

DOCUMENTO DE GUÍA DE PRÁCTICA CLÍNICA

Elección del editor - Sociedad Europea de Cirugía Vascul (ESVS) 2023 Clínica

Directrices prácticas sobre seguridad radiológica⁵

Bijan Modarai ^{a,*}, Stéphan Haulon ^a, Elizabeth Ainsbury ^a, Dittmar Böckler ^a, Eliseo Vano Carruana ^a, José Dawson ^a, Marcos Farber ^a, Isabelle Van Herzele ^a, Adrien Hertault ^a, Joost van Herwaarden ^a, ashish patel ^a, Anders Wanhainen ^a, Salomé Weiss ^a

Comité de Directrices de ^b, Frederico Bastos Gonçalves, Martin Björck, Nabil Chakfé, Gert J. de Borst, Raphaël Coscas, Nuno V. Dias, Florian Dick, ESVS Robert J. Hinchliffe, Stavros K. Kakkos, Igor B. Koncar, Philippe Kolh, Jes S. Lindholt, Santi Trimarchi, Riikka Tulamo, Christopher P. Twine, Frank Vermassen

Revisores de documentos ^c, Klaus Bacher, Elías Brountzos, Fabrizio Fanelli, Liliana A. Fidalgo Domingos, Mauro Gargiulo, Kevin Mani, Tara M. Mastracci, Blandine Maurel, Robert A. Morgan, Peter Schneider

TABLA DE CONTENIDO

Glosario	173
Lista de abreviaciones	174
1. Introducción y aspectos generales	175
1.1. La necesidad de directrices de protección radiológica	175
1.2. Metodología	175
1.2.1. Estrategia	175
1.2.2. Búsqueda y selección de literatura	175
1.2.3. Sopesando las pruebas	175
1.2.4. Colaboradores de la directriz	176
1.3. La perspectiva del paciente y del público	176
1.3.1. Antecedentes y objetivos	176
1.3.2. Comentarios de las partes interesadas	176
1.3.3. Responsabilidades del operador endovascular de justificar y explicar la exposición a la radiación a los pacientes	177
1.4. Resumen en lenguaje sencillo	178
2. Medición de la exposición a la radiación y los riesgos asociados a la exposición	178
2.1. Exposición a la radiación durante procedimientos guiados por rayos X	178
2.2. Parámetros dosimétricos	178
2.2.1. Parámetros de dosis directa	178
2.2.2. Parámetros de dosis indirectas	178
2.3. Literatura existente que informa sobre la exposición a la radiación durante procedimientos endovasculares	179
2.4. Niveles de referencia de diagnóstico	180
2.5. Riesgo biológico relacionado con la exposición a la radiación	182
2.5.1. Efectos estocásticos y deterministas de la exposición a la radiación	182
2.5.1.1. Estimadores de riesgos estocásticos	182
2.5.1.2. Estimadores de riesgos deterministas	182
2.5.2. La respuesta biológica a la exposición a la radiación	183
2.5.3. Biomarcadores de exposición a la radiación	183
2.5.4. Riesgos asociados a la exposición ocupacional a la radiación de los pacientes	183
2.5.5. Riesgos asociados a la exposición ocupacional a la radiación de los operadores	184
3. Legislación sobre límites de exposición de trabajadores expuestos a radiaciones	184
3.1. Marco para la legislación sobre seguridad radiológica	184
3.2. Legislación actual que define los límites seguros de exposición a la radiación	185

⁵ Para obtener una lista completa de las afiliaciones de los autores, consulte el Apéndice B.

^a Comité de redacción: Bijan Modarai (Londres, Reino Unido, presidente), Stéphan Haulon (París, Francia, copresidente), Adrien Hertault (Villeneuve d'Ascq, Francia), Anders Wanhainen (Uppsala, Suecia), Ashish Patel (Londres, Reino Unido), Dittmar Böckler (Heidelberg, Alemania), Eliseo Vano (Madrid, España), Elizabeth Ainsbury (Londres, Reino Unido), Isabelle Van Herzele (Gante, Bélgica), Joost van Herwaarden (Utrecht, Países Bajos), Joseph Dawson (Australia del Sur, Australia), Mark Farber (Chapel Hill, Carolina del Norte, EE. UU.), Salomé Weiss (Berna, Suiza).

^b Comité de Directrices ESVS: Frederico Bastos Gonçalves (Lisboa, Portugal), Martin Björck (Uppsala, Suecia), Nabil Chakfé (Estrasburgo, Francia), Gert J. de Borst, (Utrecht, Países Bajos), Raphaël Coscas (Versalles, Francia), Nuno V. Dias (Malmö, Suecia), Florian Dick (Berna, Suiza), Robert J. Hinchliffe (Bristol, Reino Unido), Stavros K. Kakkos (Patras, Grecia), Igor B. Koncar (Belgrado, Serbia), Philippe Kolh (Lieja, Bélgica), Jes S. Lindholt (Odense, Dinamarca), Santi Trimarchi (Milán, Italia), Riikka Tulamo (Helsinki, Finlandia), Christopher P. Twine (Bristol, Reino Unido), Frank Vermassen (Gante, Bélgica, Coordinador de revisión).

^c Revisores de documentos: Klaus Bacher (Gante, Bélgica), Elías Brountzos (Atenas, Grecia), Fabrizio Fanelli (Florencia, Italia), Liliana A. Fidalgo Domingos (Faro, Portugal), Mauro Gargiulo (Bologna, Italia), Kevin Mani (Uppsala, Suecia), Tara M. Mastracci (Londres, Reino Unido), Blandine Maurel (Nantes, Francia), Robert A. Morgan (Londres, Reino Unido), Peter Schneider (San Francisco, CA, EE. UU.).

* Autor correspondiente: Bijan Modarai Departamento Académico de Cirugía Vascul, Facultad de Medicina y Ciencias Cardiovasculares y Metabólicas, Centro BHF de Excelencia y el Centro de Investigación Biomédica de Guy's & St Thomas' NHS Foundation Trust y King's College London, Reino Unido.

Dirección de correo electrónico: bjian.modarai@kcl.ac.uk (Bijan Modarai).

1078-5884/ 2022 El(los) Autor(es). Publicado por Elsevier BV en nombre de la Sociedad Europea de Cirugía Vascul. Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia CC BY.

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2022.09.005>

3.3. Embarazo y exposición a la radiación	186
4. Medición, seguimiento y notificación de la exposición a la radiación ocupacional.	187
4.1. Antecedentes e introducción.....	187
4.2. Monitoreo de la exposición a la radiación durante intervenciones endovasculares	187
4.3. Dispositivos personales de monitorización de la exposición a la radiación	188
4.4. Monitoreo y notificación de dosis de radiación ocupacional	188
4.5. Inexactitud e incertidumbre asociadas a la dosimetría personal.	189
5. Prácticas de seguridad radiológica en el quirófano endovascular.	189
5.1. El principio "tan bajo como sea razonablemente posible" (ALARA).	189
5.2. Minimizar la radiación emitida por el arco en C.	189
5.3. Ajustes de dosis bajas	190
5.3.1. Tiempo de fluoroscopia y retención de la última imagen.	190
5.3.2. Ajustes de dosis y control automático de brillo.	190
5.3.3. Fluoroscopia y frecuencia del pulso.	190
5.3.4. Angiografía por sustracción digital y velocidad de fotogramas.	191
5.4. Colimación	191
5.5. Eliminación de rejilla antidispersión.	192
5.6. Hardware y software de reducción de dosis	192
5.6.1. Hardware y software avanzados de reducción de dosis.	192
5.6.2. Software de planificación preoperatoria.	193
5.6.3. Software de fusión de imágenes 3D.	193
5.6.4. Detectores e intensificadores de imágenes.	193
5.6.4.1. Intensificadores de imagen y detectores de pantalla plana.	193
5.6.4.2. Uso óptimo de detectores de panel plano para minimizar la dosis de radiación.	193
5.7. Ampliación	194
5.7.1. Ampliación convencional.	194
5.7.2. Zoom digital	195
5.8. Informes de dosis de máquinas de rayos X modernas.	195
5.9. Mantenimiento	195
5.10. Quirófanos endovasculares: suites híbridas y plataformas intervencionistas	195
5.10.1. Arcos en C móviles.	195
5.10.2. Arcos en C fijos y suites híbridas.	195
5.10.3. Parámetros de imagen controlados por el operador.	196
5.11. Posición alrededor del paciente.....	196
5.11.1. Geometría de la cadena de imágenes.	196
5.11.2. Angulación del pórtico.	196
5.11.3. La ley del cuadrado inverso y el alejamiento.	198
5.11.4. Colocación alrededor de la mesa.	198
6. Equipos de protección radiológica en el quirófano endovascular.	199
6.1. Introducción	199
6.2. Dispositivos de protección personal	199
6.2.1. Delantales usables.	199
6.2.2. Collarín tiroideo.	200
6.2.3. Escudos para las piernas.	201
6.2.4. Gafas y viseras.	201
6.2.5. Escudos de mano.	201
6.2.6. Escudos para la cabeza.	203
6.3. Otros equipos de protección radiológica	203
6.3.1. Sistemas suspendidos de protección radiológica personal.	203
6.3.2. Blindaje protector contra la radiación encima y debajo de la mesa.	203
6.3.3. Paños de protección radiológica para pacientes.	205
7. Educación y formación en protección radiológica.	205
7.1. Introducción	205
7.2. Impartición de educación y formación en protección radiológica	206
7.3. Cursos teóricos	206
7.4. Entrenamiento practico	206
7.5. Momento oportuno para impartir educación y capacitación en protección radiológica	207
8. Tecnologías futuras y lagunas en la evidencia	208
8.1. Nuevas tecnologías	208
8.1.1. Navegación tridimensional (3D).	208
8.1.2. Seguimiento robótico.	209
8.1.3. Inteligencia artificial	209
8.2. Lagunas en la práctica y la evidencia	209
8.2.1. Armonización global de las prácticas de seguridad radiológica.	209
8.2.2. Niveles de referencia de dosis de radiación.	210
8.2.3. Personal embarazada en el quirófano endovascular.	210
8.2.4. Correlatos biológicos de la exposición a la radiación.	210
8.2.5. El valor de la dosimetría en tiempo real.	210
8.2.6. Control del operador del equipo de arco en C.	210
8.2.7. Equipo de protección personal	210
8.2.8. Educación y entrenamiento	211

Agradecimientos	211
Dato suplementario	211
Referencias	212

GLOSARIO

Dosis absorbida: Energía media impartida a la materia de masa por la radiación ionizante. La unidad SI para la dosis absorbida es julio por kilogramo y generalmente se indica en Gray (Gy).

A menudo se citan las dosis absorbidas por los órganos.

Kerma en aire (AK): Cociente de la suma de las energías cinéticas de todas las partículas cargadas liberadas por las partículas descargadas en una masa, dm, de aire. La AK se mide o calcula en un punto de referencia a 15 cm del isocentro en la dirección del punto focal acumulado de todo un procedimiento guiado por rayos X.

Producto de área de kerma en aire (KAP, o producto de área de dosis, DAP): El KAP es la integral del kerma en aire libre en el aire (es decir, en ausencia de retrodispersión) sobre el área del haz de rayos X en un plano perpendicular al haz. eje (generalmente medido en Gy.cm²). La ICRP ahora recomienda referirse a esos valores como producto de área aire-aire-kerma (PKA).

Arco en C: sistema de rayos X fijo o móvil que se utiliza para diagnóstico por imágenes y para guía fluoroscópica durante procedimientos mínimamente invasivos. El nombre C-arm se deriva del brazo en forma de C que conecta y mantiene fijos en el espacio la fuente de rayos X y el detector de rayos X.

Colimación: El proceso de dar forma al haz de rayos X para minimizar el tamaño del campo de radiación al área de interés requerida utilizando aberturas metálicas dentro de la fuente de rayos X.

Angiografía por tomografía computarizada (ATC): la combinación de imágenes transversales de tomografía computarizada con contraste intravenoso para visualizar la anatomía y patología arterial.

Tomografía computarizada de haz cónico (CBCT): una modalidad, disponible en los quirófanos endovasculares modernos, que permite la adquisición rotacional y proporciona imágenes transversales del paciente mientras aún está en la mesa de operaciones.

Efectos deterministas: Los efectos deterministas de la exposición a la radiación están relacionados con una dosis umbral de exposición a la radiación por encima de la cual la gravedad de la lesión aumenta al aumentar la dosis. Los efectos deterministas incluyen reacciones tisulares dañinas y disfunción de órganos que resultan de la muerte celular inducida por la radiación, por ejemplo, lesiones cutáneas y opacidades del cristalino.

Niveles de referencia de diagnóstico (DRL): se utilizan para imágenes médicas con radiación ionizante para indicar si, en condiciones de rutina, la dosis de radiación del paciente para un procedimiento específico es inusualmente alta o baja para ese procedimiento. Los valores de DRL generalmente se definen como el tercer cuartil de la distribución de los valores medianos de la cantidad de DRL apropiada observada en cada centro de atención médica.

Angiografía por sustracción digital (DSA): la adquisición de múltiples imágenes en sucesión dentro de un campo de visión, con la subsiguiente sustracción digital de las imágenes tomadas antes de

inyección de contraste, dejando una imagen mejorada con contraste de los vasos y eliminando estructuras no vasculares como el hueso.

Dosis efectiva: La suma ponderada por tejido de las dosis equivalentes en todos los tejidos y órganos especificados del cuerpo, calculada en Sieverts (Sv).

Operador endovascular: Cualquier persona que realiza un procedimiento guiado por rayos X sobre la vasculatura.

Quirófano endovascular: cualquier entorno donde se llevan a cabo procedimientos endovasculares guiados por rayos X utilizando un arco en C como parte de un sistema de imágenes fijo o móvil.

Procedimiento endovascular: cualquier procedimiento en la vasculatura que utiliza guía de rayos X.

Dosis de entrada en la piel (ESD): la dosis absorbida por la piel en el punto de entrada del haz de rayos X medida en Gy. Esto incluye la radiación dispersada hacia atrás por el paciente.

Dosis equivalente: La dosis equivalente es la dosis media absorbida en un tejido u órgano multiplicada por el factor de ponderación de la radiación. Este factor de ponderación es 1 para los rayos X. La dosis equivalente se mide en Sieverts (Sv).

