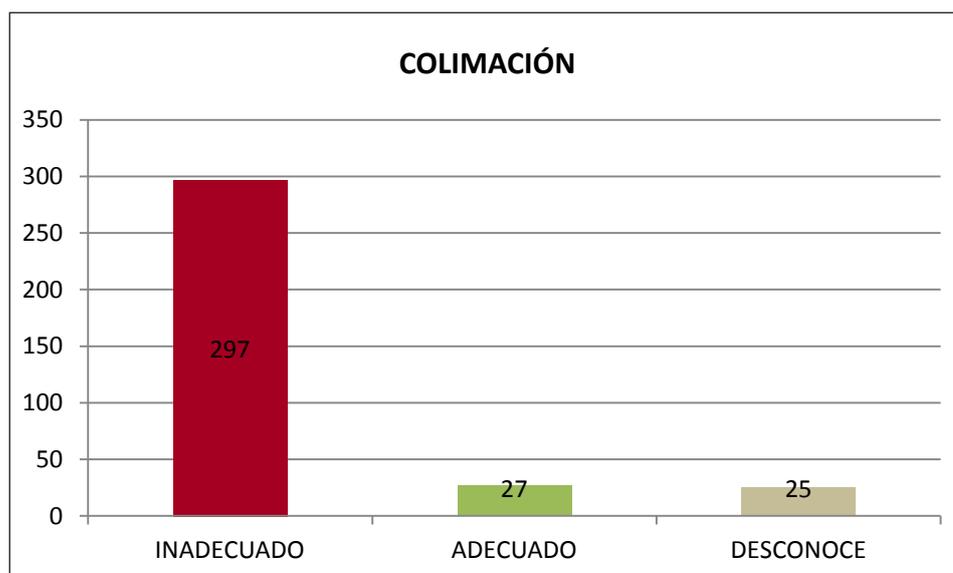


Gráfico 22: Uso adecuado de la colimación

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un 81% de la población no emplea la colimación adecuadamente, $p < 0,05$.

Llama la atención que el porcentaje de profesionales que desconocen qué es la colimación sea similar al de profesionales que hacen un uso óptimo de la misma. La colimación es una de las prácticas que deben emplearse para reducir de una manera directa la radiación dispersa e indirectamente la exposición tanto del paciente como del personal. Puede comportarse por tanto como indicador del grado de formación en materia de radioprotección.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EL USO ADECUADO DE LA COLIMACIÓN:

No se ha encontrado relación entre un uso adecuado de la colimación y el sexo, el ámbito profesional, los años de experiencia, el número de procedimientos, o la formación específica.

4.3.4. GAFAS DE PROTECCIÓN

USO GLOBAL

Dentro de los profesionales que emplean las gafas plomadas como medida de protección vamos a analizar cuántos hacen un uso adecuado de las mismas, entendiendo como adecuados aquellos que las emplean en todos los procedimientos.

Tabla. Uso de gafas de protección		
	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuado	345	99,1
Adecuado	3	0,9
TOTAL	348	99,7

Tabla 42: Uso adecuado de las gafas de protección

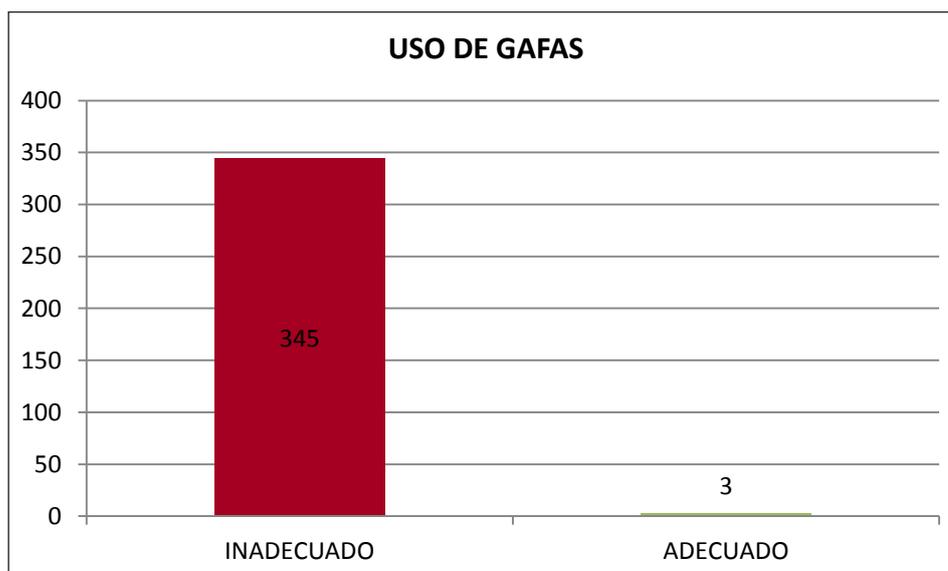


Gráfico 23: Uso adecuado de las gafas de protección

Del mismo modo que en el bloque anterior, si analizamos únicamente a los profesionales que se sitúan más próximos a la fuente de radiación (n=174) por ser los que presentan una mayor exposición y por tanto deben emplearlas adecuadamente, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla. Uso adecuado de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m		
Gafas	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuado	172	98,9
Adecuado	2	1,1
TOTAL	174	100

Tabla 43: Uso adecuado de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m

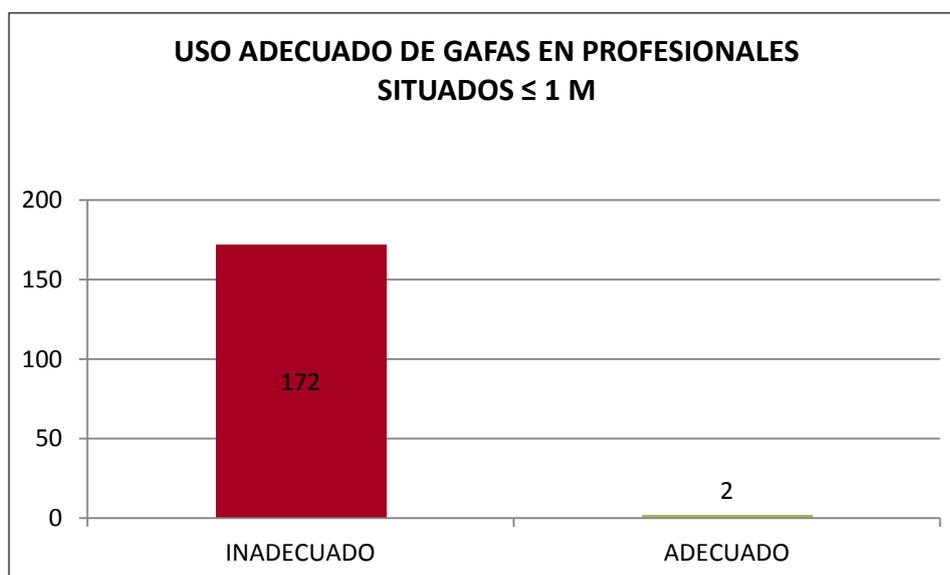


Gráfico 24: Uso adecuado de gafas en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m

Únicamente el **1,1%** de los profesionales que se sitúan cerca de la fuente emisora hacen un **uso adecuado** de esta medida de protección frente a radiaciones ionizantes, es decir las emplean en todos los procedimientos. Por tanto destaca que el porcentaje de uso inadecuado de esta medida de protección es similar (99%) independientemente de la distancia, lo que muestra una ausencia total de conciencia del riesgo entre los profesionales.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EL USO ADECUADO DE GAFAS DE PROTECCIÓN

Hemos querido estudiar si el sexo, el ámbito profesional, los años de experiencia, el número de procedimientos o la formación se relacionan con el uso adecuado de gafas de protección pero nos encontramos con la importante limitación de que solo 3 de los 349 encuestados hacen un uso adecuado de esta medida de protección. A continuación se describen sus características:

USO ADECUADO GAFAS (n=3)	
Sexo	
Masculino	3
Femenino	0
Ámbito profesional	
Médicos:	
Anestesiólogos	1
Urólogos	1
Cardiólogos	1
Años de experiencia	
≤5	0
6-15	0
>15	3
Nº Procedimientos	
≤1	0
2-4	1
≥5	2
Formación específica	
No	1
Si	2

Tabla 44: Características descriptivas del uso adecuado de las gafas de protección

4.3.5. GUANTES DE PROTECCIÓN

USO GLOBAL

Los resultados de la muestra en relación con el uso adecuado de guantes de protección, entendiendo como adecuados aquellos que los emplean en todos los procedimientos, son:

Tabla. Uso de guantes de protección		
	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuado	346	99,4
Adecuado	2	0,6
TOTAL	348	100

Tabla 45: Uso adecuado de los guantes de protección

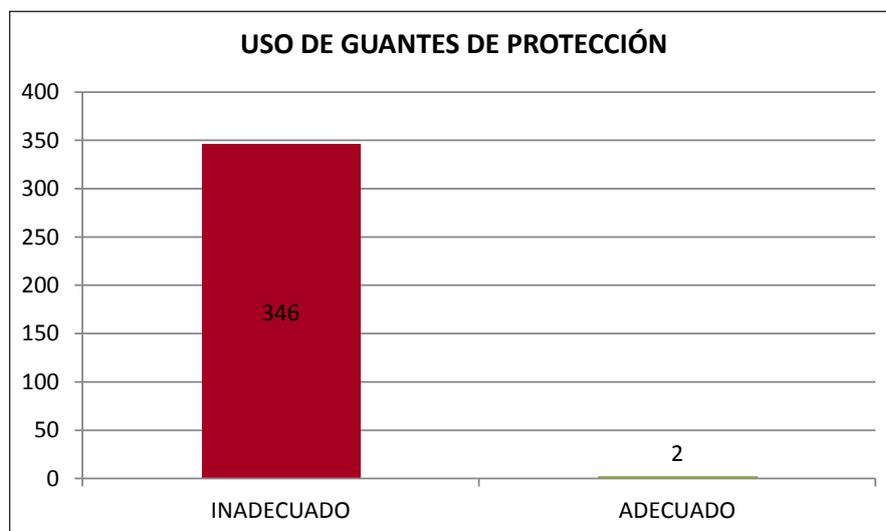


Gráfico 25: Uso adecuado de los guantes de protección

Si analizamos únicamente a los profesionales que se sitúan más próximos a la fuente de radiación (n=174) por ser realmente los que presentan riesgo de recibir dosis elevadas de radiación en las manos, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla. Uso de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m		
Gafas	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuado	173	98,9
Adecuado	1	1,1
TOTAL	174	100