Directiva Europea sobre Normas Básicas de Seguridad (EBSS): Describe las normas de protección contra los riesgos asociados con la exposición a radiaciones ionizantes, incluidos materiales radiactivos y fuentes de radiación naturales, y también la preparación para la gestión de situaciones de exposición de emergencia en la Unión Europea. Esta es una directiva del Consejo Europeo.

Filtración: Los materiales de la ventana del tubo de rayos X y cualquier filtro permanente, variable o ajustable que atenúe predominantemente los rayos X de baja energía en el haz.

Tiempo de fluoroscopia: el tiempo acumulado dedicado al uso de fluoroscopia durante un procedimiento endovascular.

Gray (Gy): Unidad de dosis de radiación absorbida utilizada para evaluar la cantidad de energía transferida a la materia. Un Gy equivale a 1 julio/kg.

Intensificador de imagen: este componente de un sistema de imágenes se basa en el hecho de que cuando los rayos X se absorben en una pantalla de fósforo, se convierten en fotones de luz. Estos fotones inciden sobre un fotocátodo que emite electrones en proporción al número de rayos X incidentes. Luego, estos fotoelectrones se aceleran a través del vacío en un intensificador de imágenes para producir una imagen de luz amplificada.

Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP): Organización internacional independiente que promueve para el beneficio público la ciencia de la protección radiológica, en particular proporcionando recomendaciones y orientación sobre todos los aspectos de la protección contra la radiación ionizante.

Experto en física médica (MPE): una persona o, si así lo dispone la legislación nacional, un grupo de personas, que tienen la

conocimientos, formación y experiencia para actuar o asesorar en cuestiones relativas a la física de las radiaciones aplicadas a la medicina exposición, cuya competencia a este respecto está reconocida por la autoridad competente.

Dosis cutánea máxima (PSD): la dosis administrada tanto por el haz primario y radiación dispersa, en el punto más irradiado zona de la piel.

Frecuencia de pulso: el número de pulsos de radiación por segundo.

Trabajador expuesto a la radiación: Mayores de 18 años. que pueden estar en riesgo de recibir dosis de radiación superiores a

LISTA DE ABREVIACIONES

2D	2 dimensiones
3D-SI	Fusión de imágenes tridimensionales
AI	Inteligencia artificial
FIA	Fluoroscopia de inteligencia artificial
ALARA	Tan bajo como sea razonablemente posible
Alaska	Kerma en el aire
A B C	Control automático de brillo
AEC	Control automático de exposición
AP	Anterior posterior
APD	Dosímetro personal activo
CAK	Kerma en aire acumulativo
CBCT	Tomografía computarizada de haz cónico
Comodidad	Tomografía computarizada
Comodidad	Angiografía por tomografía computarizada
SALTO	Dosis Área Producto
DICOM	Imagen Digital y Comunicaciones en Medicamento
ADN	Ácido desoxirribonucleico
DQE	Eficiencia cuántica detectivesca
DRL	Nivel de referencia de diagnóstico
DSA	Angiografía por sustracción digital
mi	Dosis efectiva
EBSS	Directiva europea sobre normas básicas de seguridad
EJVES	Revista Europea de Cirugía Vascul y Endovascular
EM	Electromagnético
ENS	Sistema de navegación endovascular
ESC	Sociedad Europea de Cardiología
ESD	Dosis cutánea de entrada
ESV	Sociedad Europea de Cirugía Vascul
UE	unión Europea
EVST	Cirujanos vasculares europeos en formación
eV	electrón voltio
EVAR	Reparación endovascular de la aorta
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU.
FÉVAR	Reparación aórtica endovascular fenestrada
campo de visión	Campo de visión
FPD	Detector de panel plano
FORS	Fibra Óptica RealShape
PIE	Tiempo de fluoroscopia
GC	Comité de Directrices
GWC	Comité de redacción de directrices
Gy	Gris

el límite de exposición pública estipulado de 1 mSv por año de dosis efectiva.

Sievert (Sv): Unidad utilizada para medir tanto la "dosis efectiva" y "dosis equivalente". Para rayos X, 1 Sievert equivale a 1 Gray (Gy).

Efectos estocásticos: efectos estocásticos de la exposición a la radiación. son aquellos que ocurren por casualidad y, como tales, la probabilidad de ellos que ocurren, pero no la gravedad, aumenta con dosis creciente. Se ha desarrollado un modelo lineal sin umbral. adoptado internacionalmente, reconociendo que no existe dosis umbral. El desarrollo de malignidad es el más efecto estocástico común de la exposición a la radiación.

CV	"Dosis equivalente personal" en tejido blando debajo de la superficie del cuerpo
OIEA	Agencia Internacional de Energía Atómica
CIPR	Comisión Internacional de Radiología Protección
SI TU	Instrucciones de uso
II	Intensificador de imagen
IPE	Equipo de protección en la habitación
TIR	Regulaciones sobre radiaciones ionizantes
KAP	Producto de área Air Kerma
kV	Kilo voltaje
kVp	Voltaje pico en kilos
LAO	Oblicuo anterior izquierdo
LAR	Riesgo atribuible de por vida
LEPAD	Enfermedad arterial periférica de las extremidades inferiores
LFA	Delantal sin plomo
LNT	Lineal sin umbral
mamá	Miliamperaje
MPE	Experto en Física Médica
RPM	Reconstrucciones multiplanares
NCRP	Consejo Nacional de Protección Radiológica y Mediciones
OCI	Imágenes controladas por el operador
OSL	Luminiscencia óptica estimulada
OSLD	Luminiscencia ópticamente estimulada Dosímetros
Pb	Dirigir
EPI	Equipo de protección personal
PROSPECT	PROficiency basado en StePwise Endovascular Programa de Formación Curricular
PSD	Dosis cutánea máxima
seguro de calidad	Seguro de calidad
RAK	Kerma en aire de referencia
ECA	Ensayo controlado aleatorio
RIC	Catarata inducida por radiación
ARN	Ácido ribonucleico
Region de interes	Region de interes
sv	Sievert
TAAA	Aneurisma de la aorta toraco-abdominal
TEVAR	Reparación de la aorta endovascular torácica
TLD	Dosímetro termoluminiscente
Reino Unido	Reino Unido
DESCONECTADO	Comité Científico de las Naciones Unidas para el Efectos de la radiación atómica
Realidad virtual	Realidad virtual

1. INTRODUCCIÓN Y ASPECTOS GENERALES

1.1. La necesidad de directrices de protección radiológica

Las últimas dos décadas han sido testigos de un aumento exponencial en el número de procedimientos mínimamente invasivos guiados por rayos X en cirugía vascular.^{1e4} Con el tiempo, muchos de estos procedimientos endovasculares se han validado y se han establecido como la modalidad de tratamiento preferida basada en una menor morbilidad, mortalidad, y duración reducida de la estancia hospitalaria, en comparación con las alternativas quirúrgicas abiertas. Una gran proporción de todas las intervenciones vasculares se realizan actualmente mediante técnicas endovasculares guiadas por rayos X. Los avances en la experiencia técnica, la evolución de la tecnología de materiales y la mejora de las capacidades de obtención de imágenes han dado lugar a soluciones endovasculares cada vez más complejas que se asocian con tiempos de fluoroscopia prolongados y, en consecuencia, un aumento de la exposición a la radiación tanto del paciente como del equipo quirúrgico endovascular. Existe una creciente preocupación con respecto a la creciente exposición a la radiación del paciente y de todo el equipo endovascular.^{5,6} Los operadores endovasculares son personal clave para promover la seguridad radiológica y deben trabajar con otras partes interesadas clave en un enfoque de equipo para proteger al paciente y a toda la atención médica. personal en el quirófano endovascular. Sin embargo, no todos reconocen universalmente los riesgos de la exposición a la radiación debido a una mala comprensión de los conceptos clave y a la escasez de material educativo directamente relevante para la cirugía vascular.⁷ Las presentes directrices sobre el tema de la seguridad radiológica son las primeras en publicarse. escrito bajo los auspicios de una sociedad de cirugía vascular. Su objetivo explícito es informar al lector sobre la física de la radiación y la dosimetría de la radiación, concienciar sobre los riesgos de las radiaciones ionizantes y describir los métodos disponibles para protegerse contra la exposición a la radiación. Se han esbozado cuestiones clave de importancia para la protección radiológica de los operadores endovasculares y todo el personal afines, y se han proporcionado recomendaciones para las mejores prácticas. Sin duda, esto también dará como resultado una mejor protección radiológica para el paciente, pero se ha reservado el enfoque en la protección radiológica del paciente, incluso durante los procedimientos de diagnóstico que requieren exposición a la radiación, para futuras iteraciones de la guía.

La directriz fue escrita y aprobada por 14 miembros que, además de cirujanos vasculares y radiólogos intervencionistas, incluían un científico en protección radiológica y un físico médico. El trabajo recopilado se basa en la mejor evidencia disponible, pero también se basa en la opinión experta de las personas antes mencionadas quienes, como parte del proceso de recopilación de evidencia, identificaron varias áreas donde los estudios futuros guiarían mejor la opinión. El lector debe tener en cuenta que este documento ofrece orientación y no pretende dictar estándares de atención.

1.2. Metodología

1.2.1. Estrategia. La calificación de cada recomendación en estas directrices se acordó mediante una reunión virtual el 18 de febrero de 2022. Si no hubo un acuerdo unánime, se llevaron a cabo discusiones para decidir cómo llegar a un consenso.

Si esto falla, entonces la redacción, el grado y el nivel de evidencia

se aseguró mediante una mayoría de votos de los miembros del Comité de Redacción de Directrices (GWC). La versión final de la guía se presentó en julio de 2022. Estas guías se actualizarán de acuerdo con la evidencia futura y las decisiones tomadas por el Comité de Guías (GC) de la Sociedad Europea de Cirugía Vascul (ESVS).

1.2.2. Búsqueda y selección de literatura. El GWC realizó una búsqueda de literatura en Medline (a través de PubMed), Embase, bases de datos de ensayos clínicos y la Biblioteca Cochrane hasta julio de 2022. La verificación de referencias y la búsqueda manual por parte del GWC agregaron otra literatura relevante. El GWC seleccionó literatura basándose en los siguientes criterios: (1) Idioma: inglés; (2) Nivel de evidencia (Tabla 1). (3) Tamaño de la muestra: los estudios más grandes recibieron más peso que los estudios más pequeños. (4) Se incluyeron artículos relevantes publicados después de la fecha de búsqueda o en otro idioma, pero solo si eran de suma importancia para esta guía.

1.2.3. Sopesando las pruebas. Las recomendaciones de las directrices de este documento se basan en el sistema de clasificación de la Sociedad Europea de Cardiología (ESC). Para cada recomendación, la letra A, B o C marca el nivel de evidencia actual (Tabla 1). Al sopesar el nivel de evidencia y la opinión de los expertos, cada recomendación se marca posteriormente como Clase I, IIa, IIb o III (Tabla 2).

Es importante señalar que para los aspectos generales de la seguridad radiológica, organismos internacionales como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), la Asociación Estadounidense de Físicos en Medicina, la

Tabla 1. Niveles de evidencia según Sociedad Europea de Cardiología

Nivel de evidencia A	Datos derivados de múltiples ensayos clínicos aleatorios o metanálisis
Nivel de evidencia B	Datos derivados de un único ensayo clínico aleatorizado o de grandes estudios no aleatorizados
Nivel de evidencia C	Consenso de opinión de los expertos y/o estudios pequeños, estudios retrospectivos, registros

Tabla 2. Clases de recomendaciones según la Sociedad Europea de Cardiología

clases de recomendaciones	Definición
Clase I	Evidencia o acuerdo general de que un determinado tratamiento o procedimiento es beneficioso, útil y eficaz.
Clase II	Evidencia contradictoria o divergencia de opiniones sobre la utilidad o eficacia del tratamiento o procedimiento dado.
Clase IIa	El peso de la evidencia u opinión está a favor de la utilidad o eficacia.
Clase IIb	La utilidad o eficacia no está tan bien establecida por evidencia u opinión.
Clase III	Evidencia o acuerdo general de que el tratamiento o procedimiento dado no es útil o efectivo y, en algunos casos, puede ser perjudicial.

La Federación Europea de Organizaciones de Medicina y la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA) llevan a cabo periódicamente una síntesis exhaustiva de la evidencia disponible para publicar documentos de orientación e informar la legislación relativa a las normas de seguridad. En este contexto, la legislación se refiere a las normas legales que constituyen los principales requisitos legales para el uso y control de las radiaciones ionizantes. En las presentes directrices se han utilizado estos documentos generales, en lugar de citas bibliográficas individuales, para fundamentar las recomendaciones cuando se consideró apropiado. Las actuales directrices de protección radiológica son únicas en el sentido de que varias de las recomendaciones formuladas se basan en realidad en legislación que se deriva de principios físicos y pruebas extensas e irrefutables que son la base de esta legislación. Ha habido extensas discusiones dentro del GWC y el Comité de Directrices, ya que no nos hemos enfrentado anteriormente a este problema en otras directrices.

La conclusión acordada entre todas las partes involucradas es que no podemos hacer recomendaciones sobre lo que son requisitos legales, pero que es importante que las directrices resalten áreas donde la ley "debe" seguirse. Por este motivo, hemos utilizado, por decisión unánime, la redacción de que las recomendaciones basadas en la legislación "deben" seguirse y el nivel de evidencia se ha marcado como "de derecho".

Cabe señalar que en algunos casos estas no son "leyes globales o universales" y que el nivel de evidencia denominado "ley" significa ley en la mayoría de las jurisdicciones. Las recomendaciones que se basan en ley son automáticamente Clase I o III. Esta guía también tiene varias recomendaciones, donde la evidencia se basa en principios físicos y los resultados de los estudios son verdades absolutas incluso en series pequeñas. Por ejemplo, aumentar la distancia desde la fuente de radiación reduce la cantidad de exposición. Este es un principio de la física. El nivel de evidencia utilizado para hacer este tipo de recomendación refleja este concepto y cada una de estas recomendaciones está marcada con una nota a pie de página como "principio físico".

1.2.4. Colaboradores de la directriz. La ESVS seleccionó al GWC para representar tanto a médicos como a científicos con experiencia en el manejo de la exposición a la radiación. Los miembros de GWC han proporcionado declaraciones de divulgación de todas las relaciones que podrían percibirse como fuentes reales o potenciales de conflicto de intereses.

El Comité de Directrices (GC) de ESVS fue responsable de la revisión y aprobación final de estas directrices.

Todos los expertos involucrados en la GWC han aprobado el documento final. El documento de la guía se sometió al proceso formal de revisión de expertos externos y fue revisado y aprobado por el GC de ESVS. Este documento ha sido revisado en tres rondas por 25 revisores, incluidos cirujanos vasculares, radiólogos intervencionistas y expertos en física médica (MPE). Todos los revisores aprobaron la versión final de este documento.

1.3. La perspectiva del paciente y del público 1.3.1.

Antecedentes y objetivos. Las percepciones de los pacientes y del público sobre la seguridad radiológica en relación con la cirugía endovascular fueron

capturado. Esta sección fue escrita en colaboración con pacientes y miembros del público, para garantizar que la perspectiva del paciente esté adecuadamente representada en estas pautas y que los profesionales médicos estén conscientes de estos puntos de vista.

Las personas consultadas incluyeron (1) voluntarios del Comité Conjunto de Supervisión Pública y Comunitaria de la Unidad de Investigación sobre Protección de la Salud (<https://crth.hpru.nihr.ac.uk/wider-engagement/>), de la Agencia Escocesa de Protección del Medio Ambiente y de la Sociedad y Colegio de Radiógrafos; y (2) pacientes que se habían sometido a procedimientos endovasculares en Guy's and St Thomas' NHS Foundation Trust. Se consultó al grupo sobre las directrices y se les preguntó qué entendían por los riesgos de la exposición a la radiación. Se buscaron las opiniones de los pacientes sobre la información que les hubiera gustado relacionada con la exposición a la radiación antes de sus procedimientos endovasculares. Exploramos si les habría resultado útil a pesar de las muchas incógnitas sobre los riesgos asociados con la exposición a bajas dosis de radiación.

El grupo entendió lo siguiente. En primer lugar, la cirugía endovascular, que afecta a los vasos sanguíneos, denominada procedimientos mínimamente invasivos (aquellos que utilizan sólo pequeñas incisiones, por lo que sólo se necesitan un pequeño número de puntos) se utiliza para diagnosticar y tratar problemas que afectan a los vasos sanguíneos (enfermedad vascular). En segundo lugar, la cirugía endovascular requiere el uso de radiación ionizante, que es una radiación de energía suficientemente alta como para causar daño a las células, lo que podría provocar efectos sobre la salud como el cáncer. El diagnóstico previo a la cirugía y la vigilancia comúnmente requiere angiografía por tomografía computarizada (ATC) mediante rayos X. Se explicó que en la mayoría de los países el uso de radiaciones ionizantes está muy estrictamente controlado mediante la legislación; sin embargo, los reglamentos no cubren todos los aspectos técnicos detallados del uso de la radiación. Como tal, es importante que se brinde orientación adecuada para garantizar que el uso de radiación para cada disciplina específica esté justificado y sea seguro. Explicamos que estas directrices de la ESVS han sido preparadas por médicos y científicos miembros del GWC, seleccionados por la ESVS en función de su experiencia en áreas relevantes de cirugía vascular y protección radiológica.

Los objetivos de las Directrices son describir a los profesionales médicos las cuestiones clave de relevancia para proteger contra la exposición a la radiación ionizante. Las Pautas están escritas para que los médicos que realizan procedimientos vasculares y todo el personal aliado brinden recomendaciones sobre las mejores prácticas.

Las Directrices cubren una variedad de temas que incluyen cómo medir la exposición a la radiación, la evidencia de los efectos de la radiación, la legislación actual y cómo controlar la exposición del personal médico mediante el uso apropiado del equipo en el quirófano y la protección personal, educación, y formación, y las necesidades para el futuro. Las Directrices y recomendaciones se basan en los últimos avances en términos de evidencia científica (basada en los estudios disponibles), según la revisión del comité, y se anticipan actualizaciones periódicas.

1.3.2. Comentarios de las partes interesadas. El grupo afirmó que los médicos deben tener un buen conocimiento de

percepciones y expectativas del paciente. En los últimos años la información se ha vuelto fácil de encontrar; sin embargo, los no especialistas no comprenden bien los beneficios y riesgos de los efectos para la salud asociados con la radiación ionizante y existe mucha desinformación. La mayoría percibió que el principal riesgo de la exposición a la radiación era el desarrollo de cáncer. Además, el riesgo real y percibido varía mucho según la fuente de radiación y cómo se utiliza, así como según la experiencia individual. En general, el público acepta que las imágenes que involucran radiación son una herramienta importante; sin embargo, los médicos deben asegurarse de que se expliquen claramente a cada paciente los conceptos básicos, como qué es la radiación y por qué se utiliza, así como el valor y los riesgos del procedimiento específico. Esto se puede hacer tanto cara a cara, como parte del proceso de consentimiento, como proporcionando literatura escrita.

Como anécdota, algunos pacientes informaron que esto no había sucedido. Algunos pacientes tampoco consideran apropiado preguntar a su médico y pueden decir que entienden la información proporcionada cuando ese no es el caso. Por lo tanto, el grupo afirmó que la literatura genérica sobre los procedimientos debe incluir una mención específica de los riesgos de la radiación y que el médico debe dedicar tiempo a explicar los posibles riesgos al paciente para garantizar que se alcance un entendimiento mutuo en la medida de lo posible. Esto debe incluir una explicación clara para el paciente, quien debe ser consciente de que es aceptable hacer preguntas. También cabe señalar que las exposiciones pediátricas no se consideran aquí ya que los procedimientos endovasculares en niños son muy raros; sin embargo, esto es algo que quizás debería considerarse más a fondo en futuras versiones de estas Directrices.

Recomendación 1		
La información sobre los riesgos de la exposición a la radiación debe proporcionarse a los pacientes en un lenguaje sencillo y fácil de entender antes de realizar procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	EBSS (2013)8

El grupo afirmó que era importante que los médicos fueran conscientes de que el uso de radiaciones ionizantes en general se basa en tres principios. En primer lugar, el principio de justificación, que exige que el uso de la radiación produzca más beneficios que daños. En segundo lugar, el principio de optimización exige que las dosis de radiación se mantengan tan bajas como sea razonablemente posible. En tercer lugar, el principio de limitación de dosis requiere que la dosis recibida por individuos en situaciones de exposición planificada, distintas de la exposición médica de los pacientes, no exceda los límites apropiados. A diferencia de los usos no médicos de la radiación ionizante, que se basan únicamente en procesos, los usos médicos de la radiación también dependen de las necesidades de cada paciente. Cuando se utilizan radiaciones ionizantes con fines médicos, la exposición del paciente se realiza sobre la base de los principios de justificación y optimización. La limitación de dosis no se considera relevante porque una dosis de radiación ionizante

un valor demasiado bajo no es deseable ya que las imágenes producidas pueden no tener la calidad suficiente para realizar un procedimiento.

1.3.3. Responsabilidades del operador endovascular de justificar y explicar la exposición a la radiación a los pacientes. La justificación de la exposición a la radiación para cada procedimiento garantiza que el beneficio que el paciente recibe de la exposición supere el detrimento de la radiación y que los riesgos asociados se minimicen. La justificación es responsabilidad legal del profesional sanitario registrado (que puede ser o no el cirujano vascular). Luego, el médico asume la responsabilidad de garantizar que el paciente comprenda los riesgos potenciales y que comprenda y esté de acuerdo en que vale la pena correr los riesgos, después de sopesarlos con los beneficios del procedimiento. Si el procedimiento está justificado, la optimización garantiza que se lleve a cabo de la mejor manera posible para lograr el mejor objetivo médico con el menor perjuicio por radiación.

En entornos médicos, como durante la cirugía vascular, donde el operador del equipo de imágenes no es un radiólogo o radiólogo, la responsabilidad principal de garantizar la seguridad radiológica del paciente recae en el médico. En la cirugía endovascular, la radiación ionizante se utiliza únicamente con fines de obtención de imágenes en tiempo real, para permitir al cirujano "ver" lo que está haciendo dentro del cuerpo. Como tal, en la práctica, los propios cirujanos vasculares tienen la responsabilidad directa de la cantidad de radiación que recibe el paciente, ya que es el cirujano vascular quien controla directamente cuándo y con qué frecuencia se obtienen las imágenes (mediante el uso de un pedal o similar).

Las dosis que reciben los pacientes sometidos a cirugía endovascular varían dependiendo de una serie de factores, incluido el tipo y la complejidad del procedimiento. Sólo hay un pequeño número de estudios que analizan explícitamente las dosis que reciben los pacientes, y es evidente que se necesita más trabajo al respecto. En general, como se analiza en el [Capítulo 2](#) y el [Apéndice 2](#), la información sobre los riesgos asociados con la exposición a la radiación ionizante proviene de información recopilada durante muchos años de uso de radiación ionizante en entornos médicos y nucleares, así como de la experiencia después de las pruebas de bombas atómicas y la radiación. accidentes. Para las dosis experimentadas por los pacientes, las "reacciones tisulares" directas, como quemaduras en la piel, son raras. Sin embargo, tales efectos ocurren y los riesgos y la gravedad varían de un paciente a otro. Se están realizando más investigaciones para comprender mejor y protegerse contra tales efectos. Los pacientes y miembros del público que han contribuido a este capítulo sugieren que las investigaciones futuras se centren más claramente en los niveles de dosis específicos del paciente involucrados en diferentes procedimientos y cómo estos varían caso por caso, lo que facilitará discusiones más claras sobre el riesgo entre pacientes. y profesionales médicos antes de realizar los procedimientos; cómo se podrían registrar y utilizar las dosis acumuladas dentro de la profesión médica en su conjunto (algo que generalmente no se hace todavía); y en las dosis recibidas por los propios profesionales para respaldar una protección adecuada.

La exposición a la radiación del paciente que recibe una exposición específica limitada como parte del tratamiento o diagnóstico aumenta ligeramente el riesgo promedio de efectos tardíos como el cáncer inducido por la radiación, que depende de la radiación acumulada.

dosis de por vida, quizás hasta aproximadamente el 5% para un paciente de cirugía vascular, dependiendo del tipo de procedimiento. Sin embargo, los datos combinados de todos los estudios sugieren que el riesgo de desarrollar cáncer asociado con la radiación ionizante es muy pequeño en comparación con el riesgo general de por vida de todos los cánceres, que ahora es alrededor del 50%. Tal riesgo es aceptable porque es sustancialmente superado por el alto riesgo de muerte prematura asociado con no someterse al procedimiento vascular. Por tanto, el procedimiento está justificado. Los pacientes pensaban que tenían muy poca información sobre la exposición a la radiación y los riesgos antes de su intervención y universalmente dijeron que querían más a pesar de que se desconocían algunos de los riesgos exactos. Varios sintieron que contar con información, ya sea en forma escrita o en un sitio web exclusivo, aumentaría su curiosidad y les haría querer saber más. Pensaron que era esencial que se les informara sobre los riesgos de la exposición a la radiación antes de su procedimiento, pero que era poco probable que los riesgos afectaran su decisión de someterse al procedimiento.

También se señaló que la legislación y las directrices actuales (incluidas las presentes Directrices) se basan en los últimos avances en términos de conocimientos científicos.

Con más estudios a más largo plazo sobre el riesgo de radiación actualmente en marcha, las cosas pueden cambiar en el futuro. El grupo confirmó que es importante que estas Directrices se actualicen periódicamente para reflejarlo.

En resumen, en las últimas décadas las radiaciones ionizantes se han convertido en un recurso imprescindible para realizar procedimientos quirúrgicos cada vez más complejos. En la mayoría de los casos, el uso de radiaciones ionizantes es esencial para el éxito del procedimiento y, como tal, los riesgos de exposición se ven claramente superados por la necesidad de utilizar radiación para salvar o prolongar la vida del paciente. Estas Directrices se consideraron esenciales para seguir garantizando que los procesos médicos que utilizan radiación se lleven a cabo de forma cuidadosa, responsable y adecuada. Sin embargo, se necesita más trabajo, incluidos los temas descritos anteriormente, para comprender mejor los riesgos de los pacientes y permitir una mayor optimización en el contexto de la cirugía endovascular.

1.4. Resumen en lenguaje sencillo

Las operaciones realizadas en los vasos sanguíneos del cuerpo se realizan cada vez más mediante técnicas que utilizan stents insertados en los vasos sanguíneos bajo guía de rayos X. Inevitablemente, los rayos X utilizados son absorbidos no sólo por el paciente sino también por los operadores y hay evidencia que sugiere que la exposición a la energía de los rayos X tiene consecuencias para la salud. Dentro de estas pautas se describen estrategias que ayudarán a minimizar la exposición a los rayos X durante estas operaciones. También se analizan las necesidades de formación y educación de los colegas para garantizar que estén bien informados sobre las medidas de protección radiológica.

2. MEDICIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN Y LA RIESGOS ASOCIADOS DE EXPOSICIÓN

2.1. Exposición a la radiación durante procedimientos guiados por rayos X La Directiva europea sobre normas básicas de seguridad para la protección contra los peligros derivados de la exposición a

radiación ionizante,⁸ obliga a los estados miembros de la Unión Europea a mejorar la seguridad radiológica para pacientes y trabajadores en la práctica médica. La exposición ocupacional durante los procedimientos guiados por rayos X está estrechamente relacionada con la exposición del paciente y, por lo tanto, ambas deben manejarse mediante un enfoque integrado.⁹ Las dosis de radiación para algunos procedimientos complejos guiados por rayos X equivalen a varios cientos de radiografías de tórax, lo que requiere programas de garantía de calidad que incluyan una protección radiológica óptima. Una formación adecuada en protección radiológica incluye el conocimiento de los principios del trabajo con radiación y los límites de exposición seguros, y esta formación debe repetirse periódicamente para garantizar que se mantenga actualizada. La ICRP ha reconocido que existe una necesidad sustancial de educación y orientación en vista del mayor uso de radiación en procedimientos endovasculares.^{10,11}

2.2. Parámetros dosimétricos

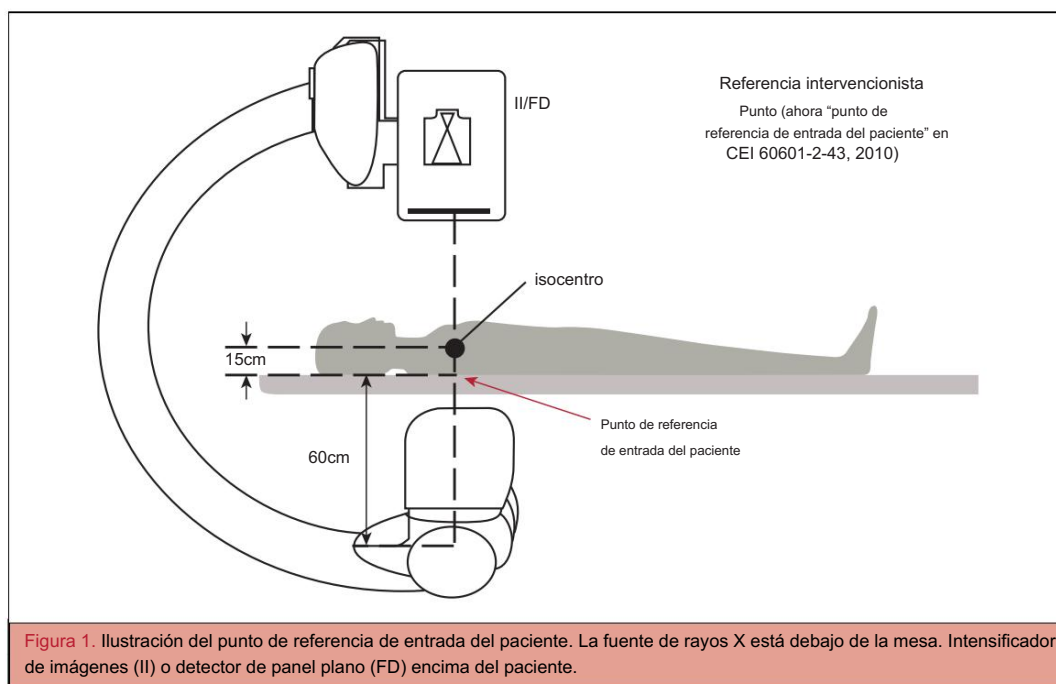
2.2.1. Parámetros de dosis directa. Comprender las métricas y definiciones (Tabla 3) utilizadas para evaluar la cantidad de exposición a la radiación de diversas fuentes es clave para crear conciencia y promover la seguridad radiológica. Gray (Gy) se utiliza para informar las dosis medias en órganos y Sievert (Sv) para informar la dosis equivalente y efectiva. Estas cantidades no se miden directamente y se estiman mediante métodos computacionales. Ambas cantidades pueden usarse para una estimación aproximada de los riesgos de radiación y para comparar estos riesgos entre procedimientos de imágenes.

2.2.2. Parámetros de dosis indirectas. Un enfoque práctico para auditar la exposición a la radiación durante procedimientos intervencionistas guiados por rayos X es utilizar la información dosimétrica generada por el arco en C. La cantidad de radiación generada normalmente se expresa como "kerma en aire" (AK), medida en mGy. AK es el cociente de la suma de las energías cinéticas de todas las partículas cargadas liberadas por partículas descargadas en una masa de aire determinada. La posición en la que se mide la AK acumulada (CAK) se conoce como "punto de referencia de entrada del paciente", que se ubica a 15 cm del isocentro en dirección al punto focal del tubo de rayos X (Fig. 1). Este valor representa razonablemente el incidente de AK en la superficie de la piel del paciente (Tabla 4).

Cuadro 3. Definiciones de parámetros de dosis directa

Gray (Gy) es la unidad de "dosis absorbida" utilizada para evaluar la cantidad de energía transferida a la materia. La dosis absorbida es la energía media impartida a la materia de masa por la radiación ionizante. La unidad SI para la dosis absorbida es julio por kilogramo y su nombre especial es Gray.

Sievert (Sv) es la unidad utilizada para medir dos cantidades diferentes: 1. Dosis equivalente: La dosis media absorbida en un tejido u órgano multiplicada por el factor de ponderación de radiación. Este factor de ponderación es 1 para rayos X. 2. La dosis efectiva es la suma ponderada por tejido de las dosis equivalentes en todos los tejidos y órganos especificados del cuerpo.



El arco en C puede registrar la velocidad de administración de estas cantidades de dosis, medidas en Gy.cm²/seg, durante el procedimiento. Otros parámetros o cantidades dosimétricas relacionadas, que normalmente se incluyen en los informes de dosis producidos por el arco en C, son el tiempo de fluoroscopia (FT) y el número de imágenes (normalmente imágenes de angiografía por sustracción digital [DSA]) adquiridas. FT es el tiempo acumulado dedicado a la fluoroscopia y se puede utilizar como indicador de dosis indirecta, pero su uso es limitado ya que no tiene en cuenta la configuración del arco en C, el campo de visión de los rayos X, la posición del arco en C ni los modos de imagen utilizados (ver [Capítulo 5](#)). Además, la FT se calcula y se muestra de manera diferente según el arco en C y el fabricante y se correlaciona mal con otros indicadores de dosis. Aunque la FT puede reflejar la complejidad de un procedimiento y la eficiencia del operador que lo realiza, la dosis Parámetros como el producto del área de kerma en aire (KAP) y AK son mejores para

cuantificar objetivamente la cantidad de exposición a la radiación y debe usarse preferentemente.15

2.3. Literatura existente que informa sobre la exposición a la radiación durante procedimientos

endovasculares Se realizó una revisión de la literatura para identificar datos publicados sobre dosis de radiación intraoperatoria durante procedimientos endovasculares desde diciembre de 2015 hasta julio de 2022. La revisión se centró en la reparación endovascular aórtica estándar (EVAR), EVAR compleja (fenestrada o reparación endovascular ramificada de la aorta, F/BEVAR), y tratamiento endovascular de la enfermedad arterial periférica de las extremidades inferiores (LEPAD), respectivamente, porque son los procedimientos más irradiados y comunes en cirugía vascular. También se incluyeron procedimientos de recanalización de venas profundas, ya que se trata de un área de actividad en rápido desarrollo en una población que incluye mujeres jóvenes en edad fértil que pueden estar en particular riesgo con la exposición a la radiación. Los parámetros de dosis recolectados fueron KAP (Gy.cm²), CAK (mGy) y las dosis absorbidas a las que estuvieron expuestos los operadores o el personal. Los resultados de esta revisión de la literatura se presentan en [las Tablas A1eA3 del Apéndice 2](#). Para mayor claridad, en este capítulo se presentan representaciones gráficas de los datos CAP disponibles y una sola tabla.

Se identificaron treinta y nueve estudios EVAR, incluidos 3.207 pacientes con informes de dosis (basados en la mediana de KAP) que variaron en un factor de 28 (de 9,17 (6,83e14,74) a 337 (232e609) Gy.cm²) ([Fig. 2, Apéndice 2 y Tabla A1](#)). Las dosis de radiación reportadas son relativamente constantes a lo largo del tiempo con una tendencia a estabilizarse durante el período examinado. La exposición del equipo quirúrgico endovascular al delantal de plomo mencionada anteriormente también se informó en varias publicaciones y osciló entre 5 y 300 mSv por procedimiento.

Las dosis más altas para procedimientos endovasculares se informaron para procedimientos F/BEVAR ([Fig. 3, Apéndice 2 e](#)

Cuadro 4. Definiciones de parámetros de dosis indirectas

Kerma en aire (AK): se mide en mGy y se refiere a la dosis entregada por el haz de rayos X a un volumen de aire y refleja la energía cinética liberada en la materia.

Kerma en aire (AK) en el punto de referencia de entrada del paciente: el AK se mide o calcula a 15 cm del isocentro en la dirección del punto focal acumulado de un procedimiento de rayos X completo (ver [Fig. 1](#)), generalmente expresado en mGy. La posición seleccionada representa razonablemente el incidente de AK en la superficie de la piel del paciente adulto. La Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU. utiliza el término "kerma acumulativo en aire (CAK)" para este parámetro.

Producto de área de kerma en aire (KAP, o producto de área de dosis, DAP): el KAP es el producto de dos factores, a saber, el kerma en aire libre en el aire (es decir, en ausencia de retrodispersión) sobre el área del haz de rayos X en un Plano perpendicular al eje del haz (generalmente medido en Gy.cm²). La ICRP ahora recomienda referirse a esos valores como producto de área de kerma en aire (PKA).

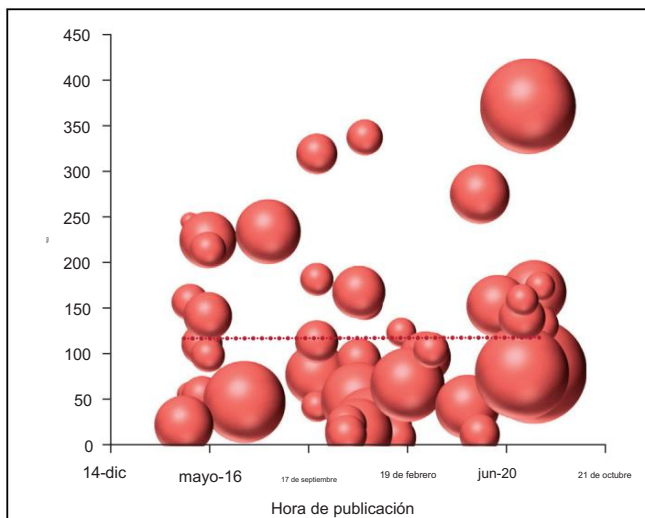


Figura 2. Representación gráfica de los estudios que informan el producto del área de kerma en aire (KAP, Gy.cm²) en la literatura entre 2015 y 2022 para la reparación endovascular de aneurisma aórtico (EVAR). El área de cada burbuja corresponde al número de pacientes representados. La línea de puntos indica la tendencia de KAP a lo largo del tiempo. Se puede observar que los niveles de radiación publicados son relativamente constantes con una tendencia de meseta durante el período examinado.

Cuadro A2). Se identificaron diecisiete informes, uno fue excluido porque informó una combinación de procedimientos EVAR y F/BEVAR. Existe una clara tendencia hacia una reducción de KAP durante estos procedimientos complejos, lo que puede ser consecuencia de la curva de aprendizaje y de un uso más amplio de equipos de imágenes modernos. También se puede observar que las series publicadas presentan cohortes cada vez más grandes. Varios estudios informaron casos en los que la radiación intraoperatoria

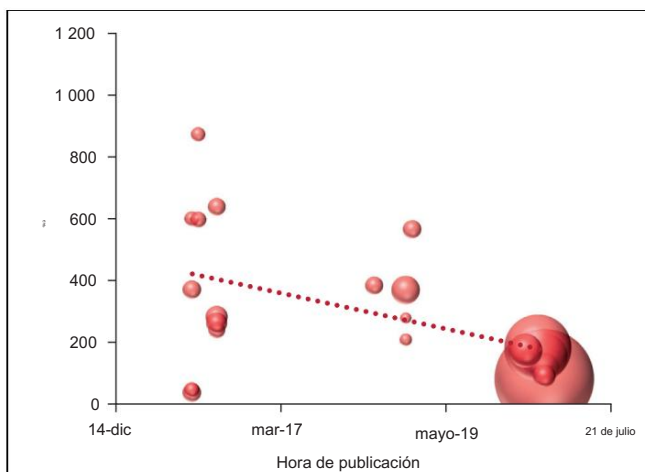


Figura 3. Representación gráfica de los estudios que informan el producto del área de kerma aire (KAP, Gy.cm²) en la literatura entre 2015 y 2022 para reparaciones endovasculares de aneurisma aórtico fenestrado o ramificado (F/BEVAR). El área de cada burbuja corresponde al número de pacientes representados. La línea de puntos indica la tendencia de KAP a lo largo del tiempo. Existe una clara tendencia hacia una reducción de KAP durante estos procedimientos complejos, lo que puede ser una consecuencia de la curva de aprendizaje y de un uso más amplio de equipos de imágenes modernos. También se puede observar que las series publicadas presentan poblaciones cada vez más numerosas.

los datos excedieron los umbrales (especialmente $CAK > 5$ Gy) que deberían desencadenar el inicio sistémico de una monitorización específica del paciente para detectar lesiones cutáneas. No es sorprendente que, cuando se evaluaron, las exposiciones de los operadores también fueran mayores que durante otros procedimientos endovasculares (de 120 a 370 mSv sobre la plataforma de plomo). Once estudios, con un total de más de 13 000 pacientes, informaron parámetros de dosis durante el tratamiento endovascular LEPAD que incluían enfermedad de los vasos crurales (Fig. 4, Apéndice 2 y Tabla A3). Las dosis informadas tendieron a ser más altas para los procedimientos ilíacos que para los femoropoplíteos, y para los procedimientos cruzados que para los anterógrados. En este análisis no se informaron datos de radiación para procedimientos aislados debajo de la rodilla. Los datos disponibles actualmente son limitados y heterogéneos. Además, como el tejido de la pierna es delgado a este nivel, los rayos X pueden penetrar fácilmente e incluso para procedimientos largos y complejos, la dosis de radiación sigue siendo relativamente baja en comparación con los procedimientos suprainguinales.

Sólo cuatro estudios (Tabla 5) informaron la dosis de radiación durante los procedimientos venosos profundos. Es interesante observar que la dosis administrada podría alcanzar hasta 17,4 mSv y un poco más de 1 mSv a nivel pélvico, lo que subraya la necesidad de una mayor vigilancia durante estas intervenciones realizadas principalmente en mujeres jóvenes.