Tabla 46: Uso adecuado de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m

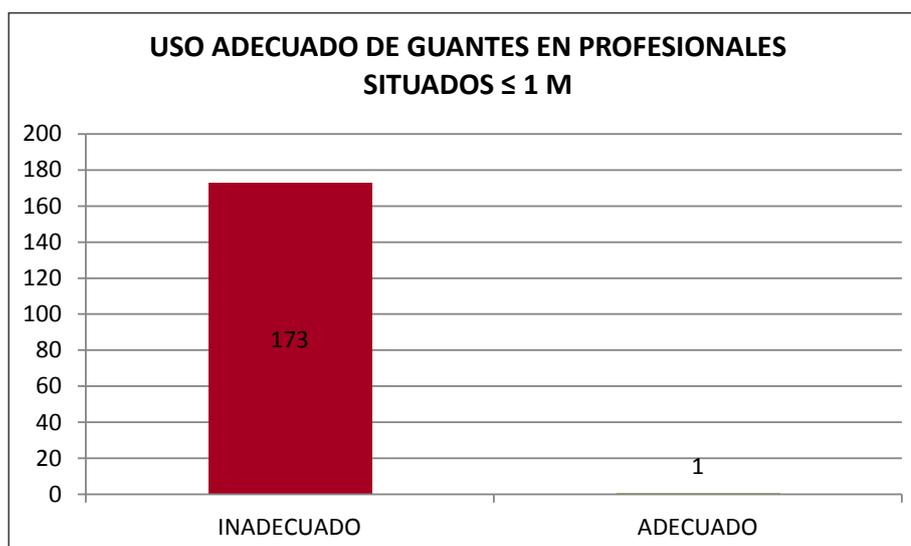


Gráfico 26: Uso adecuado de guantes en profesionales situados a una distancia ≤ 1 m

Tan solo 1 de los 174 profesionales que deberían hacer uso de los mismos por su proximidad a la fuente emisora los emplea en todos los procedimientos. Por tanto el porcentaje de profesionales de nuestro estudio que se sitúan cerca de la fuente emisora y que hacen un **uso adecuado** de esta medida de radioprotección es **inferior al 1%**.

De los resultados obtenidos podemos decir que el 99% de los profesionales que se sitúan a una distancia menor o igual a la fuente emisora y que por tanto presentan mayor riesgo de irradiación sobre las manos no emplea los guantes plomado como medida de radioprotección, evidenciándose nuevamente que el elevado porcentaje de uso inadecuado de los guantes plomados es igual independiente de la distancia, nuevo reflejo de la no conciencia ante el riesgo.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EL USO ADECUADO DE GUANTES DE PROTECCIÓN

Hemos querido estudiar si el número de procedimientos, la formación o los años de experiencia se relacionan con el uso adecuado de guantes de protección pero nos encontramos nuevamente con la gran limitación de que solo 2 de los 349 encuestados hacen un uso adecuado de esta medida de protección. A continuación se describen sus características:

USO ADECUADO GUANTES (n=2)	
Sexo	
Masculino	0
Femenino	2
Ámbito profesional	
Médicos:	
Anestesiólogos	2
Años de experiencia	
≤5	1
6-15	1
>15	0
Nº Procedimientos	
≤1	0
2-4	2
≥5	0
Formación específica	
No	1
Si	1

Tabla 47: Características descriptivas del uso adecuado de los guantes de protección

4.4. RESULTADOS DE LOS FACTORES RELATIVOS AL PACIENTE

4.4.1. INFORMACIÓN DADA AL PACIENTE

Puntualizar que se han considerado únicamente los profesionales correspondientes a las distintas especialidades médicas por ser los facultativos los que deben informar al paciente, como requisito imprescindible para la obtención del consentimiento informado.

Los resultados correspondientes a la muestra se recogen en la siguiente tabla:

Tabla. Información al paciente		
	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	225	84,6
No siempre	37	13,9
Siempre	4	1,5
TOTAL	266	100

Tabla 48: Información de los riesgos al paciente

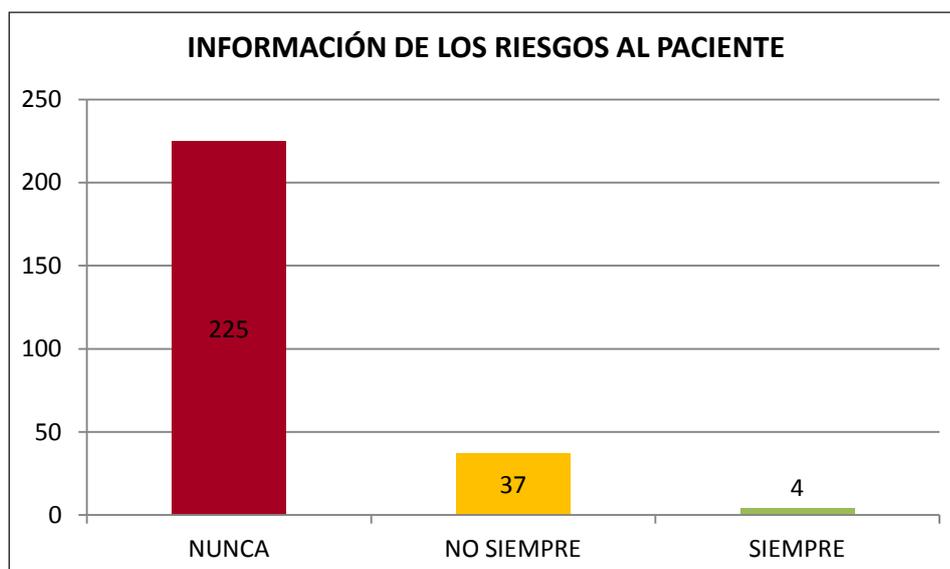


Gráfico 27: Información de los riesgos al paciente

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un **80%** de los profesionales no informa **nunca** al paciente de los riesgos asociados a la exposición radiación ionizante, con una $p < 0,05$.

Si consideramos que siempre debemos dar al paciente una información completa y adecuada en relación con los riesgos generales y específicos del procedimiento vemos que en la mayoría de los casos la información es inadecuada.

Tabla. Información de los riesgos al paciente		
	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuada	262	98,5
Adecuada	4	1,5
TOTAL	266	100

Tabla 49: Información adecuada de los riesgos al paciente

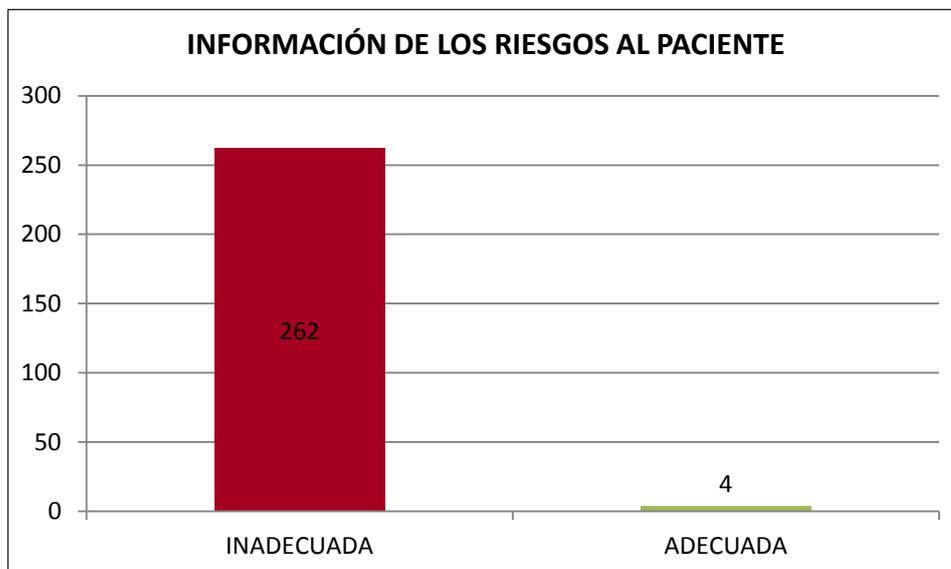


Gráfico 28: Información adecuada de los riesgos al paciente

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que menos de un **5%** de los profesionales informa **adecuadamente (siempre)** al paciente de los riesgos asociados a la exposición radiación ionizante, con una $p < 0,05$.

4.4.2. PROTECCIÓN DEL PACIENTE

Los resultados relacionados con las medidas de radioprotección aplicadas al paciente correspondiente a la muestra son:

Tabla. Protección del paciente		
	Frecuencia	Porcentaje
Nunca	209	60,4
No siempre	120	34,6
Siempre	17	4,9
TOTAL	346	100

Tabla 50: Protección del paciente

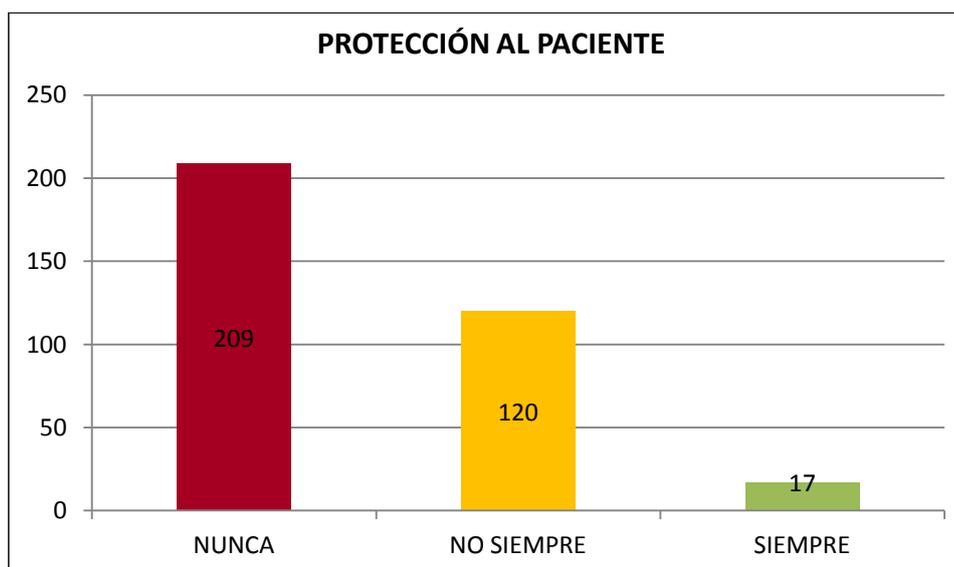


Gráfico 29: Protección del paciente

Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un **55%** de los profesionales no protege **nunca** al paciente durante los procedimientos guiados por fluoroscopia, $p < 0,05$.