2.4. Niveles de referencia de diagnóstico

La exposición a la radiación asociada con los procedimientos endovasculares puede variar significativamente según la complejidad del procedimiento (sección 2.3). El grado de variabilidad, cuando el mismo procedimiento es realizado por diferentes operadores y en diferentes centros, sugiere que debería haber un avance hacia la estandarización de las dosis para un procedimiento particular.^{20,21} Los niveles de referencia para diagnóstico (DRL) se utilizan en imágenes médicas con radiación ionizante para indicar si, en condiciones de rutina, la dosis del paciente o la actividad administrada (cantidad de material radiactivo) de un procedimiento específico, estandarizada según la altura y el peso del paciente, es inusualmente alta o baja para ese procedimiento.²²

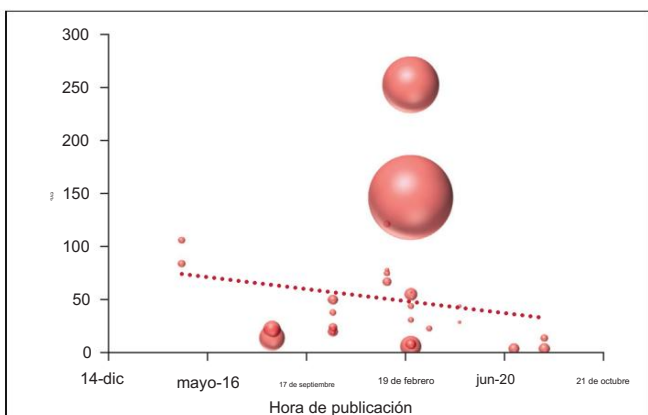


Figura 4. Representación gráfica de los estudios que informan el producto del área de kerma en aire (KAP, Gy.cm²) en la literatura entre 2015 y 2022 para el tratamiento endovascular de la enfermedad arterial de las extremidades inferiores (LEAD). El área de cada burbuja corresponde al número de pacientes representados. La línea de puntos indica la tendencia de KAP a lo largo del tiempo. Existe una clara tendencia hacia una reducción de CAP durante estos procedimientos.

Tabla 5. Revisión de la literatura de los informes de dosis publicados después del tratamiento endovascular de la enfermedad venosa profunda entre 2016 y 2022

Autor	Grupos	Imágenes sistema	Trámites es	DAP e Gy.cm2	CAK e mGy	ESD pélvico mSv	mi mi mSv
Chait et al. (2019) ¹⁶	venosa iliofemoral	Arco en C móvil	40	-	1.080.55 e	-	0.221
Barbati et al. (2019) ¹⁷	colocación de stent venosa iliofemoral	Arco en C móvil	78	74,6 [29.5, 189.5]	393,5 [178, 955]	1.06 [9.27, 2.59]	17.4 [7.16, 33.12]
Lim y col. (2020) ¹⁸	colocación de stent Trombólisis de TVP (extremidad baja)	Arco en C fijo (endovascular sala de operaciones)	20	9.2 (0.2e176.0)	-	-	-
	Trombólisis de TVP (la extremidad superior) crónica unilateral venosa iliofemoral		91	2.0 (0.1e11.7)			
	colocación de stent reconstrucción de la VCI		56	32.4 (0.1e289.6)			
			39	60,8 (2.5e269.1)			
Baccellieri et al. (2022) ¹⁹	venosa iliofemoral	Arco en C fijo (endovascular sala de operaciones)	15	24.0 [19.3, 35]	69,8 [19.3, 35]		
	colocación de stent sin CBCT						
	venosa iliofemoral		10	70,5 [56.9, 97.3]	244,6 [190.3, 323.7]		
	colocación de stent con CBCT						

Los datos se presentan como media (rango), mediana [rango intercuartil] o desviación estándar media, a menos que se indique lo contrario. DAP ¼ de área de dosis producto; CAK ¼ kerma en aire acumulado; ESD ¼ de dosis cutánea de entrada; E ¼ de dosis efectiva; TVP ¼ trombosis venosa profunda; VCI ¼ vena cava inferior; CBCT Tomografía computarizada de haz cónico ¼.

La ICRP recomienda el uso de KAP y AK como

Principales cantidades dosimétricas para establecer los DRL. Los valores DRL son generalmente se define como el tercer cuartil (50 y 75 percentil) de la distribución de los valores medianos de la Cantidad adecuada de DRL observada en cada centro de atención sanitaria. instalación.

Esto permite comparar los valores de dosis media local. relacionado con un trámite particular con el DRL reconocido para ese procedimiento. Entonces se pueden investigar las razones por las que las dosis son sustancialmente mayores o menores que el DRL. Tiempo de fluoroscopia y número de imágenes adquiridas. (normalmente imágenes de angiografía por sustracción digital [DSA]) pueden También se puede utilizar para complementar los DRL y ayudar en la mejoramiento.

En principio, un DRL podría ser demasiado bajo, es decir, por debajo del cual no hay suficiente dosis de radiación para lograr una adecuada imagen médica o información de diagnóstico. Esta revisión local debe incluir los protocolos utilizados durante los procedimientos clínicos y la configuración del equipo, para determinar si la protección se ha optimizado adecuadamente. Para las prácticas intervencionistas se recomienda tener en cuenta La complejidad del procedimiento y su impacto en el paciente. valores de dosis. Lograr una calidad de imagen aceptable o la información diagnóstica adecuada, consistente con la tarea de imágenes médicas, siempre debe ser la prioridad. Los DRL deben utilizarse para ayudar a controlar la dosis de radiación a los pacientes, de modo que la dosis sea proporcional al objetivo clínico. A DRL debe usarse para grupos de pacientes pero no debe usarse aplicado a pacientes individuales o considerado como una dosis límite.^{23,24} Se reconoce que existe una variación notable en la técnica, el equipo utilizado, así como el tipo y gravedad de la enfermedad para cada paciente, sin embargo, los esfuerzos para

definir valores atípicos en la práctica normal son valiosos con participación de las MPE para investigar y establecer DRL.

Recomendación 2

Producto del área de Kerma en aire (KAP, Gy.cm2) y el acumulado Se debe registrar Kerma en aire (CAK, mGy) para todas las pruebas endovasculares. procedimientos.

Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	Informe NCRP No. 168 (2010),15 Publicación ICRP 135 (2017) ²³

Recomendación 3

Establecimiento de órganos que establezcan políticas nacionales y regionales. niveles de referencia de diagnóstico (DRL) para endovascular Se recomiendan procedimientos.

Clase	Nivel	Referencias
I	C	EBSS (2013),8 publicación de la ICRP 135 (2017), ²³ Rial et al. (2020) ²⁴

Recomendación 4

Revisión de los valores de dosis del paciente para procedimientos endovasculares en cada centro y comparación con el diagnóstico nacional Se recomiendan niveles de referencia (DRL).

Clase	Nivel	Referencias
I	C	EBSS (2013),8 publicación de la ICRP 135 (2017), ²³ Rial et al. (2020) ²⁴ , Farah et al. (2020) ²¹

2.5. Riesgo biológico relacionado con la exposición a la radiación.

La siguiente sección proporciona una descripción general de los riesgos biológicos de la exposición a la radiación, con una revisión de la literatura relacionada con los efectos biológicos de la exposición a la radiación.

2.5.1. Efectos estocásticos y deterministas de la radiación.

exposición. Los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes se pueden dividir en efectos deterministas y estocásticos. Los efectos estocásticos son aquellos que ocurren por casualidad y, como tal, la probabilidad de que ocurran, pero no la gravedad, aumenta al aumentar la dosis. No existe una dosis umbral.

El desarrollo de malignidad es el efecto estocástico más común de la exposición a la radiación. Los efectos deterministas no estocásticos, o "reacciones tisulares", están relacionados con una dosis umbral de exposición a la radiación por encima de la cual la gravedad de la lesión aumenta al aumentar la dosis. Los efectos deterministas incluyen reacciones tisulares dañinas y disfunción de órganos que resultan de la muerte celular inducida por la radiación.

Dos ejemplos de reacciones tisulares que ocurren después de la exposición a la radiación son las lesiones cutáneas y las opacidades del cristalino.^{25e28} **2.5.1.1. Estimadores de riesgos estocásticos.** El estudio Lifespan, que monitoreó a las víctimas de las bombas nucleares de Hiroshima y Nagasaki, ha demostrado que la incidencia de cánceres sólidos aumenta proporcionalmente después de exposiciones altas y moderadas a la radiación.²⁹ Sin embargo, en el campo médico, tanto los pacientes como los operadores están expuestos a mucha dosis de radiación más bajas, aunque repetidas, (< 100 mSv) en comparación con las altas exposiciones que estas víctimas de bombas recibieron de una manera única y aguda. Por lo tanto, no existe evidencia confiable que informe sobre el riesgo asociado con exposiciones inferiores a 100 mSv. Sin embargo, el informe sobre los efectos biológicos de la radiación ionizante VII (BEIR VII) y las recomendaciones de la ICRP concluyen que con exposiciones inferiores a 100 mSv, la probabilidad de que se produzcan efectos estocásticos sigue siendo proporcional a la cantidad de exposición a la radiación y no depende del umbral, es decir, incluso las exposiciones más bajas podrían representar un riesgo para los humanos.³⁰ Esto se conoce como modelo lineal sin umbral (LNT). Si bien se han propuesto modelos alternativos al LNT que pueden reflejar mejor la complejidad radiobiológica de ciertos criterios de valoración, cabe señalar que el objetivo aquí es proporcionar una herramienta pragmática para la estimación de todos los riesgos de cáncer, únicamente con fines de protección radiológica. ^{31,32} Como tal, el consenso científico sigue siendo que el LNT es el modelo para la protección radiológica práctica.

El riesgo estocástico se determina calculando la dosis efectiva (E) de exposición a la radiación, medida en Sv, donde E es la dosis acumulada absorbida por los órganos y tejidos, teniendo en cuenta la sensibilidad individual de los órganos/tejidos a la radiación. E representa el mismo riesgo estocástico que una dosis corporal equivalente uniforme del mismo valor. Los órganos más radiosensibles son la médula ósea, el colon, los pulmones, el estómago y la mama^{28,33}.

La E representa una estimación del riesgo estocástico en un individuo promedio dada una cierta cantidad de radiación. La estimación no siempre es confiable ya que requiere cálculos complejos y modelos matemáticos, por ejemplo, simulaciones de Monte Carlo.^{34e36} Dada los diferentes tipos y cantidades de exposición a la radiación, estos riesgos estocásticos

Por lo tanto, las estimaciones no se recomiendan para fines de auditoría de rutina y son más útiles para estimar el riesgo teórico en cohortes específicas, como las personas embarazadas (consulte la sección 3.3 sobre exposición durante el embarazo).

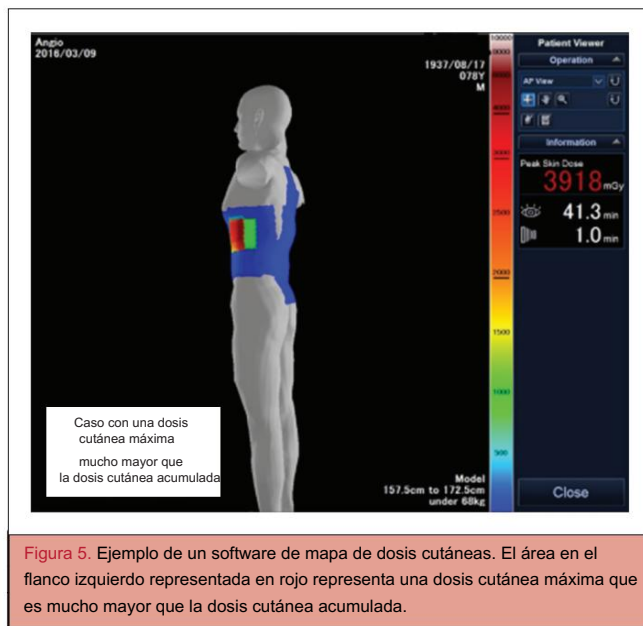
La estimación del riesgo relacionado con la exposición a la radiación también debe tener en cuenta la edad y el sexo de las personas expuestas. Es de destacar que los procedimientos endovasculares se realizan con mayor frecuencia en pacientes de edad avanzada y menos en pacientes pediátricos. Dado que los efectos estocásticos se correlacionan con el tiempo después de la exposición, los pacientes de edad avanzada tienen menos riesgo de sufrir malignidad a lo largo de su vida. Por ejemplo, el riesgo atribuible de por vida (LAR) de cáncer después de una tomografía computarizada (TC) coronaria en una mujer de 80 años sería del 0,075 % (un cáncer inducido por 1.338 exploraciones), pero aumentaría al 0,7 % (un cáncer inducido en 143 exámenes) para una mujer de 20 años.³⁰ Esta cuestión se complica aún más por el uso de exploraciones múltiples en algunos pacientes, particularmente en los más jóvenes.³⁷ La evaluación e interpretación de la dosis efectiva de las

exposiciones médicas de los pacientes también debe tener en cuenta que algunos órganos y tejidos reciben sólo exposiciones parciales o una exposición muy heterogénea, como es el caso especialmente de los procedimientos de diagnóstico e intervención.²³ **2.5.1.2. Estimadores de riesgos deterministas.**

La dosis de entrada en la piel (ESD, en Gy) es la dosis absorbida por la piel en el punto de entrada del haz de rayos X. La dosis cutánea máxima (PSD) es la dosis administrada, tanto por el haz primario como por la radiación dispersa, en el área de la piel más irradiada. La PSD se utiliza como predictor de la aparición de efectos deterministas (también llamados reacciones tisulares), que son principalmente dermatitis y eritema inducidos por la radiación y pueden ocurrir en procedimientos guiados por rayos X una vez que la exposición a la radiación de la piel excede una dosis umbral determinada. Este riesgo de lesiones cutáneas por radiación derivadas de procedimientos endovasculares de dosis altas se considera en algunos países como una "exposición médica no intencionada" y requiere registro, análisis y declaración a la autoridad competente. También se informa al paciente y se toman medidas para un seguimiento clínico adecuado.

La dosis cutánea se puede medir con termoluminiscentes. dosímetros (TLD),³⁸ películas radiocrómicas,³⁹ o dosímetros de luminiscencia ópticamente estimulados (OSLD)⁴⁰ (ver Capítulo 4). El kerma en aire (AK) en un punto de referencia también se puede utilizar como sustituto para evaluar el riesgo de efectos deterministas; sin embargo, no siempre es un buen indicador de PSD ya que la angulación del haz de rayos X puede modificarse durante el procedimiento y el área de piel irradiada puede ser diferente. Tanto KAP como CAK se pueden usar para evitar lesiones en la piel cuando se usan como valores de activación.⁴¹ Algunos arcos en C fijos de última generación incorporan software

que muestra mapas de dosis en la piel y dosis máxima en la piel durante los procedimientos (Fig. 5).⁴²⁻⁴⁴ Esto puede impulsar medidas intraoperatorias proactivas, como ajustar la angulación del arco en C, en un esfuerzo por evitar irradiar persistentemente la misma área de la piel durante el caso. Este tipo de medición y representación de la dosis también es valiosa para determinar si se debe **considerar** el seguimiento clínico de posibles lesiones cutáneas.^{45,46} Los sistemas de mapas de dosis cutáneas deben ser validados por un



MPE a medida que varía el rendimiento de los sistemas individuales y su calidad.

Se deben registrar los valores de dosis del paciente después de los procedimientos guiados por rayos X, lo que permite implementar protocolos para decidir si es aconsejable un seguimiento clínico de posibles lesiones por radiación en la piel. Los umbrales sugeridos que indican un alto riesgo de lesiones cutáneas y que deberían impulsar un seguimiento más estrecho de los pacientes son:⁴⁷

1. Dosis máxima en la piel, más de 3 Gy
2. Kerma en aire en el punto de referencia de entrada del paciente: 5 Gy
3. Producto de área de kerma: 500 Gy cm²

Es una buena práctica almacenar de forma centralizada los valores de dosis de los pacientes utilizando un software de registro de dosis y evaluarlos periódicamente. Esta es una herramienta importante tanto para la optimización de las dosis de radiación como para la formación del personal (ver secciones 2.3 y 8.2.8).

2.5.2. La respuesta biológica a la exposición a la radiación. La radiación ionizante causa daño a las células ya sea directamente, al energizar los ácidos nucleicos de las células, o indirectamente, a través de la interacción con el entorno molecular. En cualquier caso, esto da como resultado la generación de especies reactivas de oxígeno/nitrógeno, daño a la estructura celular del ácido desoxirribonucleico (ADN) y la activación de los mecanismos de reparación del ADN. Esta respuesta biológica se puede detectar en la sangre de pacientes y operadores que están expuestos a dosis bajas de radiación. Se observan niveles elevados de proteína histona fosforilada H2AX (g-H2AX) y ataxia telangiectasia fosforilada mutada (pATM), dos proteínas que son marcadores de daño/reparación del ADN, en los linfocitos de pacientes y operadores después de la cirugía endovascular y regresan a la normalidad a las 24 horas, lo que refleja el daño y la reparación del ADN después de la exposición.⁶ Esta respuesta a la radiación varía entre individuos que están expuestos a dosis similares, un fenómeno que refleja la variación individual en la sensibilidad al daño del ADN inducido por la radiación. La protección radiológica de las extremidades inferiores mitiga este daño. Niveles elevados de

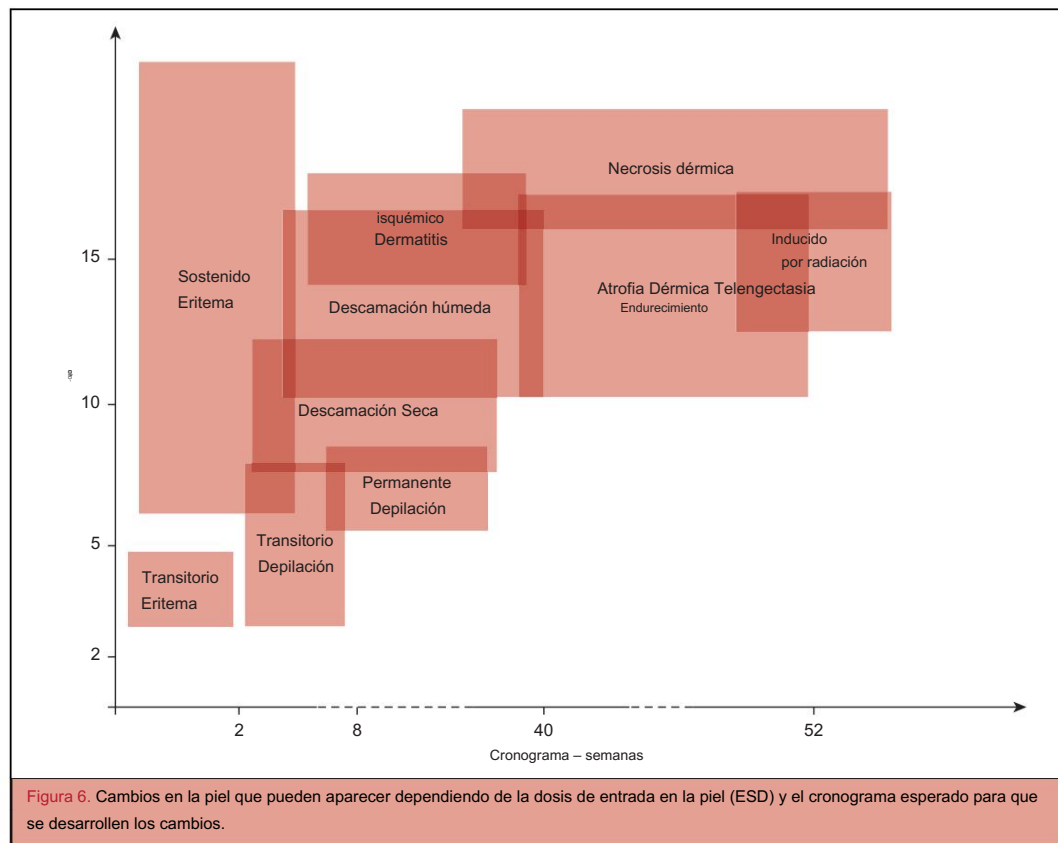
También se han detectado H2AX, pATM y p53 en pacientes después de imágenes transversales, así como de procedimientos cardiovasculares guiados por fluoroscopia.⁴⁸ El análisis de los focos celulares de H2AX se ha utilizado para predecir un aumento de cinco veces en la tasa estimada de cáncer atribuible a lo largo de la vida. mortalidad tras la exposición a dosis bajas de radiación.⁴⁹

2.5.3. Biomarcadores de exposición a la radiación. El nivel de expresión de las proteínas de respuesta al daño del ADN g-H2AX y pATM en los linfocitos circulantes puede usarse como biomarcador de la exposición a la radiación.⁶ A pesar del inicio de la vía de reparación del ADN, pueden ocurrir errores de reparación y esto puede conducir a aberraciones cromosómicas como dicéntricos y micronúcleos. Se han detectado micronúcleos con mayor frecuencia en linfocitos aislados de trabajadores hospitalarios expuestos crónicamente a dosis bajas de radiación ocupacional.⁵⁰ Se han detectado frecuencias de dicéntricos más altas en cardiólogos y radiólogos intervencionistas en comparación con poblaciones de control que no participan en intervenciones guiadas por fluoroscopia.⁵¹ Cambios en También se ha encontrado expresión genética en los linfocitos de pacientes después de una ATC.⁵² lo que tiene implicaciones para aquellos que se someten a vigilancia regular por TC después de una EVAR compleja. También hay cada vez más evidencia de que los microARN (ácido ribonucleico), ARN no codificantes que Las respuestas celulares descritas anteriormente pueden ser técnicamente difíciles de medir y no se prestan a análisis de alto rendimiento. Además, existe una falta de estandarización en la identificación de biomarcadores y ninguno ha sido validado para la exposición crónica a dosis bajas de radiación en cirugía endovascular.⁵⁴

2.5.4. Riesgos asociados a la exposición ocupacional a la radiación para los pacientes. Los pacientes que se someten a procedimientos endovasculares están expuestos a radiación durante el procedimiento índice y también cuando se requiere vigilancia postoperatoria con TC.

El seguimiento a largo plazo del ensayo EVAR 1 sugirió una mayor incidencia de malignidad en pacientes sometidos a reparación endovascular de aneurisma aórtico en lugar de reparación abierta,⁵⁵ pero el estudio no fue diseñado para este criterio de valoración. De manera similar, un estudio encontró una señal débil de que los pacientes tienen un mayor riesgo de cáncer abdominal posoperatorio después de EVAR en comparación con la cirugía abierta de aneurisma aórtico, pero esta conclusión se hace menos confiable debido a múltiples factores de confusión.⁵⁶ En pacientes que se han sometido a TEVAR, la radiación acumulada las exposiciones durante dos años pueden exceder los 100 mSv.⁵⁷ Se estima que este nivel de exposición representa hasta un 2,7% de aumento en el riesgo de leucemia y tumores malignos sólidos a lo largo de la vida.¹¹ Reacciones nocivas en los

tejidos, como lesiones en la piel (Fig. 6) generalmente ocurren después de exposiciones a radiación relativamente altas y pueden observarse en pacientes entre horas y días después de la exposición. En dosis cutáneas máximas de 2 a 5 Gy, el riesgo principal es el desarrollo de eritema transitorio, mientras que en dosis más altas se produce depilación permanente, ulceración y descamación. El riesgo de lesión cutánea inducida por radiación es mayor después de procedimientos más complejos que requieren un tiempo de fluoroscopia más largo y múltiples adquisiciones de DSA.⁵⁸ A pesar de que se excede el umbral de 2 Gy en hasta el 30% de los procedimientos EVAR,⁵⁹ las lesiones cutáneas son más frecuentes.



no se informa con frecuencia. Este también es el caso de EVAR más complejos con dosis acumuladas más altas.⁶⁰⁻⁶² Esto puede ser, en parte, el resultado de una notificación insuficiente, ya que las lesiones en la piel pueden aparecer hasta cuatro semanas después de la exposición, momento en el cual el paciente ya tiene abandonaron el hospital y no se practica ampliamente la monitorización a largo plazo de la piel para detectar evidencia de daño.

2.5.5. Riesgos asociados a la exposición ocupacional a la radiación para los operadores. Los informes hasta la fecha han señalado una mayor incidencia de cáncer de tiroides, cerebro, mama y cáncer de piel melanomatoso después de la exposición ocupacional a la radiación en trabajadores médicos.⁶³⁻⁶⁵ Los cánceres de piel no melanomatosos, como el carcinoma de células basales, también son más prevalentes después de la exposición ocupacional. exposición a la radiación, especialmente en aquellos con color de cabello más claro.⁶⁶ También se han informado asociaciones positivas entre la exposición prolongada a dosis bajas de radiación y la leucemia.⁶⁷ En general, los trabajadores médicos expuestos a dosis bajas repetidas dosis de radiación tienen un 20% más de riesgo de cáncer cuando en comparación con los profesionales que no han recibido radiación.^{68,69} Un estudio encontró que las personas pueden tener hasta un 45% más de riesgo de mortalidad relacionada con el cáncer después de trabajar más de 40 años como radiólogos intervencionistas.⁷⁰ La mayor exposición a la radiación en el lado izquierdo y central de la cabeza en comparación con el derecho⁷¹ y los informes de una mayor prevalencia de tumores del lado izquierdo en intervencionistas sugieren la posibilidad de una relación causal con la exposición a la radiación ocupacional.⁷² Sin embargo, hay otros estudios que refutan una relación causal entre la exposición a la radiación ocupacional y la cabeza y el desarrollo de tumores cerebrales malignos.⁷³ Múltiples factores de confusión, ausencia de estudios en grandes cohortes a largo plazo de

Sin embargo, los trabajadores y un historial de dosis inadecuado han significado que todavía no haya evidencia concluyente de que la exposición ocupacional a la radiación conduzca a una mayor incidencia de enfermedades malignas. Se necesitan estudios longitudinales mejor diseñados que monitoreen los efectos a largo plazo sobre la salud de la exposición a la radiación en operadores endovasculares.

Hasta hace poco, se pensaba que las cataratas inducidas por la radiación eran una secuela determinista de exposiciones a la radiación de 5 Gy por exposición aguda única y 8 Gy por exposición prolongada. Ahora se piensa que la opacificación del cristalino puede ocurrir con exposiciones inferiores a 2 Gy y que puede que no exista un umbral de dosis seguro.⁷⁴⁻⁷⁷ De hecho, se ha informado un mayor riesgo de opacidad del cristalino para dosis inferiores a 0,5 Gy.⁷⁸ Parece que los intervencionistas cardíacos tienen un riesgo de cataratas entre tres y seis veces mayor que la población general.^{79,80}

Se cree que la enfermedad cardiovascular inducida por radiación se produce como resultado de una aterosclerosis acelerada; varios estudios han informado de un aumento en el riesgo de enfermedades cardiovasculares en pacientes tratados con radioterapia.⁸¹⁻⁸⁴ De manera similar, se ha descubierto que los trabajadores médicos sometidos a radiación tienen un mayor riesgo de sufrir enfermedades cardíacas isquémicas y cerebrovasculares.⁸⁵

3. LEGISLACIÓN SOBRE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN A TRABAJADORES EXPUESTOS A LA RADIACIÓN

3.1. Marco para la legislación sobre seguridad radiológica La base jurídica para la protección del público y de los trabajadores expuestos a la radiación se define en la Directiva Europea sobre Normas Básicas de Seguridad (EBSS).⁸ Estas normas se desarrollaron tras una revisión detallada de los documentos científicos publicados.

evidencia por el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) y la ICRP, y luego acordado a través de un riguroso proceso de consulta con organismos relevantes, la industria y las partes interesadas individuales dentro de los propios estados miembros de la Unión Europea.