En la medida de lo posible siempre se debe proteger al paciente de la radiación ionizante, pues solo así estaremos ofreciendo una protección adecuada. Los resultados obtenidos de la muestra se exponen en la siguiente tabla:

Tabla. Protección al paciente		
	Frecuencia	Porcentaje
Inadecuada	329	95
Adecuada	17	5
TOTAL	346	100

Tabla 51: Protección adecuada del paciente

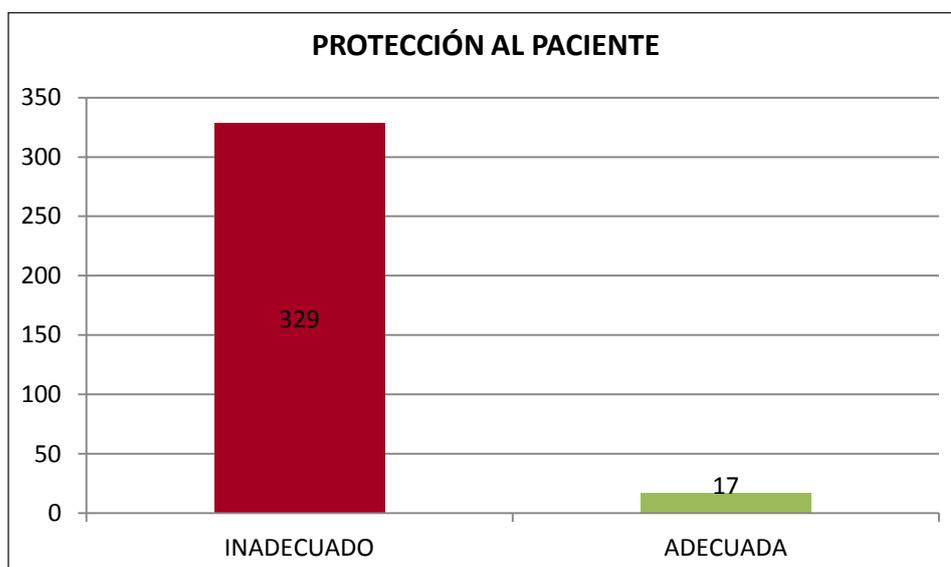


Gráfico 30: Protección adecuada del paciente

Menos de un 5% protege siempre al paciente durante los procedimientos. Mediante el contraste de una proporción podemos decir que más de un 92% de los profesionales no protege siempre al paciente durante los procedimientos guiados con fluoroscopia, con una $p < 0,05$.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y LA INFORMACIÓN Y PROTECCIÓN DEL PACIENTE

Debido a que la mayoría de profesionales no informan ni protegen al paciente de las radiaciones ionizantes en todos los procedimientos, lógicamente podemos decir que los factores que pensamos a priori que podrían condicionar la información y protección ofrecida al paciente no condicionan en absoluto.

Los resultados obtenidos evidencian una **ausencia de concienciación** entre los profesionales que, realizan o están presentes durante los procedimientos guiados por fluoroscopia, ante el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes. Esto dista mucho de las recomendaciones y estándares vigentes tanto a nivel nacional como internacional. Queda de manifiesto por tanto un importante área de mejora en relación con la radioprotección en el área quirúrgica.

5. DISCUSIÓN

Actualmente es indiscutible que la radiación ionizante produce efectos nocivos en el organismo humano. Dichos efectos se describieron por primera vez en los supervivientes de los accidentes nucleares tras recibir grandes dosis de radiación. Encontramos publicaciones como las de Cullings⁴⁷ y Horai⁴⁸ que tratan sobre este aspecto.

Al margen de estos accidentes nucleares con dosis masivas, el uso de las radiaciones ionizantes en el ámbito sanitario conlleva la exposición a dosis moderadas o bajas de manera reiterada. Son numerosos los trabajos que hablan sobre los efectos perjudiciales derivados del uso del fluoroscopio, destacando los estudios epidemiológicos que sugieren un incremento de la incidencia de cáncer de piel y tumores cerebrales en estos profesionales⁴⁹⁻⁵¹.

Muchas son las publicaciones que tratan sobre la radiación ionizante y la carcinogénesis. Ait-Ali y cols⁵² concluyen que los niños sometidos reiteradamente a procedimientos de intervencionismo cardiovascular presentan un mayor riesgo de desarrollar cáncer a lo largo de su vida como consecuencia de las dosis acumuladas. Stewart evidenció en su estudio *Oxford Survey*¹⁸ que exposiciones repetidas en niños se asociaban a leucemia inducida por radiación. Rajaraman⁵³ por su parte concluye que el riesgo de padecer tumores cerebrales, cáncer de mama o desarrollar un melanoma está incrementado en los profesionales que realizan procedimientos guiados por fluoroscopia. Roguin⁵⁴ evidencia en sus trabajos un mayor riesgo de tumores cerebrales en médicos intervencionistas como consecuencia de la exposición. Eagan⁵¹ por su parte describe el cáncer de piel como efecto nocivo de la exposición en los trabajadores. Sobre los efectos cutáneos también tratan los trabajos llevados a cabo por Koenig y cols^{17,55-56}.

Por otro lado se han descrito efectos adversos no oncológicos, entre los que destacan las alteraciones del cristalino. Shore⁵⁷, Khan⁵⁸, Jacob S⁵⁹⁻⁶⁰, Vano⁶¹ o Ciraj-Bjelac⁶² son algunos de los autores que han realizado trabajos que asocian el desarrollo de cataratas con la exposición. Las investigaciones de Andreassi⁶³ o Borghini⁶⁴ muestran que los cambios que sufre la molécula de ADN se relacionan con el desarrollo temprano de aterosclerosis y envejecimiento vascular acelerado.

Por tanto, la necesidad de protegernos frente a la peligrosidad de las radiaciones ionizantes es un hecho evidente. Para ello es fundamental, en primer lugar, **medir la radiación** recibida y en segundo, aplicar las **medidas de radioprotección** disponibles.

En relación con la medición, el uso del dosímetro es un punto clave para cuantificar la dosis recibida. La Comisión de Salud Pública, en el Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud considera obligatorio su uso y el registro todas las dosis recibidas durante la vida laboral.

Es fundamental conocer como emplean el dosímetro los trabajadores del área quirúrgica, ya que es la única forma de medir la radiación recibida y la acumulada. Es decir, el dosímetro es lo que nos va a indicar cómo de expuestos están realmente los trabajadores. Su uso intermitente genera un serio problema ya que altera la medición, tanto recibida como acumulada. Para facilitar la comprensión de este aspecto citaré un ejemplo: si un trabajador expuesto ha realizado 10 procedimientos fluoroscópicos en un mes y solo ha hecho uso del dosímetro en cinco de ellos estaremos dejando de cuantificar la radiación recibida en el 50% de los procedimientos, pudiendo llevarnos esto a considerar que no ha sobrepasado los límites recomendados cuando realmente lo desconocemos.

Los resultados de nuestro estudio demuestran que la realidad es que este dispositivo no se usa entre los profesionales del área quirúrgica. Tunçer et al⁴⁴ obtuvieron resultados similares pero, a diferencia del nuestro, su estudio estaba limitado a cirujanos ortopédicos y traumatológicos. Mejores fueron los resultados obtenidos por Hernández et al³³ donde el 66,6% de los encuestados respondieron llevar dosímetro. Un aspecto que diferencia nuestro trabajo de los trabajos anteriores, es que se ha considerado el uso del dispositivo desde dos perspectivas: por un lado se ha estudiado el no uso del dispositivo y por otro el uso adecuado del mismo. Los resultados obtenidos son alarmantes ya que **casi tres cuartas partes de los profesionales expuestos no lo emplean nunca ($p < 0,05$)** y menos del **5%** lo emplea **adecuadamente**. Al estudiar los factores que pueden influir en su no uso encontramos que el ámbito profesional ($p < 0,05$), los años de experiencia ($p < 0,02$) y el número de procedimientos ($p < 0,00001$) son factores condicionantes. La poca experiencia profesional y la realización de uno o menos procedimientos a la semana se asocian a no utilizar dicho dispositivo.

Demostrar el mal uso del dosímetro es importante pues pasa de ser una medida “real”, a ser una medida poco fiable, que puede llevar a estudios con conclusiones erróneas. Además, si los centros especializados en el análisis de estos datos no reciben una información “real” se producirá una infraestimación de las dosis recibidas y esto puede tener consecuencias en cuanto a la adopción o no, de medidas de protección por parte de los Servicios de prevención de riesgos laborales.

Realmente una de las cuestiones que surge al analizar este aspecto en la literatura es, ¿cómo podemos interpretar los resultados de estudios que se basan en los datos dosimétricos de los trabajadores si, como muestra nuestro estudio, la mayoría no emplean dicho dispositivo? Probablemente podamos caer en un error al tomar como válidos datos que realmente no lo son.

Pensamos que el mal uso del dosímetro lleva a conclusiones erróneas, y probablemente a esto se deban los resultados obtenidos en estudios como el de Linet, Kithara, Vaes o Rhea. Linet et al⁶⁵ tras comparar las tasas de mortalidad total específica entre un grupo de médicos implicados en procedimientos guiados por fluoroscopia y un grupo control, llegan a la conclusión de que paradójicamente tanto la mortalidad total como por cáncer es menor en el primer grupo. Destaca como limitación importante que no se emplearon datos de registros de dosis individuales. Kithara et al⁴⁰ en un estudio publicado recientemente concluyen que la exposición a dosis bajas de radiación ionizante no se asocia en el adulto con un incremento del riesgo de cáncer pero matizan que se necesitan estudios con estimaciones de dosis individuales de alta calidad. Un uso adecuado del dosímetro salvaría las limitaciones que presentan los trabajos de Linet y Kithara. Encontramos trabajos recientes como el de Vaes et al⁶⁶ donde estudian la dosis recibida en el cristalino mediante dosimetría para un grupo de anestesiólogos. Concluyen que la dosis anual recibida cumpliría con los límites establecidos como seguros pero hacen un llamamiento al uso seguro de la radiación ionizante ante la posibilidad de la naturaleza estocástica de las cataratas. Como limitaciones del estudio encontramos un tamaño muestral de 16 y que la medición se realizó durante un mes, extrapolándose para el resto del año.

La misma limitación comparte el estudio de Rhea et al⁶⁷ donde, a partir de estimaciones de dosis, sugieren que se deberían replantear las medidas de radioprotección de los anestesiólogos por recibir éstos dosis insignificantes de radiación. Parten además de la premisa de que la distancia a la que se sitúa de la fuente emisora es siempre mayor a 1.5 metros y obvia que la posición en quirófano no es algo estático, sino dinámico, y va a estar determinada por el procedimiento, la técnica anestésica y las necesidades del paciente.

La gravedad del mal uso del dosímetro se basa en la posibilidad de extraer conclusiones equívocas en un aspecto directamente relacionado con la seguridad y salud de los trabajadores durante su carrera profesional. Por tanto se plantean las siguientes

cuestiones; ¿Conocemos realmente cómo de expuestos estamos? ¿Cómo podemos afirmar, por ejemplo, que la incidencia de tumores es similar en la población expuesta y no expuesta si dentro de la no expuesta estamos incluyendo a profesionales expuestos donde las mediciones realizadas son incompletas? Estaremos cayendo en un error importante por tanto. Los organismos internacionales emplean estos datos y estudios poblacionales sobre prevalencia e incidencia de distintas patologías según la población esté expuesta o no para establecer límites seguros y garantizar la protección tanto de los trabajadores como de la población en su conjunto midiendo la dosis de radiación recibida, por lo que dicha medida tiene que ser fiable.

Por ello es necesaria una mayor concienciación de los trabajadores en relación con el uso seguro de las radiaciones ionizantes.

El otro gran aspecto que hemos estudiado es el empleo de las medidas de radioprotección del profesional.

Una de las particularidades de los procedimientos guiados por fluoroscopia es que, a diferencia de otras modalidades radiológicas, se precisa que el terapeuta permanezca próximo al paciente y al aparato de rayos X, exponiéndose también a dicha radiación. Si bien cierto que la dosis recibida por el profesional es menor que la que recibe el paciente, la protección del personal sanitario es esencial debido a que dicha dosis es acumulativa y a que incluso la exposición a dosis pequeñas de radiación pueden desencadenar efectos perjudiciales^{17,56}.

Existen factores de riesgo modificables y no modificables que van a contribuir en la dosis de radiación recibida⁶⁸. Los factores modificables presentan gran relevancia porque es en su control donde el profesional debe centrar su esfuerzo para conseguir reducir la dosis recibida.

Los tres factores que más influencia tienen en la dosis recibida son la distancia con la fuente emisora de rayos X, el tiempo de fluoroscopia y el uso de blindajes que, aplicados correctamente, van a contribuir a una reducción notable del riesgo de exposición. En nuestro trabajo los factores de protección que hemos tenido en cuenta tras consultar mediante el método Delphi con un panel de expertos son: la distancia,

el tiempo de fluoroscopia, la colimación y el uso de gafas y guantes plomados como medidas de radioprotección.

¿Pero, por qué es importante la distancia? conocer a qué distancia de la fuente de rayos X se sitúan los trabajadores durante su labor asistencial traduce la magnitud de la exposición, pues como se ha expuesto anteriormente mediante la ley del cuadrado de la distancia la exposición disminuye notablemente al aumentar la distancia entre la fuente de radiación y el operador.

En muchas ocasiones el profesional no puede evitar estar próximo a la fuente emisora. En los resultados obtenidos de nuestro trabajo se observa que más de la mitad de los profesionales estudiados se sitúan a un metro o menos de la fuente emisora y un 28,6% del total respondieron situarse a menos de 0.5 metros. Bastante mayor fue el porcentaje obtenido por Hernández et al en 2011 entre los especialistas dedicados a la terapéutica del dolor en España, donde el porcentaje de profesionales que se situaba a menos de 0.5 m de la fuente emisora alcanzaba el 47% del total. Esta diferencia podría explicarse debido a que nuestra muestra no solo incluye a anestesiólogos dedicados al tratamiento del dolor, donde la proximidad a la fuente es necesaria durante la realización de la técnica. Este hecho no es despreciable, pues la fluoroscopia se ha establecido como estándar para la realización de dichas técnicas, lo que ha supuesto por un lado, la generalización de su empleo y por otro, implica situarse habitualmente muy próximo a la fuente emisora, ya que se requiere la presencia del anestesiólogo dentro del campo junto a la zona a tratar.

No debemos olvidar que durante la fluoroscopia la radiación dispersa emitida desde la superficie corporal del paciente va a suponer una fuente muy importante de exposición ocupacional para los trabajadores y por tanto la distancia va a ser una de las medidas básicas de radioprotección y buenos hábitos en materia de protección radiológica. Debemos permanecer siempre a la mayor distancia de la fuente emisora que el desarrollo de la técnica y la situación clínica del paciente nos permita.

Es en estos profesionales que precisan situarse cerca de la fuente emisora donde cobran aun mayor importancia las medidas personales de radioprotección. La normativa al respecto no deja lugar a dudas, e incide en que la empresa deberá velar por que las medidas individuales de protección adecuadas estén disponibles para todo trabajador expuesto y porque éstas permanezcan además en un estado óptimo, sin deterioro alguno.

Una medida básica va a ser el uso de las gafas plomadas, pues el cristalino es considerado uno de los órganos más sensibles a las radiaciones ionizantes.

Durante décadas se ha aceptado la asociación entre una mayor incidencia de cataratas y la exposición a dosis elevadas de radiación, sin embargo trabajos posteriores sugieren que las opacidades asociadas a la radiación ionizante también podrían asociarse con la exposición a dosis mucho menores⁵⁷. Esto ha motivado que recientemente las cataratas radioinducidas secundarias a la exposición ocupacional se hayan reconocido como una entidad propia⁵⁸.

El mecanismo por el cual se produce la carotogénesis constituye un tema de debate en la actualidad. Khan et al⁵⁸ llevaron a cabo una revisión sobre los puntos más controvertidos relacionados con la carotogénesis, publicada en 2017. Su aportación al conocimiento y comprensión de las cataratas radioinducidas es notable y sugieren que existe cierta similitud con el proceso de oncogénesis inducida por radiación. Sostienen que es un proceso multifactorial, donde están implicados numerosos factores tanto genéticos como ambientales. Uno de los aspectos más relevantes de este trabajo es que plantean la existencia de una serie de factores genéticos que predisponen al desarrollo de cataratas radioinducidas. La importancia de esta afirmación radica en la dificultad de establecer límites de exposición seguros, pues con las guías se asume que la población presenta una predisposición homogénea para su desarrollo, obviando la variabilidad interpersonal. Este cambio de paradigma abre un nuevo debate sobre la naturaleza determinista o no determinista de las cataratas inducidas por la exposición a radiación ionizante.

En la actualidad existen muchas incógnitas al respecto, como la relación desconocida entre la dosis y el desarrollo de la lesión o el tiempo de latencia. Todo ello ha motivado a los organismos internacionales a adoptar una actitud preventivista. Por su parte la IRCP actualiza los límites de dosis a valores mucho menos permisivos y establece un nuevo límite de dosis de 20 mSv/año, lo que supone una notable reducción si lo comparamos con el previo que establecía una dosis límite de 150 mSv/año.

En nuestro estudio observamos que un **85%** no utiliza **nunca gafas de protección**, $p < 0,05$. Hernández et al³³ obtuvieron resultados similares, pues más de un 80% de los encuestados respondieron que no las empleaba de manera rutinaria. Un aspecto que diferencia nuestro trabajo es que se han estudiado por un lado aquellos profesionales que no emplean nunca esta medida y aquellos que hacen un uso adecuado de la misma. Otro

aspecto interesante resultó al analizar si el modo de empleo de este tipo de protección variaba en función de la distancia a la que se situaba el profesional. Si bien es cierto que las recomendaciones de los organismos reguladores son categóricas y consideran que el uso obligatorio de estas medidas, hemos querido estudiarlas en aquellos profesionales situados cerca de la fuente emisora por ser los que presentan la mayor exposición y por tanto en los que sería inexcusable no emplearlas. Al analizar el uso de gafas de protección en los profesionales que se situaban a una distancia menor a un metro de la fuente emisora encontramos nuevamente que casi un 80% de estos profesionales no las emplea nunca y que únicamente **menos del 1%** hacen un uso adecuado, lo que se va a traducir en una sobreexposición del cristalino. De nuevo los resultados obtenidos muestran la **ausencia de conciencia del riesgo** entre los profesionales.

Pero, ¿qué dosis de radiación recibe el cristalino durante estos procedimientos? Esta es aún una pregunta difícil de responder, pues encontramos resultados muy heterogéneos en la literatura. El estudio O'CLOC (*Occupational Cataracts and Lens Opacities in interventional Cardiology*)⁶⁰ es un estudio multicéntrico que se llevó a cabo con el objetivo de determinar el riesgo existente de desarrollar cataratas radioinducidas entre los cardiólogos intervencionistas. Para el cálculo de las dosis recibidas tuvieron en cuenta el número de procedimientos que realizaban, la dosis media de radiación recibida en función del tipo de procedimiento y las medidas de radioprotección empleadas. Observaron que la dosis recibida variaba mucho entre los profesionales, de modo que la dosis acumulada para el cristalino incluía valores desde 25 mSv a 1600 mSv⁵⁹. Obtienen que la dosis media que recibe un trabajador expuesto durante 22 años es de 423 mSv, lo que va a suponer, si aplicamos los límites actuales de la ICRP, que el 60% de los cardiólogos incluidos en este estudio superarían el límite de dosis establecido.

Otro punto de controversia es la prevalencia de las cataratas radioinducidas, variando desde el 17%⁶⁰ al 52%⁶² en función de las series. Esta diversidad de resultados puede explicarse en parte por la ausencia de una clasificación estandarizada para considerar los distintos tipos de cataratas y a que los estudios existentes presentan una metodología con baja reproducibilidad.

Si tenemos en cuenta que por un lado las gafas con protecciones laterales reducen la radiación recibida por el cristalino en más de un 98%, y por otro el cambio de paradigma que supone considerar las cataratas como un efecto no determinista, o lo que es lo mismo sin una dosis mínima para que se produzcan, la implementación del uso

adecuado de las gafas protectoras cobra gran importancia para el control de los efectos deletéreos secundarios a la radiación en los profesionales expuestos. Vuelven a ser por tanto los resultados obtenidos en nuestro estudio alarmantes y evidencian un amplio campo de mejora.

Otra de las partes anatómicas más expuestas es sin duda las manos del terapeuta y suponen actualmente un motivo de preocupación en materia de radioprotección, ya que reciben las mayores dosis de radiación^{5,69}. El factor determinante es la necesidad de la proximidad de las manos del profesional al paciente y a la fuente emisora de rayos X.

Si revisamos la bibliografía encontramos cierta controversia pues, tradicionalmente se ha mantenido que aunque la dosis recibida en las manos del terapeuta es elevada, no supera los límites de dosis establecidos. Existen otros autores que defienden que probablemente se esté infravalorando el riesgo de exposición de las manos. Esta segunda corriente relaciona este hecho con varias razones como son no realizar el seguimiento de los trabajadores, el empleo del dosímetro en lugares más sensibles o tener en cuenta la medición de la dosis acumulada⁶⁹.

Donde no existe controversia es en las recomendaciones actuales que advierten de la necesidad del uso de guantes plomados como medida de radioprotección en los profesionales que realizan procedimientos guiados por fluoroscopia.

Dentro de las medidas para reducir la dosis de radiación recibida en las manos del terapeuta destacan aumentar la distancia con el paciente y el foco emisor⁵ así como la utilización de guantes plomados. La primera de las medidas puede ser difícil de cumplir debido al procedimiento en sí o al estado del paciente, pudiendo suceder que el profesional no tenga la opción de alejarse del mismo. Pero por el contrario el uso de guantes plomados va a depender de la concienciación del trabajador en materia de protección radiológica. En relación con esto Synowitz and Kiwit⁷⁰ enfatizan en el uso de guantes plomados como medida de protección y concluyen que su uso produce una disminución de la dosis de radiación de hasta el 75%.

En nuestro estudio observamos que más de un **89%** de los profesionales situados cerca de la fuente emisora de rayos X no emplean **nunca** los **guantes plomados** como medida de radioprotección, $p < 0,05$, poniendo de manifiesto la **ausencia** actual de **percepción del riesgo** a la exposición de los trabajadores.

Una de las causas a las que se ha atribuido en la literatura la no adherencia de esta medida de protección es la pérdida de tacto y la incomodidad que suponen los guantes plomados debidos a su mayor grosor. Al respecto, Back et al⁷¹ realizaron un estudio prospectivo durante 4 meses en intervenciones de cirugía ortopédica con el que pretendían conocer la confortabilidad de un tipo de guante de protección, concluyendo que el modelo de guante fue aceptado por la mayoría de los traumatólogos y además su uso supuso una atenuación de los rayos X de más del 90%.