La EBSS describe las normas de protección contra los riesgos asociados a la exposición a radiaciones ionizantes. Para las poblaciones médicamente expuestas, el EBSS enfatiza particularmente la necesidad de justificar la exposición médica, introduce nuevos requisitos relacionados con la información del paciente y fortalece la base para registrar y notificar las dosis de los procedimientos radiológicos. Promueve el uso de DRL (consulte el Capítulo 2) y describe la seguridad radiológica óptima para los operadores endovasculares.^{8,86,87}

La guía de la ICRP, publicada en 2012,²⁸ recopiló las investigaciones más actualizadas en protección radiológica y formuló una serie de recomendaciones que indicaban posibles cambios en las normas de protección radiológica. El EBSS se actualizó posteriormente en 2013 y se implementó en la legislación europea en febrero de 2018. El EBSS actualizado contiene una serie de cambios, entre los que destaca la necesidad de una mayor protección del cristalino del ojo con un límite de dosis de exposición revisado. Otras estipulaciones nuevas notables fueron las recomendaciones para el uso de DRL y la necesidad de registrar la información dosimétrica mediante sistemas de imágenes y su transferencia al informe del examen (ver Capítulo 5). Sin embargo, en última instancia, la EBSS es una directiva del consejo que establece regulaciones de alto nivel, delegando la responsabilidad de su interpretación e implementación a los estados miembros.

3.2. Legislación actual que define límites seguros de exposición a la radiación

Se define a los trabajadores expuestos a la radiación como aquellos mayores de 18 años que trabajan con radiaciones ionizantes, y que por tanto pueden estar en riesgo de recibir dosis de radiación superiores al límite de exposición pública estipulado de 1 mSv por año de dosis efectiva. Vale la pena señalar que el público está expuesto a distintos niveles de radiación natural de fondo, incluida la radiación gamma terrestre, los rayos cósmicos y los radionucleidos como el radón.

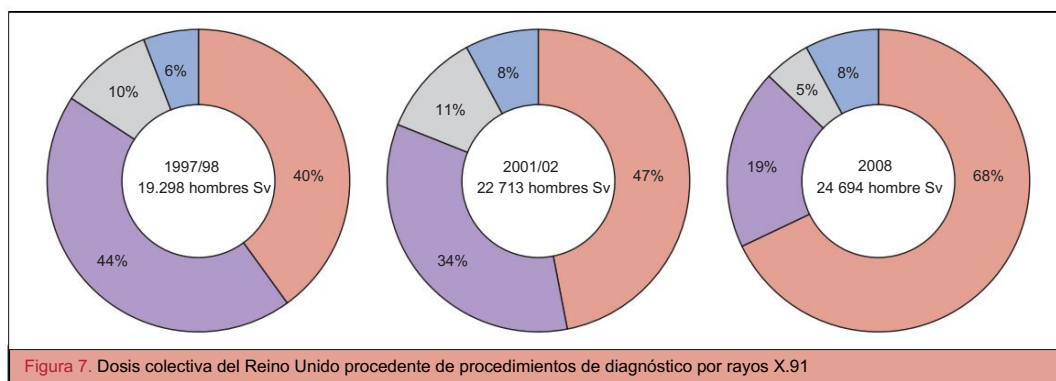
En el Reino Unido, la exposición a la radiación médica representa aproximadamente el 16% de la exposición anual promedio de 2,7 mSv del público (UKHSA <https://www.ukhsa.gov.uk/about-us/our-work/protecting-the-public>).

[ukhsaprotectionservices.org.uk/radiationandyou/](https://www.ukhsaprotectionservices.org.uk/radiationandyou/)), el equivalente a aproximadamente 0,43 mSv. La dosis efectiva media anual de imágenes médicas en Europa es de aproximadamente 1,1 mSv. En los Estados Unidos (EE. UU.), las dosis no terapéuticas contribuyen aproximadamente al 48% del nivel promedio, pero vale la pena señalar que entre 2006 y 2016 la dosis médica efectiva anual promedio individual de radiación médica disminuyó de 2,92 a 2,16 mSv.^{88e90} Las exposiciones que se producen como consecuencia de las imágenes por TC representan una gran proporción de esta exposición médica y han aumentado sustancialmente en los últimos años (p. ej.

Fig. 7, para el Reino Unido). En el mismo período, la exposición a los rayos X convencionales ha disminuido.

Para exposiciones ocupacionales, incluidas las de aprendices y estudiantes, el límite de dosis efectiva en todo el cuerpo es de 20 mSv por año. Además, el límite de dosis equivalente para el cristalino del ojo es de 20 mSv en un solo año o 100 mSv en cinco años consecutivos, sujeto a una dosis máxima de 50 mSv en un solo año.⁸ El límite de dosis equivalente para la piel y extremidades es de 500 mSv al año. Para la piel, esto se promedia sobre cualquier área de 1 cm², independientemente del área total expuesta.

Dependiendo del probable riesgo de exposición ocupacional, los trabajadores pueden clasificarse en la categoría "A" o en la categoría "B".⁸ Los trabajadores de categoría A son aquellos que probablemente (1) superen dosis de exposición efectiva de 6 mSv/año; o (2) una dosis equivalente superior a 15 mSv por año en el cristalino del ojo; o (3) una dosis equivalente superior a 150 mSv por año en la piel y las extremidades. Los trabajadores expuestos a la radiación de los que no se espera que superen los límites estipulados para la categoría A se clasifican en la categoría B. Los trabajadores de la categoría A deben estar sujetos a un seguimiento individual sistemático de la dosis realizado por un servicio de dosimetría de radiación aprobado.⁸ Un servicio de dosimetría se refiere a un servicio de dosimetría acreditado a nivel nacional, o proveedor designado de otro modo de dispositivos de monitoreo de dosis, incluidas, entre otras, insignias de dosis, como se analiza con más detalle en el Capítulo 4. Las alternativas al seguimiento realizado por un servicio de dosimetría, para los trabajadores de categoría B, incluyen estimaciones basadas en la vigilancia del lugar de trabajo o utilizando métodos de cálculo aprobados. En la práctica, la mayoría de los Estados miembros abordan esto designando a los trabajadores de la categoría A como "clasificados". Una vez designados como clasificados, están sujetos a una evaluación adecuada de la magnitud de las exposiciones probables, a la optimización de su protección radiológica, educación y capacitación, y a vigilancia médica anual.^{8,9} Para los trabajadores de categoría B, algunos estados miembros de la Unión Europea Unión Europea (UE) puede exigir



monitoreo, pero las regulaciones varían de un país a otro. Se requiere el asesoramiento de un MPE (o experto en protección radiológica) y una evaluación preliminar del riesgo probable de exposición para clasificar al trabajador en A o B y decidir la dosimetría y la estrategia de protección radiológica del individuo.

Cualquiera que sea el marco de protección que se implemente en la práctica, existe evidencia clara de que los intervencionistas pueden mitigar los riesgos asociados con la exposición a radiaciones ionizantes siguiendo las prácticas de seguridad establecidas.⁹²

La Directiva Europea sobre Normas Básicas de Seguridad⁸ (Tabla 6) incluye las funciones y responsabilidades del MPE. La Directiva indica que el MPE debe participar en las prácticas de radiología intervencionista y debe asumir la responsabilidad de la dosimetría, incluida la evaluación de la dosis administrada al paciente, dar asesoramiento sobre equipos radiológicos médicos y contribuir a la optimización de la protección radiológica (incluido el uso de DRL). El MPE también debería contribuir a la definición y realización del aseguramiento de la calidad del equipo radiológico médico, las pruebas de aceptación, la vigilancia de las instalaciones radiológicas médicas, el análisis de eventos que involucren, o que potencialmente involucren, exposiciones médicas accidentales o no intencionadas, y la capacitación de profesionales y otros personal en aspectos relevantes de la protección radiológica.

Recomendación 5		
Todo el personal que pueda estar expuesto a radiaciones ionizantes en su lugar de trabajo deberá cumplir con la legislación Europea y Nacional.		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	Publicación ICRP 118 (2012), ²⁸ EBSS (2013), ⁸ Casar et al. (2016), ⁸⁷ Stahl et al. (2016), ⁹² Publicación ICRP 139 (2018), ⁹ Weiss et al. (2020) ⁹³

Recomendación 6		
Los empleadores deben controlar el cumplimiento por parte del personal expuesto a la radiación de la legislación relativa a los límites de exposición a la radiación.		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	Publicación ICRP 118 (2012), ²⁸ EBSS (2013), ⁸ Publicación ICRP 139 (2018) ⁹

3.3. Embarazo y exposición a la radiación La

exposición a la radiación en la trabajadora embarazada merece una consideración especial para garantizar una protección adecuada del feto. El Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas (NCRP), el Informe de mediciones sobre la exposición a la radiación antes de la concepción y la exposición prenatal y el documento 117 de la ICRP proporcionan revisiones integrales de los efectos en la salud asociados con las dosis prenatales, así como orientación sobre el equipo de protección (discutido en [Capítulo 6](#)).^{10,90,94,95} En términos de riesgos previos a la concepción, no hay evidencia directa de que la radiación ionizante pueda causar enfermedades hereditarias en los hijos de personas irradiadas.^{96e98} Las trabajadoras embarazadas y lactantes están sujetas a límites adicionales. con el feto sujeto a la misma protección que el resto del público. Existe evidencia de que la radiación ionizante puede causar mutaciones genéticas en el feto que están asociadas con enfermedades; por lo tanto, se debe considerar este riesgo y dosis al embrión de > 0,1 Gy pueden estar asociadas con riesgos deterministas como malformaciones congénitas y discapacidad de crecimiento o intelectual.^{10,97} La muerte fetal se considera un riesgo sólo cuando las exposiciones superan los 2 Gy, y esto sólo se evidencia en [estudios en animales](#).^{10,90,97} El informe ICRP 11710 recomienda que la dosis fetal se mantenga por debajo de 1 mSv durante el transcurso del embarazo durante trabajadores de la radiación médica.⁸ Cabe señalar que la dosis pa

Tabla 6. Límites de exposición a la radiación establecidos por la Directiva europea sobre normas básicas de seguridad ⁸					
Individual	Subclasificación	Límites anuales			Consideraciones adicionales/ notas
		Todo el cuerpo	Piel y extremidades	Lente del ojo	
Trabajadores que reciben radiación	Trabajadores de categoría A (aquellos potencialmente expuestos a una dosis efectiva > 6 mSv/año o una dosis de lente > 15 mSv/año)	20 mSv	500 mSv (para piel, promediado sobre cualquier área de 1 cm ²)	20 mSv (promediado durante cinco años pero sin exceder los 50 mSv en un solo año)	Requisito de seguimiento sistemático basado en mediciones individuales realizadas por un servicio de dosimetría, como se describe en la sección 4.3
	Trabajadores de categoría B (aquellos potencialmente expuestos a una dosis efectiva <6 mSv o una dosis de lente <15 mSv), incluidos los aprendices mayores de 18 años.				
	Trabajadoras embarazadas				
Miembros del público en general.	Aprendices de 16 a 18 años	6 mSv	10 mSv	15 mSv	La justificación de todas las exposiciones médicas es un requisito legal. No existe un límite de dosis médica establecido, pero las exposiciones deben mantenerse lo más bajas posible
		1mSv			

trabajador y el feto suele ser $< 0,3$ mSv y $< 0,1$ mSv, respectivamente.⁹⁹ Los estudios en operadores que realizan procedimientos endovasculares han encontrado una exposición mínima al feto.^{92,100} Los riesgos de radiación son mayores durante la preimplantación y la organogénesis y partes del primer trimestre, algo menos en el segundo trimestre, y menos en el tercer trimestre.¹⁰¹ Se necesita más educación sobre la necesidad de consideraciones especiales para las trabajadoras embarazadas, ya que esto no es bien comprendido por el personal y los empleadores.⁹⁵ Las percepciones del riesgo de exposición a la radiación deben manejarse teniendo en cuenta que la dosis fetal por exposición ocupacional generalmente permanece muy por debajo de los límites recomendados y que las operadoras endovasculares pueden integrar el embarazo de manera segura en sus carreras.

Una miembro del personal embarazada debería poder buscar una consulta confidencial con el experto en protección radiológica, MPE o equivalente para revisar el historial de dosis y determinar si se requiere algún cambio en las prácticas laborales. Generalmente se implementa un monitoreo más frecuente de la dosis de radiación. Deben reconocerse las dificultades prácticas relacionadas con la disposición de las empleadas a declarar embarazos antes de las 12 semanas de gestación, consideradas como el momento después del cual es más probable que el embarazo llegue a término.¹⁰² La CIPR es clara en que la discriminación por motivos de género y Se debe evitar un embarazo potencial o real, y en ICRP 117.¹⁰ también se brinda orientación específica adicional sobre cómo garantizar que la mujer tenga suficiente capacitación y comprensión en materia de protección radiológica para que esté en condiciones de tomar decisiones apropiadas. La responsabilidad de tomar la decisión sobre cuándo se informa al empleador.

Una encuesta de 181 cirujanas vasculares encontró que más de la mitad de las 53 encuestadas quedaron embarazadas durante el entrenamiento o la práctica y $> 60\%$ realizó procedimientos endovasculares durante el embarazo.⁹⁴ Con la implementación de un programa para declarar el embarazo, la evaluación de las dosis de radiación y el uso de protección adecuada Durante el embarazo, es posible que el personal médico realice procedimientos y actividades normales sin incurrir en riesgos importantes para el feto.¹⁰³

Recomendación 7		
Debe existir una vía bien definida en cada institución para que las empleadas embarazadas declaren su embarazo a fin de gestionar las exposiciones ocupacionales posteriores a la radiación.		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	Dauer et al. (2015), ¹⁰⁴ Sarkozy et al. (2017), ¹⁰⁵ Shaw et al. (2012), ⁹⁴ Bordoli et al. (2014), ⁹⁵ Stahl et al. (2016), ⁹² Suárez et al. (2007), ¹⁰² Publicación ICRP 117 (2010), ¹⁰ Chu et al. (2017) ¹⁰³

4. MEDICIÓN, MONITOREO Y NOTIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN OCUPACIONAL

4.1. Antecedentes e introducción

A diferencia de los pacientes que normalmente tienen un número limitado de exposiciones a dosis más altas, los operadores endovasculares son

expuestos regularmente a dosis bajas de radiación durante toda su vida laboral y es importante registrar la dosis acumulada absorbida por el operador.^{9,106-110} Los dos valores que suelen medir los dosímetros ocupacionales son la "dosis equivalente personal" en el tejido blando a 0,07 mm por debajo de la superficie corporal, denotado como Hp (0,07) y a 10 mm por debajo de la superficie corporal, Hp (10). Hp (3 mm) también está disponible para dosimetría del cristalino.