Además de estas medidas dirigidas a la radioprotección del terapeuta existen otras medidas que permiten la disminución de la dosis de radiación emitida, como son el control del tiempo de fluoroscopia y la colimación.

El tiempo de fluoroscopia es uno de los factores directamente relacionados con la dosis de radiación recibida y por tanto, un control meticuloso del tiempo de fluoroscopia va a contribuir a la disminución de la exposición tanto del paciente como del equipo de profesionales. Idealmente el tiempo de fluoroscopia deberá ser el menor tiempo posible que nos permita realizar la técnica sin detrimento de su calidad.

En nuestro estudio se evidencia que el 64% de los profesionales nunca contabilizan el tiempo de fluoroscopia, $p < 0,05$. Se ha encontrado relación entre el control del tiempo de fluoroscopia y el ámbito profesional ($p < 0,01$), los años de experiencia ($p < 0,01$), el número de procedimientos ($p < 0,05$) y la formación específica ($p < 0,0005$). Destaca que aquellos profesionales con formación específica en el uso de fluoroscopia son los que aplican esta medida.

En cuanto a la colimación los resultados obtenidos no son mucho más optimistas pues el 81% de los profesionales no la emplean de manera adecuada, $p < 0,05$. Esto es importante si tenemos en cuenta que la colimación es una de las prácticas que deben utilizarse para reducir de una manera directa la radiación dispersa y esto a su vez va a disminuir indirectamente la exposición tanto del paciente como del personal.

Es en este contexto de análisis de la situación donde observamos una **baja adherencia al uso de medidas de radioprotección** y buenos hábitos en el uso de fluoroscopia surge la siguiente pregunta, ¿qué papel juega la formación en todo esto?

Los organismos internacionales han expresado en reiteradas ocasiones la necesidad de dotar con una formación adecuada en materia de radioprotección a los profesionales implicados en el uso de fluoroscopia y enfatizan en que esta preparación

deberá recibirse de manera periódica, ya que nos encontramos ante un crecimiento exponencial de los procedimientos guiados por fluoroscopia, que estos pueden suponer una dosis de radiación elevada y que además dicha dosis presenta una gran variabilidad para un mismo procedimiento.

Son varias las publicaciones donde la IRCP ha abordado este tema y en concreto en su publicación número 117 afirma que la falta de formación de los profesionales en el uso de fluoroscopia ajenos a los servicios de radiodiagnóstico puede suponer un incremento del riesgo de irradiación tanto para los pacientes como para los profesionales.

En Europa este aspecto no es novedoso, pues ya el primer tratado constitutivo de EURATOM en 1957 recogía la necesidad de la enseñanza, educación y formación en materia de seguridad y protección de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.

Pero, ¿cuál es el nivel de cumplimiento en la práctica de dichas recomendaciones?

En España el CSN es el órgano encargado de conceder las licencias, permisos y acreditaciones en las que se basan los programas de formación ocupacional. Cuenta además con un programa de cursos acreditados con el objetivo de facilitar el acceso a una formación adecuada y garantizar una preparación óptima y en sintonía con los requisitos de la Unión Europea vigentes. Estos programas de formación han adquirido importancia como vehículo para la promoción de una cultura de seguridad y mejora del grado de competencia de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.

Sin embargo, si revisamos la literatura nos encontramos con una realidad que dista bastante de las recomendaciones existentes.

Trabajos como los de Tunçer⁴⁴, Kim y Miller⁷² o Mettler, Koenig y cols⁷³. concluyen que existe una carencia de conocimientos en relación con el uso de fluoroscopia y en materia de radioprotección. Tunçer⁴⁴ además apunta que esta falta de formación puede contribuir a un aumento innecesario de irradiación, con mayores tiempos de intervención y una sobreexposición innecesaria del paciente que va a conllevar indirectamente una mayor exposición del profesional. Kim y Miller⁷² defienden que la toma de conciencia del trabajador en medidas de radioprotección actúa como factor esencial para lograr una minimización de la exposición.

Mettler, Koenig y cols.⁷³ en su revisión sobre las lesiones secundarias a la exposición tras procedimientos fluoroscópicos concluyen que gran parte de las lesiones

de gravedad producidas hubieran sido evitables con una mayor capacitación del terapeuta en el uso seguro de radiaciones ionizantes.

Siguiendo la misma línea, en nuestro estudio se observa una baja tasa de formación entre el personal sanitario que desarrolla su actividad en el ámbito quirúrgico y destaca que tres cuartas partes de los encuestados reconocen no haber recibido formación específica. Pero, a diferencia del resto de trabajos, no hemos encontrado relación entre tener formación específica con el uso del dosímetro ni el resto de medidas de radioprotección estudiadas. Únicamente se encontró relación entre la formación específica y controlar el tiempo de fluoroscopia, $p < 0,0005$.

Otra de las cuestiones que surgen es, ¿a quién debe ir dirigida dicha formación? Parece que existe consenso en que los programas de educación y capacitación en protección radiológica deben llevarse a cabo en todos los niveles de formación, desde las facultades hasta la formación continuada y actualizada de los profesionales⁷⁴. En el caso concreto de los profesionales médicos, la formación durante la residencia presenta gran relevancia pues supone mejorar la educación de los futuros profesionales en seguridad radiológica, lo que probablemente se traducirá en una mayor implementación de buenos hábitos y prácticas seguras en materia de seguridad y protección radiológica.

Del beneficio de la formación de calidad durante la residencia tratan los trabajos de Gendelberg⁷⁵ y Wang⁴³. Gendelberg⁷⁵ concluye que el programa de seguridad radiológica en residentes de Traumatología se asoció a una disminución de la exposición a radiación, tanto del médico residente como del paciente, y a una disminución del tiempo de exposición durante el uso del mini arco en C en la reducción de fracturas pediátricas. Wang⁴³ pone de manifiesto la demanda de los residentes de una mayor formación sobre radioprotección y uso seguro de las radiaciones ionizantes.

Pero, ¿qué datos aporta la literatura sobre la formación de los residentes en esta área?

Sobre esta cuestión Sadigh et al⁷⁶ destaca la evidencia de un área de mejora ante el mayor conocimiento mostrado por los residentes de la especialidad de radiodiagnóstico en comparación con el resto de especialidades consultadas, entre las que se incluyen residentes de especialidades con un uso potencial de fluoroscopia y exposición a radiación ionizante muy elevado. Una de las diferencias con nuestro estudio es que no se incluyeron especialidades como anestesiología y que no se tuvieron en cuenta los médicos que ya habían concluido su periodo de formación.

Por otro lado Friedman et al⁷⁷ ante unos resultados muy desalentadores, destacan la necesidad de incluir en el programa de la especialidad la formación obligatoria en materia de seguridad en el uso de radiación ionizante y medidas de radioprotección y apunta que esto sería clave para conseguir una disminución de la exposición tanto del paciente como del resto de los integrantes del quipo.

Por tanto, la bibliografía actual considera la formación específica una herramienta fundamental para alcanzar la optimización de las medidas de radioprotección existentes y minimizar los efectos indeseables de la radiación.

Como ya se ha expuesto anteriormente, un aspecto relevante que se extrae de nuestros resultados es que, a diferencia de otros trabajos publicados, la formación no se relaciona con un uso adecuado del dosímetro y **un porcentaje elevado de los profesionales con formación no emplean las medidas de radioprotección nunca**. Surge por tanto la siguiente cuestión, ¿qué tipo de formación se está ofreciendo a los profesionales? ¿Debería plantearse un nuevo modelo de formación en radioprotección y uso adecuado de radiaciones ionizantes? Quizás la extensión del uso de la fluoroscopia fuera de los Servicios de Radiodiagnóstico se haya producido a mayor velocidad que la equiparación en la formación específica entre los radiólogos intervencionistas y el resto de profesionales que realizan estos procedimientos, siendo como consecuencia la conciencia de riesgo frente a la exposición mucho menor en estos últimos.

Por último, el tercer aspecto estudiado es el grado de información y protección ofrecido al paciente.

Tradicionalmente se ha priorizado la radioprotección del personal expuesto frente a la protección del paciente. Esta idea ha estado fundamentada en la creencia de que mientras que el profesional está expuesto durante toda su vida laboral, el paciente solo se expondría en contadas ocasiones y además éstas le reportarían un beneficio personal ya sea diagnóstico o terapéutico¹¹. Pero lo cierto es que este aspecto ha cambiado de manera radical en las últimas décadas, ya que los pacientes se someten a numerosas exploraciones radiológicas y con frecuencia a un mayor número de procedimientos guiados por fluoroscopia. Otra consideración que debe tenerse en cuenta es que algunas de estas exploraciones y técnicas actuales suponen para el paciente dosis recibidas muy superiores a las que se realizaban con anterioridad⁷⁸. Un ejemplo es la comparación de la dosis recibida con la realización

de una radiografía simple de tórax frente a la tomografía axial computarizada de abdomen (TAC), siendo la dosis en la segunda 100 veces superior a la primera. Por otro lado el hecho de que cada vez sea más frecuente incluir como escalón terapéutico los procedimientos guiados por fluoroscopia por ser menos invasivos que numerosas alternativas quirúrgicas ha supuesto un incremento notable de la dosis de radiación a los pacientes. Incluso en algunos pacientes las dosis acumuladas por exposiciones diagnóstico-terapéuticas pueden superar a las recibidas por los profesionales expuestos ocupacionalmente durante todo su ejercicio profesional. En relación con las elevadas dosis recibidas por los pacientes Thorby-Lister et al⁷⁹ en una publicación reciente analizan el riesgo atribuible de desarrollar cáncer a lo largo de su vida en niños con osteogénesis imperfecta como consecuencia de la exposición reiterada y concluyen que minimizar las dosis recibidas en dichas exposiciones a radiación ionizante es una medida fundamental para reducir el riesgo. En esta misma línea Pearce y cols.⁸⁰ llevaron a cabo un trabajo sobre las consecuencias de la radiación derivada de la realización de TAC cerebral en niños y adultos jóvenes, concluyendo que la acumulación de las dosis recibidas se asocia a un mayor riesgo de desarrollar leucemia y tumores cerebrales en estos pacientes.

A diferencia de los procedimientos diagnósticos, es complicado determinar con exactitud las dosis recibidas por el paciente durante los procedimientos terapéuticos guiados por fluoroscopia. Su dinamismo, la gran heterogeneidad de procedimientos y la variabilidad existente en función del operador o las características anatómicas del paciente dificultan esta tarea. En general los procedimientos de cabeza y cuello se asocian a dosis elevadas, mientras que procedimientos urológicos, osteosíntesis y procedimientos de la vía biliar supondrían dosis moderadas⁷².

Sin duda, un aspecto poco estudiado es el relativo a la información y adopción de medidas dirigidas a la radioprotección del paciente.

Aunque son numerosas las publicaciones que abordan el riesgo de exposición del paciente a dosis reiteradas durante procedimientos diagnósticos y terapéuticos, principalmente en intervencionismo cardiovascular, son escasas las publicaciones que evalúan en qué medida el profesional informa y protege al paciente de dicho riesgo. La bibliografía recoge que la mayoría de los especialistas no suele informar de los riesgos específicos de la radiación ionizante, y tampoco suelen estar incluidos en el consentimiento informado escrito, hecho que siguiendo la legislación actual puede conllevar la interposición de una reclamación^{33,81}.

Hernández et al³³ incluyeron este aspecto en su trabajo y evidenciaron una carencia en la información y protección ofrecida al paciente. Los resultados aportados al respecto por nuestro estudio son más alarmistas, pues destaca que el porcentaje de profesionales que informan siempre al paciente es menor del 5% y que más del **80%** de los profesionales del área quirúrgica implicados en procedimientos guiados por fluoroscopia **no informa nunca al paciente** de los riesgos específicos de la exposición a radiación ionizante, $p < 0,05$. En cuanto a la protección, **más de la mitad no protege nunca al paciente**, $p < 0,05$ y menos del 5% lo realiza sistemáticamente en todos los procedimientos. A diferencia del trabajo realizado por Hernández et al nuestro estudio no se ha limitado a anestesiólogos dedicados a la terapéutica del dolor y por otro lado, se ha tenido en cuenta no solo si se informa y protege al paciente sino con qué frecuencia, puesto que la obligación de llevar a cabo estas acciones es constante en todos los procedimientos. Esto puede explicar la diferencia en los resultados obtenidos entre ambos trabajos. La conclusión de nuestro estudio es por tanto una **ausencia de información y protección hacia el paciente**, nada sorprendente si tenemos en cuenta la falta de concienciación del profesional acerca de la exposición a radiación ionizante, como si el hecho de que la radiación sea invisible para el ojo humano implicara su inexistencia. En definitiva nuestros resultados aportan una visión global de cómo se informa y protege a los pacientes de la exposición a radiación ionizante en el entorno quirúrgico en la actualidad, y pone de manifiesto un amplio campo de mejora al respecto.

No debemos olvidar que en relación con esto la legislación actual exige el consentimiento informado para cualquier acto o procedimiento médico, que significa que el paciente otorga el consentimiento a la actuación de un profesional sanitario una vez que ha recibido la información relevante, suficiente y necesaria sobre la misma, que le permita decidir lo que considera más favorable para él. La Ley 41/2002 recoge que la información debe comprender como mínimo la finalidad y la naturaleza de cada intervención, sus riesgos y consecuencias.

Debemos informar por tanto que el procedimiento lleva asociado la exposición a radiación ionizante aunque no se pueda precisar con exactitud la cantidad de radiación que puede recibir, así como explicar sus complicaciones más frecuentes de manera individualizada para cada paciente. De no ser así estaremos incumpliendo el marco normativo vigente y faltando a un derecho fundamental como es el derecho de información del paciente y su principio de autonomía.

5.1. HACIA DONDE NOS DIRIGIMOS

Es indudable que el avance tecnológico de los equipos radiológicos va dirigido hacia conseguir una mejora de la calidad de imagen con el objetivo de poder reducir progresivamente la dosis de radiación necesaria sin disminuir la calidad del procedimiento. Pero el aumento exponencial del empleo de estas técnicas guiadas por fluoroscopia y la mayor complejidad de estos procedimientos ha llevado a un aumento global de la exposición a radiación ionizante en el ámbito médico, tanto de la población en general como de manera individual. En este contexto el papel del profesional de la salud es vital, su concienciación y toma de responsabilidad en el uso seguro de las radiaciones ionizantes son herramientas fundamentales para trabajar en la optimización del riesgo-beneficio.

La preocupación existente por parte de los organismos nacionales e internacionales es evidente, estableciendo normativas cada vez más restrictivas y adoptando posiciones preventivistas. Aunque el interés por la protección radiológica en profesionales y pacientes ha sido notable en la última década, la última normativa europea por primera vez destaca la necesidad de contar con un registro de la dosis de radiación recibida por los profesionales sanitarios y además reduce los niveles de dosis máximas recibidas a cifras nunca antes imaginables.

En España recientemente se ha implantado un proyecto piloto en el Hospital San Carlos de Madrid (*DoseAware de Philips*) con el objetivo de cuantificar en tiempo real la dosis recibida por el profesional (en este caso del Servicio de Cardiología Intervencionista) mediante la sincronización de los dosímetros electrónicos personales y los equipos radiológicos. Una de sus ventajas es que el software dispone de un sistema de alarmas que avisa in situ al profesional del nivel de exposición en tiempo real y permite corregir su actuación así como adoptar medidas para aumentar la protección. Como se pone de manifiesto una de las líneas principales para mejorar en el campo de la radioprotección del profesional es garantizar un adecuado sistema de medida de la dosis individual recibida durante toda su práctica asistencial.

Otra de las iniciativas es la propuesta por el *American College of Cardiology*⁸² y consiste en implantar un *Check-list* específico en todo procedimiento que precise fluoroscopia, asegurándose que se emplean medidas tan importantes para minimizar las dosis como la colimación o el control del tiempo. En definitiva se trata de estandarizar las actuaciones en el uso de la fluoroscopia por parte de todos los profesionales implicados para aumentar así la seguridad.

Checklist of Dose-Sparing Practices for X-Ray Fluoroscopy	
Case selection	<input type="checkbox"/> Consider patient age, comorbidities, natural life expectancy
	<input type="checkbox"/> Consider appropriateness and utility of nonradiation-based imaging techniques
Equipment calibration	<input type="checkbox"/> Fluoroscopic and cine doses as low as compatible with diagnostic image quality
Procedure conduct	<input type="checkbox"/> Minimize beam-on time
	<input type="checkbox"/> Use lowest-dose fluoroscopy setting suitable for a particular task
	<input type="checkbox"/> Collimate imaging field size to the area of interest
	<input type="checkbox"/> Use the slowest framing rates suitable for a particular task
	<input type="checkbox"/> Minimize cine acquisition run durations
	<input type="checkbox"/> Minimize patient-detector distance
	<input type="checkbox"/> Maximize employment of operator shielding

Figura 13: Checklist uso fluoroscopia

Tomada de: A Report of the American College of Cardiology Task Force on Expert Consensus Decision

En este contexto también surgen iniciativas dirigidas al paciente como el carnet radiológico personal e individual, que tiene como objetivo concienciar al profesional antes de prescribir o indicar una técnica y conocer la dosis de radiación acumulada a lo largo de la vida tras las exposiciones médicas repetidas a las que se somete el paciente. No debemos olvidar que el envejecimiento poblacional se traduce en un aumento de la complejidad y el número de estos procedimientos.

El primer paso hacia una radioprotección adecuada es la medición real de la radiación recibida y, para ello, es fundamental el adecuado uso del dosímetro entre los profesionales. Se hace evidente que es necesario un mayor conocimiento de los efectos de la radiación y del uso tanto del fluoroscopio como de las medidas de radioprotección en trabajadores y pacientes. Sería deseable también una mayor supervisión para garantizar el cumplimiento de las medidas y una implicación activa de los Servicios de prevención de riesgos laborales en el uso de radiaciones ionizantes en el área quirúrgica.

Sin duda alguna, conseguir una mayor concienciación en los profesionales es prioritario, pues, *“el ojo solo ve lo que la mente está preparada para comprender”* (Henri Bergson, filósofo y escritor francés).

6. CONCLUSIONES

1. Más del 72% de los profesionales sanitarios del área quirúrgica expuestos no utilizan nunca el dosímetro.
2. El uso de factores de radioprotección en general es inadecuado en la mayoría de los profesionales.
3. La influencia de la formación específica es mínima ya que más de las tres cuartas partes de los profesionales con formación específica no utilizan adecuadamente las medidas de protección.
4. Más del 80 % no informa nunca sobre los riesgos de la radiación al paciente y un 92% no lo protege.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bushong S. Manual de Radiología para Técnicos. 9ª ed. Elsevier; 2010.
2. U. Busch. Wilhelm Conrad Roentgen. The discovery of x-rays and the creation of a new medical profession.
3. García P D, García B C. Anna Bertha Roentgen (1833-1919): La mujer detrás del hombre. Rev Chil Radiol. 2005; 11(4): 179–81.
4. Patuzzi J. La historia de la radiología. [Monografía en Internet]. Sociedad Europea de Radiología. 2012 [acceso 1 abril de 2018]. Disponible en: https://www.internationaldayofradiology.com/app/uploads/2017/09/IDOR_2012_Story-of-Radiology_SPANISH.pdf
5. 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.
6. Brosed Serreta A, Ruíz Manzano P. Fundamentos de Física Médica Vol.2. Madrid. Adi servicios editoriales. 2012.
7. Alcaraz Baños M. Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico. 2ª ed. Murcia. Universidad de Murcia, Servicio de publicaciones. 2003.
8. Bhargavan M. Trends in the utilization of medical procedures that use ionizing radiation. Health Phys. 2008 Nov;95(5):612-27. PubMed PMID: 18849695.
9. 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.
10. Schenker MP, Martin R, Shyn PB, Baum RA. Interventional radiology and anesthesia. Anesthesiol Clin. 2009 Mar;27(1):87-94. PubMed PMID: 19361770.
11. ICRP, 2010. Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures Performed Outside the Imaging Department. ICRP Publication 117. Ann. ICRP 40(6).
12. Lipkin ME, Preminger GM. Imaging techniques for stone disease and methods for reducing radiation exposure. Urol Clin North Am. 2013; Feb;40(1):47-57. PubMed PMID: 23177634.

13. Bergonié J, Tribondeau L. De quelques résultats de la radiothérapie et essai de fixation d'une technique rationnelle. *Comptes-Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*. 1906;143:983-985.
14. 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.
15. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP* 37(2-4): 1-332.
16. 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 [acceso 2 abril de 2018]. Disponible en: <http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/radiacio.pdf>
17. 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.
18. Mole RH. Childhood cancer after prenatal exposure to diagnostic X-ray examinations in Britain. *Br J Cancer*. 1990;62(1):152-68.
19. Justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas. Real Decreto 815/2001 de 13 de julio. Boletín Oficial del Estado nº168, (14/07/2001).
20. 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).
21. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Boletín Oficial del Estado nº269, (10/11/1995).
22. Organismo Internacional de Energía Atómica. Colección de normas de seguridad del OIEA.[Internet]. Austria. Organismo Internacional de Energía Atómica; 2004. [acceso 26 abril de 2018]. Disponible en: [//www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1081s_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1081s_web.pdf)

23. Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear. Boletín Oficial del Estado, nº100, (24-04-1980).
24. Rubiera G, Arbizu R, Alzueta A, Agúndez JJ, Riera JR. La legibilidad de los documentos de consentimiento informado en los hospitales de Asturias. Gac Sanit [Internet].42 . 2004 Abr [citado 2018 Abr 26] ; 18(2): 153-158. Disponible http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112004000200012&lng=es.
25. Ley 41/2002, de 14 de noviembre, básica reguladora de la autonomía del paciente y de derechos y obligaciones en materia de información y documentación clínica. Boletín Oficial del Estado, nº 274, (15-11-2002).
26. Constitución Española. Boletín Oficial del Estado, nº 311, (29-12-1978).
27. Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad. Boletín Oficial del Estado, nº 102, (29-4-1986).
28. Ley 3/2009, de 11 de Mayo, de los derechos y deberes de los usuarios del sistema sanitario de la Región de Murcia.Boletín Oficial del Estado, nº34, (9-2-2011).
29. Consejo General de Colegios Oficiales de Médicos. Código de Deontología médica. Guía de Ética médica. Madrid: Organización Médica Colegial; 2011.
30. Franco Grande A, Álvarez Escudero J, Cortés Laíño J. Historia de la anestesia en España, 1847-1940. Arán Ediciones. 2005.
31. Butterworth JF, Mackey DC, Wasnick JD, Morgan GE, Mikhail MS. Anestesiología clínica de Morgan y Mikhail. 5ª ed. Manual moderno. 2014.
32. Martínez Hernández A. Historia de la Anestesiología murciana.Murcia. Diego Marín Editores. 2013.
33. Hernández García JM, Vidal Marcos A, Gasco García C. A survey on the use of fluoroscopy in the treatment of pain: do we perform it correctly?. Rev Esp Anestesiol Reanim. 2012; 59(8):430-5. PubMed PMID: 22824536.
34. ICRP, 2009. Education and Training in Radiological Protection for Diagnostic and Interventional Procedures. ICRP Publication 113. Ann. ICRP 39 (5).
35. NCRP. Ionizing radiation exposure of the population of the United States. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP Report N°. 160; 2009.

36. Rajaraman P, Doody MM, Yu CL, Preston DL, Miller JS, Sigurdson AJ, Freedman DM, Alexander BH, Little MP, Miller DL, Linet MS. Cancer Risks in U.S. Radiologic Technologists Working With Fluoroscopically Guided Interventional Procedures,1994-2008. *AJR Am J Roentgenol.* 2016 May;206(5):1101-8; quiz 1109. PubMed PMID: 26998721.
37. Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A, Kasagi F, Soda M, Grant EJ, Sakata R, Sugiyama H, Kodama K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14,1950-2003: an overview of cancer and noncancer diseases. *Radiat Res.* 2012 Mar;177(3):229-43. PubMed PMID: 22171960.
38. Little MP. Risks associated with ionizing radiation. *Br Med Bull.*2003;68:259-75. Review. PubMed PMID: 14757722.
39. Durán A, Hian SK, Miller DL, Le Heron J, Padovani R, Vano E. A summary of recommendations for occupational radiation protection in interventional cardiology. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2013 Feb;81(3):562-7. PubMed PMID: 22718285.
40. Kitahara CM, Preston DL, Neta G, Little MP, Doody MM, Simon SL, Sigurdson AJ, Alexander BH, Linet MS. Occupational radiation exposure and thyroid cancer incidence in a cohort of U.S. radiologic technologists, 1983-2013. *Int J Cancer.* 2018 Jan 22. PubMed PMID: 29355960.
41. Chintapalli KN, Montgomery RS, Hatab M, Katabathina VS, Guiy K. Radiation dose management: part 1, minimizing radiation dose in CT-guided procedures. *AJR Am J Roentgenol.* 2012 Apr;198(4):W347-51 PubMed PMID: 22451571.
42. Ko S, Chung HH, Cho SB, Jin YW, Kim KP, Ha M, Bang YJ, Ha YW, Lee WJ. Occupational radiation exposure and its health effects on interventional medical workers: study protocol for a prospective cohort study. *BMJ Open.* 2017 Dec 15;7(12):e018333. PubMed PMID: 29248885.
43. Wang RR, Kumar AH, Tanaka P, Macario A. Occupational Radiation Exposure of Anesthesia Providers: A Summary of Key Learning Points and Resident-Led Radiation Safety Projects. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* 2017 Jun;21(2):165-171. PubMed PMID: 28190371.

44. Tunçer N, Kuyucu E, Sayar Ş, Polat G, Erdil İ, Tuncay İ. Orthopedic surgeons' knowledge regarding risk of radiation exposition: a survey analysis. *SICOT J*. 2017;3:29. doi: 10.1051/sicotj/2017008. Epub 2017 Apr 7. PubMed PMID: 28387195.
45. Carvajal A., Centeno C., Watson R., Martínez M., Sanz Rubiales Á.. ¿Cómo validar un instrumento de medida de la salud?. *Anales Sis San Navarra [Internet]*. 2011 Abr [citado 2018 Abr 24] ; 34(1): 63-72. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272011000100007&lng=es.
46. Lacave Rodero C, Molina Díaz AI, Fernández Guerrero M, Redondo Duque MA. Análisis de la fiabilidad y validez de un cuestionario docente. En: Libro de ponencias: XXI Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática. Andorra La Vella. 2015. p. 136-143.
47. Cullings HM. Impact on the Japanese atomic bomb survivors of radiation received from the bombs. *Health Phys*. 2014 Feb;106(2):281-93. PubMed PMID: 24378504.
48. Horai M, Satoh S, Matsuo M, Iwanaga M, Horio K, Jo T, Takasaki Y, Kawaguchi Y, Tsushima H, Yoshida S, Taguchi M, Itonaga H, Sawayama Y, Taguchi J, Imaizumi Y, Hata T, Moriuchi Y, Haase D, Yoshiura KI, Miyazaki Y. Chromosomal analysis of myelodysplastic syndromes among atomic bomb survivors in Nagasaki. *Br J Haematol*. 2018 Feb;180(3):381-390. PubMed PMID: 29265181.
49. Finkelstein MM. Is brain cancer an occupational disease of cardiologists? *Can J Cardiol*. 1998. Nov;14(11):1385-8. PubMed PMID: 9854520.
50. Hardell L, Mild KH, Pahlson A, Hallquist A. Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev*. 2001 Dec;10(6):523-9. PubMed PMID: 11916351.
51. Eagan JT Jr, Jones CT. Cutaneous cancers in an interventional cardiologist: a cautionary tale. *J Interv Cardiol*. 2011 Feb;24(1):49-55. PubMed PMID: 21114530.
52. Ait-Ali L, Andreassi MG, Foffa I, Spadoni I, Vano E, Picano E. Cumulative patient effective dose and acute radiation-induced chromosomal DNA damage in children with congenital heart disease. *Heart*. 2010 Feb;96(4):269-74. PubMed PMID: 19687017.

53. Rajaraman P, Doody MM, Yu CL, Preston DL, Miller JS, Sigurdson AJ, Freedman DM, Alexander BH, Little MP, Miller DL, Linet MS. Incidence and mortality risks for circulatory diseases in US radiologic technologists who worked with fluoroscopically guided interventional procedures, 1994-2008. *Occup Environ Med.* 2016 Jan;73(1):21-7. PubMed PMID: 26350678.
54. Roguin A, Goldstein J, Bar O, Goldstein JA. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures. *Am J Cardiol.* 2013 May 1;111(9):1368-72. PubMed PMID: 23419190.
55. Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, Wagner LK. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 1, characteristics of radiation injury. *AJR Am J Roentgenol.* 2001 Jul;177(1):3-11. PubMed PMID: 11418388.
56. 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.
57. 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.
58. 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.
59. Jacob S, Boveda S, Bar O, Brézin A, Maccia C, Laurier D, Bernier MO. Interventional cardiologists and risk of radiation-induced cataract: results of a French multicenter observational study. *Int J Cardiol.* 2013 Sep 1;167(5):1843-7. PubMed PMID: 22608271.
60. Jacob S, Donadille L, Maccia C, Bar O, Boveda S, Laurier D, Bernier MO. Eye lens radiation exposure to interventional cardiologists: a retrospective assessment of cumulative doses. *Radiat Prot Dosimetry.* 2013 Mar;153(3):282-93. PubMed PMID: 22764175.
61. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D, Cabrera M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res.* 2010 Oct;174(4):490-5. PubMed PMID: 20726724.

-
62. Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH, Liew HB, Vano E, Kleiman NJ. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter Cardiovasc Interv.* 2010 Nov 15;76(6):826-34. PubMed PMID: 20549683.
63. Andreassi MG, Foffa I, Manfredi S, Botto N, Cioppa A, Picano E. Genetic polymorphisms in XRCC1, OGG1, APE1 and XRCC3 DNA repair genes, ionizing radiation exposure and chromosomal DNA damage in interventional cardiologists. *Mutat Res.* 2009 Jun 18;666(1-2):57-63. PubMed PMID: 19393248.
64. Borghini A, Gianicolo EA, Picano E, Andreassi MG. Ionizing radiation and atherosclerosis: current knowledge and future challenges. *Atherosclerosis.* 2013 Sep;230(1):40-7. Review. PubMed PMID: 23958250.
65. Linet MS, Kitahara CM, Ntowe E, Kleinerman RA, Gilbert ES, Naito N, Lipner RS, Miller DL, Berrington de Gonzalez A; Multi-Specialty Occupational Health Group. Mortality in U.S. Physicians Likely to Perform Fluoroscopy-guided Interventional Procedures Compared with Psychiatrists, 1979 to 2008. *Radiology.* 2017 Aug;284(2):482-494. PubMed PMID: 28234559.
66. Vaes B, Van Keer K, Struelens L, Schoonjans W, Nijs I, Vandevenne J, Van Poucke S. Eye lens dosimetry in anesthesiology: a prospective study. *J Clin Monit Comput.* 2017 Apr;31(2):303-308. PubMed PMID: 26961500.
67. Rhea EB, Rogers TH, Riehl JT. Radiation safety for anaesthesia providers in the orthopaedic operating room. *Anaesthesia.* 2016 Apr;71(4):455-61. Review. PubMed PMID: 26874074.
68. Dagal A. Radiation safety for anesthesiologists. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2011 Aug;24(4):445-50. Review. PubMed PMID: 21577097.
69. 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. PubMed PMID: 15843947.
70. Synowitz M, Kiwit J. Surgeon's radiation exposure during percutaneous vertebroplasty. *J Neurosurg Spine.* 2006 Feb;4(2):106-9. PubMed PMID: 16506476.
71. Back DL, Hilton AI, Briggs TW, Scott J, Burns M, Warren P. Radiation protection for your hands. *Injury.* 2005 Dec;36(12):1416-20. PubMed PMID: 16051240.

72. 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. PubMed PMID: [19329511](#).
73. Mettler FA Jr, Koenig TR, Wagner LK, Kelsey CA. Radiation injuries after fluoroscopic procedures. *Semin Ultrasound CT MR*. 2002 Oct;23(5):428-42. Review. PubMed PMID: 12509113.
74. Fernandez Soto JM, Vano E, Guibelalde E. Spanish experience in education and training in radiation protection in medicine. *Radiat Prot Dosimetry*. 2011 Sep;147(1-2):338-42. doi: 10.1093/rpd/ncr349. Epub 2011 Aug 4. PubMed PMID: 21821615.
75. Gendelberg D, Hennrikus W, Slough J, Armstrong D, King S. A Radiation Safety Training Program Results in Reduced Radiation Exposure for Orthopaedic Residents Using the Mini C-arm. *Clin Orthop Relat Res*. 2016 Feb;474(2):580-4. PubMed PMID: 26566977.
76. Sadigh G, Khan R, Kassin MT, Applegate KE. Radiation safety knowledge and perceptions among residents: a potential improvement opportunity for graduate medical education in the United States. *Acad Radiol*. 2014 Jul;21(7):869-78. PubMed PMID: 24713540.
77. Friedman AA, Ghani KR, Peabody JO, Jackson A, Trinh QD, Elder JS. Radiation safety knowledge and practices among urology residents and fellows: results of a nationwide survey. *J Surg Educ*. 2013 Mar-Apr;70(2):224-31. PubMed PMID: 23427968.
78. Aliasgharzadeh A, Mihandoost E, Mohseni M. A survey of computed tomography dose index and dose length product level in usual computed tomography protocol. *J Cancer Res Ther*. 2018 Apr-Jun;14(3):549-552. PubMed PMID: 29893314.
79. Thorby-Lister A, Högler W, Hodgson K, Crabtree N, Nightingale P, Shaw N, Saraff V. Cumulative radiation exposure from medical imaging and associated lifetime cancer risk in children with osteogenesis imperfecta. *Bone*. 2018 Jun 27. PubMed PMID: 29960081.
80. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, Howe NL, Ronckers CM, Rajaraman P, Sir Craft AW, Parker L, Berrington de González A. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain

- tumours: a retrospective cohort study. *Lancet*. 2012 Aug 4;380(9840):499-505. PubMed PMID: 22681860.
81. Vano E. Mandatory radiation safety training for interventionalists: the European perspective. *Tech Vasc Interv Radiol*. 2010 Sep;13(3):200-3. PubMed PMID: 20723837.
82. Ionizing Radiation in Cardiovascular Imaging-Best Practices for Safety and Effectiveness, Part 2: Radiological Equipment Operation, Dose-Sparing Methodologies, Patient and Medical Personnel Protection: A Report of the American College of Cardiology Task Force on Expert Consensus Decision Pathways. *J Am Coll Cardiol*. 2018 Jun 19;71(24):2829-2855. PubMed PMID: 29729878.
83. Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal. Ley 15/1999 de 13 de diciembre. *Boletín Oficial del Estado*, nº298, (14-12-1999).
84. LEY 14/2007, de 3 de julio, de Investigación biomédica. *Boletín Oficial del Estado*, nº159, (04-07-2007).

ANEXOS

ANEXO I: CRONOGRAMA

El trabajo ha sido desarrollado durante tres años, con fecha de inicio en octubre de 2015 y fecha de finalización en Junio de 2018, aunque si bien es cierto, la idea inicial nació durante la realización del trabajo fin de máster del programa de postgrado titulado “Anatomía aplicada a la clínica” que ofrece la Universidad de Murcia.

CRONOGRAMA	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Revisión bibliográfica ✓ Identificación del problema y enfoque del tema 	Octubre-Diciembre 2015
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elaboración del proyecto ✓ Elaboración del primer borrador del cuestionario ✓ Inicio del proceso de validación ✓ Aplicación piloto 	Enero-Marzo 2016
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elaboración y validación del cuestionario definitivo ✓ Contacto con los Jefes de Servicio de de los servicios médicos implicados 	Abril 2016-Febrero 2017
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sesiones informativas del estudio ✓ Inicio de la recogida de datos: entrega de las encuestas y recogida de las mismas en los nueve centros 	Marzo-Septiembre 2017
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Codificación y análisis de los datos ✓ Actualización de la revisión bibliográfica 	Octubre 2017-Febrero 2018
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Análisis, interpretación y redacción de los resultados 	Marzo-Mayo2018
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Corrección, finalización y entrega ✓ Autorización para la defensa y lectura 	Junio-Julio 2018

Tabla 52: Cronograma

ANEXO II: ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una revisión exhaustiva de las publicaciones, revisiones sistemáticas o estudios científicos, relacionados con el tema a estudio. Se llevó a cabo a su vez una revisión de las guías y normativas publicadas por los organismos nacionales e internacionales encargados de la regulación en materia de protección radiológica como son la *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*, de la *International Atomic Energy Agency (IAEA)* o el *National Council on Radiation Protection*.

- Estrategia de búsqueda: la búsqueda se llevó a cabo en PudMed, Up To Date, Cochrane y Teseo. Los descriptores más empleados fueron: *Ionizing radiation, occupational exposure, fluoroscopy, radiation safety, medical education, anesthesiology*. No se hicieron restricciones por fecha ni por tipo de estudio.
- Extracción de datos: se aplicó un primer filtro de selección sobre la bibliografía encontrada mediante la revisión de los *abstracts*. Se seleccionaron todos aquellos artículos y estudios que contenían información relacionada con nuestro objetivo, descartándose el resto de trabajos publicados.
- Análisis de datos: la información recabada tras ser analizada se estructuró en subapartados según los objetivos establecidos previamente y se extrajeron datos de las diferentes variables a estudio.

ANEXO III: ASPECTOS ÉTICOS Y LEGALES

La investigadora principal se adhirió al Código de Buenas Prácticas de Investigación de la Universidad de Murcia, el cual contiene una serie de recomendaciones enfocadas a garantizar la adecuación de la investigación realizada en la Universidad de Murcia basadas en la normativa ética y legal vigente.

En cada cuestionario se incluyó una primera hoja explicativa del estudio donde se destacaba la finalidad del mismo, su anonimato y confidencialidad.

Los cuestionarios fueron codificados e identificados numéricamente sin contener datos personales.

El tratamiento de los datos obtenidos del estudio se realizó conforme a la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de datos de carácter personal⁸³.

Otras normas de aplicación en investigación biomédica y que se siguieron en el presente estudio son:

- Real Decreto 1720/2007, de 21 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de protección de datos de carácter personal.
- LEY 14/2007, de 3 de julio, de Investigación biomédica⁸⁴.

ANEXO IV: CUESTIONARIO

Hoja informativa del estudio

“ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS HÁBITOS DE SEGURIDAD EN RADIOPROTECCIÓN DEL PERSONAL SANITARIO QUIRÚRGICO”

Servicio de Anestesiología y Reanimación.
Hospital General Universitario Reina Sofía de Murcia.

La mayoría de las personas pasamos una gran parte de nuestro tiempo trabajando, de modo que las condiciones de trabajo y el trabajo en sí mismo tienen gran importancia en nuestra vida. El objetivo del cuestionario es conocer algunas de estas cuestiones para tratar de mejorarlas.

La mayoría de preguntas que le formulamos se contestan escogiendo entre las alternativas de respuesta que le proponemos. Usted debe escoger aquella que crea que más se ajusta a su caso particular. Para indicar su contestación debe marcar la casilla correspondiente X.

Las pruebas que hemos realizado indican que el tiempo estimado en contestar el protocolo oscila entre 5 y 10 minutos. El presente Protocolo de Investigación ha sido elaborado en el marco de un proyecto de investigación del Servicio de Anestesiología y Reanimación con la colaboración de la Unidad de Apoyo a la Investigación del **HGURS de Murcia y la Universidad de Murcia**.

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN SOBRE HÁBITOS DE SEGURIDAD EN RADIOPROTECCIÓN DEL PERSONAL SANITARIO QUIRÚRGICO

Con esta encuesta se pretende evaluar las prácticas del personal sanitario del área quirúrgica en el uso de fluoroscopia en procedimientos quirúrgicos. Se recuerda que esta encuesta es totalmente anónima.

A. BLOQUE DEMOGRÁFICO

1. Edad _____

2. Sexo

a) Masculino

b) Femenino

3.Ámbito profesional

a) Anestesiología

b) Traumatología

c) Cirugía general

d) Aparato Digestivo

e) Urología

f) Cardiología

g) Medicina intensiva

h) Enfermería

i) Auxiliar

j) Otros: _____

4. Años de experiencia ejerciendo en el área quirúrgica (incluyendo la residencia en el caso de los MIR): _____

B. DESCRIPTIVA

5. ¿Tiene la acreditación correspondiente del Consejo de Seguridad Nuclear para utilizar instalaciones?
 - a) No
 - b) Si

6. ¿Qué número de procedimientos con fluoroscopia hace por semana aproximadamente?

7. Realiza los procedimientos de fluoroscopia en:
 - a) Solo quirófano
 - b) Solo sala de intervencionismo en procesos endoscópicos
 - c) Ambos

8. ¿Ha tenido preparación específica en el manejo del fluoroscopio durante su formación?
 - a) No
 - b) Si

9. ¿Quién le ha proporcionado dicha formación? (no excluyente)
 - a) Los propios compañeros del quirófano
 - b) El servicio técnico del fabricante
 - c) Cursos oficiales de formación: Plan transversal del residente (PTCR), etc.

C. PROTECCIÓN PARA EL TERAPEUTA

10. ¿A qué distancia se mantiene del aparato de Radiología?
 - a) Menor o igual a 0,5 m
 - b) 1 m

- c) 1,5 m
- d) Mayor o igual a 2 m

11. ¿Lleva control del tiempo de fluoroscopia?

- a) No
- b) Algunas veces
- c) Casi siempre
- d) Siempre

12. ¿Utiliza gafas con protección?

- a) No
- b) Algunas veces
- c) Casi siempre
- d) Siempre

13. ¿Utiliza guantes con protección?

- a) No
- b) Algunas veces
- c) Casi siempre
- d) Siempre

14. ¿Utiliza la imagen continua?

- a) No
- b) Algunas veces
- c) Casi siempre
- d) Siempre

15. ¿Utiliza la colimación de forma habitual?

- a) No
- b) Algunas veces
- c) Casi siempre
- d) Siempre
- e) Lo desconozco

16. ¿Lleva dosímetro?

- a) No
- b) Algunas veces
- c) Casi siempre
- d) Siempre

17. En caso afirmativo, ¿Dónde lo lleva colocado?_____

18. ¿Hace seguimiento de los valores obtenidos?

- a) No
- b) Algunas veces
- c) Casi siempre
- d) Siempre

19. ¿Ha tenido usted algún incidente relacionado con la radiación?

- a) No

b) Si

D. INFORMACIÓN Y PROTECCIÓN AL PACIENTE

20. ¿Explica a los pacientes los riesgos de la radiación?

a) No

b) Algunas veces

c) Casi siempre

d) Siempre

21. ¿Tiene incluido en el consentimiento los riesgos de la radiación?

a) No

b) Si

c) Lo desconozco

22. ¿Protege a los pacientes cuando utiliza fluoroscopia?

a) No

b) Algunas veces

c) Casi siempre

d) Siempre

23. ¿Ha tenido algún incidente relacionado con la radiación en sus pacientes?

a) No

b) Si