4.2. Monitoreo de la exposición a la radiación durante intervenciones endovasculares

La exposición a la radiación varía según el tipo de procedimiento endovascular; los procedimientos más complejos conllevan una mayor carga de radiación (consulte el [Capítulo 2](#)).^{111,112} La exposición a la radiación también está influenciada por el tipo de arco en C utilizado. Las configuraciones móviles y los equipos de generación más antigua producen imágenes utilizando una dosis de radiación más alta en comparación con los sistemas de imágenes fijos de última generación, debidamente configurados. Las variaciones en la posición y el funcionamiento del arco en C pueden alterar notablemente la dosis de radiación tanto para los pacientes como para el personal. Durante la reparación endovascular de aneurismas aórticos toraco-abdominales (TAAA), un complejo procedimiento guiado por rayos X, la dosis efectiva del operador promedió 0,17 mSv/caso.¹¹² Un estudio que midió la exposición a la radiación durante la EVAR encontró una exposición sustancial en la región de la sien la cabeza (el lado de la cabeza detrás de los ojos) de los anestesiistas,¹¹³ lo que sugiere que es importante considerar la exposición de todo el equipo y no solo de los operadores endovasculares. Se recomienda que todo el personal expuesto regularmente a la radiación durante el trabajo en el quirófano endovascular, incluidos los alumnos, enfermeras, enfermeras circulantes, técnicos y anestesiistas, utilicen dosímetros. Otras personas visitantes, como estudiantes de medicina y observadores, pueden usar un dosímetro si es posible.^{9,33}

El NCRP y la ICRP recomiendan el uso de dos dosímetros para monitorear la exposición a la radiación, uno bajo plomo (protegido por el delantal protector, usado en la parte frontal del cuerpo, en el área del torso principal, desde la cintura hasta el cuello.) y uno sin blindaje encima del delantal a nivel del [cuello](#).^{9,33,114,115} El dosímetro encima del delantal permite la estimación de las dosis de las lentes y la combinación de las dos lecturas de los dosímetros proporciona la mejor estimación disponible de la dosis efectiva. Por recomendación del NCRP, los datos de los dosímetros se utilizan para estimar la exposición de todo el cuerpo (E) combinando Hp (10) de los dosímetros de cuerpo/cintura (HW) y cuello/cuello (HN): Dosis efectiva E (estimación) $\frac{1}{4}$ 0,5HW + 0,25HN.¹¹⁵ El uso antes mencionado de un dosímetro colocado al nivel del cuello fuera del delantal de plomo proporciona una estimación de la exposición

del cristalino, pero puede complementarse colocando un dosímetro adicional dedicado para medir la exposición en el ojo. nivel, ya que algunos operadores endovasculares pueden recibir dosis anuales de lentes oculares cercanas al [límite](#) de dosis de la ICRP.^{9,33,114,116,117}

Recomendación 8		
Todo el personal expuesto regularmente a la radiación en el quirófano endovascular debe usar dos dosímetros de radiación, uno protegido debajo del delantal protector y otro sin blindaje encima del delantal.		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	Publicación ICRP 139 (2018),9 Publicación 103 de la CIPR (2007)33

También se pueden colocar dosímetros adicionales en los dedos, pero se recomienda ser consciente del riesgo de problemas de esterilidad. Las dosis para los ojos, las manos y los pies son generalmente mayores en el lado más cercano a la fuente de radiación debido a la posición del operador con respecto a la fuente de radiación y la dirección de viaje de la radiación dispersa.118,119

Recomendación 9		
Los operadores endovasculares pueden considerar usar dosímetros adicionales: (i) a la altura de los ojos y (ii) en el dedo.		
Clase	Nivel	Referencias
IIb	C	Bacchim et al. (2016),114 Albayati et al. (2015),120 Bordy et al. (2011),116 Comisión Europea Radiación Protección No. 160 (2009)121

4.3. Dispositivos personales de monitoreo de la exposición a la radiación El uso de dispositivos personales de monitoreo de la radiación y la evaluación periódica de los datos dosimétricos personales promueven prácticas ocupacionales más seguras.122,123 Los dosímetros regulatorios se utilizan en programas de seguridad radiológica para medir la dosis equivalente mensual promedio de radiación ocupacional a la que debe someterse el personal en el quirófano endovascular. habitación están expuestas. Se pueden utilizar diferentes dosímetros personales, incluidos dosímetros termoluminiscentes pasivos (TLD) y dosímetros personales activos (APD). Los dosímetros TLD personales generalmente se procesan mensualmente y no pueden proporcionar información sobre dosis y tasas de dosis en tiempo real durante el procedimiento. Sin embargo, los APD proporcionan una medición inmediata y continua de la exposición a la radiación que puede ser visible para el miembro del personal durante el procedimiento. Este tipo de retroalimentación puede permitir la corrección de comportamientos que resultan en una mayor exposición, reduciendo así la dosis acumulada de radiación personal durante el procedimiento (ver [Capítulo 5](#)).124,125 Un TLD es un dosímetro de radiación personal de uso

común que consiste en un trozo de material cristalino termoluminiscente dentro de un paquete radiotransparente.106 Cuando un cristal termoluminiscente se expone a radiación ionizante, absorbe y atrapa parcialmente la energía de la radiación en su red cristalina. Cuando se calienta, el cristal libera la energía atrapada en forma de luz visible, cuya intensidad es proporcional a la intensidad de la radiación ionizante a la que estuvo expuesto el cristal. Un detector especializado mide la intensidad de la luz emitida, y esto

La medición se utiliza para calcular la dosis aproximada de radiación ionizante a la que estuvo expuesto el cristal. Los TLD tienen una alta sensibilidad y permiten medir con precisión dosis inferiores a 1 mGy y superiores a 1 Gy.126

La dosimetría de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) es otro método bien establecido para informar dosis individuales.127 Estos dosímetros pasivos funcionan de manera similar a los dosímetros TLD pero mucho más rápido y con una eficiencia mejor o al menos igual; pero además, brindan lecturas repetidas a diferencia del TLD, que es un dispositivo que se procesa una vez y es desechable. OSL también se ha convertido en un dosímetro práctico en tiempo real para mediciones in vivo y puede convertirse en la primera opción para mediciones de dosis puntuales en aplicaciones clínicas.

Los dosímetros en tiempo real, también llamados dosímetros personales activos (APD), miden y registran la exposición a la radiación en tiempo real y, mediante una conexión inalámbrica, muestran continuamente la cantidad de exposición personal.128,129 Además de mostrar información en tiempo real, estos sistemas pueden emitir opcionalmente una señal acústica o Aviso óptico cuando se exceden ciertos límites de dosis de radiación en tiempo real. El uso de este tipo de dosimetría está aumentando y se ha demostrado que reduce la exposición del personal a la radiación durante los procedimientos endovasculares.129-132 La precisión de algunos DPA es cuestionable, por lo que se requiere el asesoramiento de un MPE al utilizar dichos dispositivos.

Recomendación 10		
Todo el personal del quirófano endovascular debe considerar la dosimetría en tiempo real, además de la dosimetría personal.		
Clase	Nivel	Referencias
IIa	C	Müller et al. (2014),132 Chida et al. (2016),128 Inaba et al. (2018)129

4.4. Monitoreo y notificación de dosis de radiación ocupacional.

Los registros de dosis suelen ser evaluados por un servicio independiente y no por la institución que emplea al profesional médico. Todas las mediciones de dosis deben ser realizadas por un experto en servicios de dosimetría acreditado según la norma ISO 17025 para determinar la estimación de dosis equivalente y garantizar de manera confiable el cumplimiento de los límites de dosis.133

Los registros de exposición ocupacional deben incluir información sobre la naturaleza del trabajo, exposición incluyendo todos los empleos, resultados de la vigilancia de la salud, educación y capacitación sobre protección radiológica (incluidos cursos de actualización), resultados del monitoreo de la exposición, evaluaciones de dosis y resultados de cualquier investigación de valores de exposición anormales. Los empleadores deben proporcionar al personal acceso a los registros de su propia exposición ocupacional.9

Se debe fortalecer la educación, la capacitación y la retroalimentación relacionadas con la dosimetría de la radiación. Las instituciones deben tener un MPE y un oficial de protección radiológica dedicado para gestionar la distribución de dosímetros al personal y el seguimiento de las exposiciones individuales del personal.134,135

Recomendación 11		
Los servicios vasculares deben identificar de manera preventiva al personal que pueda establecer mecanismos regulares de retroalimentación predeterminada con el personal para informarles sobre las dosis de radiación personales y gestionar de manera proactiva cualquier irregularidad para respaldar las mejoras continuas.		
Clase	Nivel	Referencias
I	C	Publicación ICRP 139 (2018), ⁹ Sailer et al. (2017), ¹³⁴ Borrego et al. (2020) ¹³⁵

4.5. Inexactitud e incertidumbre asociadas con la dosimetría personal

Debe reconocerse que no usar dosímetros para cada procedimiento, colocar el dosímetro en un lugar inadecuado del cuerpo y dejar el dosímetro en un ambiente donde esté expuesto a la radiación puede dar lugar a que se registren valores de dosis de exposición acumulativa no confiables.

Las fórmulas diseñadas para derivar las exposiciones ocupacionales sobreestiman rutinariamente la dosis efectiva real.¹³⁶

5. PRÁCTICA DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA EN EL QUIRÓFANO ENDOVASCULAR

5.1. El principio "tan bajo como sea razonablemente alcanzable" (ALARA)

Los beneficios de las radiaciones ionizantes para la sociedad, y en particular para la ciencia médica, deben sopesarse con los riesgos estocásticos y deterministas de los efectos sobre la salud (véanse los [Capítulos 2 y 3](#)). Para ello, la ICRP promueve el uso de tres principios clave: justificación, optimización y límites de dosis. Para los usos médicos de la radiación ionizante, la justificación de que el uso de la radiación debe hacer más bien que mal, siempre debe ser clara. Al menos para los pacientes, los límites de dosis generalmente no son aplicables, ya que los beneficios del uso de radiación ionizante claramente superan los pequeños riesgos incrementados y tales límites harían más daño que bien. Sin embargo, para los operadores endovasculares se deben respetar los límites de dosis.

El concepto clave en la protección radiológica médica es, por tanto, la optimización, para lo cual se define el principio ALARA: las dosis para operadores y pacientes deben ser "tan bajas como razonablemente alcanzable".^{33,137e142}

Al igual que todos los usuarios ocupacionales de radiación ionizante, los operadores endovasculares deben proteger a sus pacientes, a sus alumnos, a todo el equipo y a ellos mismos de los efectos potencialmente dañinos de la radiación.¹⁴³ La seguridad radiológica comienza con el desarrollo de buenos hábitos relacionados con el uso y la protección contra la radiación. Una vez que se comprenden los principios básicos de la seguridad radiológica, su implementación en las rutinas diarias proporciona un entorno de trabajo seguro para todos los proveedores de atención médica, el personal y los pacientes involucrados en el uso de la radiación. Como ocurre con todas las decisiones en medicina, el uso de los rayos X se basa en un equilibrio entre beneficios y riesgos. El principio ALARA es, por tanto, una excelente referencia para facilitar esto.

ALARA protege tanto al paciente como al operador. Este principio implica que (1) un procedimiento debe realizarse sólo si los beneficios esperados superan los riesgos potenciales.

inducido por una exposición a rayos X; y (2) durante el procedimiento, se deben utilizar las dosis de radiación más bajas mientras se mantiene una calidad de imagen suficiente para realizar el caso de manera segura. La justificación para el uso de radiación ionizante debe en todos los casos sopesarse frente al riesgo pequeño pero no nulo de posibles efectos adversos para la salud, como se describe en el [Capítulo 2](#), y es responsabilidad del operador endovascular y, de hecho, de cada miembro del personal involucrado en planificación del tratamiento para garantizar que se aplique la justificación adecuada y que el paciente reciba la información adecuada sobre el riesgo de radiación.

Siempre se debe llevar a cabo una conversación informada con el paciente, con especial cuidado en describir los riesgos y beneficios cuando el procedimiento implica cualquiera de los siguientes:

- (1) Pacientes pediátricos o jóvenes con exposición prevista a órganos radiosensibles como ojos, mamas, gónadas y glándula tiroides. Los niños no sólo son más sensibles a los efectos de la radiación que los adultos sino que, después de la exposición a la radiación, los niños tienen una esperanza de vida posterior a la exposición más larga en la que pueden presentar efectos adversos a la radiación.¹⁴⁴
- (2) Los pacientes que pesan menos de 10 kg o más de ¹²⁵ kilogramos.
- (3) Personas embarazadas.
- (4) Procedimientos que se prevé que resulten en una exposición prolongada a la radiación como resultado de la complejidad técnica.
- (5) Exposición repetida a la misma región del cuerpo dentro de los 60 días.

Los tres componentes de la práctica que contribuyen a ALARA son el tiempo, la distancia y el blindaje. Es importante minimizar el tiempo de exposición a la radiación. Maximizar la distancia entre el cuerpo y la fuente de radiación reducirá la exposición. Por último, el uso de material absorbente de radiación, incluido el equipo de protección personal (EPI), es un componente clave (sección [6.2](#)). Los aspectos prácticos de la práctica endovascular que contribuyen a ALARA se enumeran en la [Tabla 7](#).

Recomendación 12		
Todo el personal del quirófano endovascular debe respetar el principio Tan bajo como sea razonablemente posible (ALARA).		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	Publicación ICRP 103 (2007), ³³ Publicación ICRP 105 (2007), ¹³⁷ Hertault et al. (2015), ¹³⁸ Resch et al. (2016), ¹³⁹ Maurel et al. (2017), ¹⁴⁰ Stangenberg et al. (2018), ¹⁴¹ Doyen et al. (2020) ¹⁴²

5.2. Minimizar la radiación emitida por el arco en C La

comprensión de las funciones básicas del arco en C y la interacción del operador con la máquina y el entorno circundante es esencial para reducir la dosis de radiación emitida. Avances

Tabla 7. Los aspectos de la práctica que contribuyen al principio Tan bajo como sea razonablemente posible (ALARA) son función de los siguientes procesos: 1. el número de imágenes producidas, 2. la dosis requerida para producir cada imagen y 3. estrategias para evitar la exposición innecesaria

1. Limitar el número de imágenes producidas Usar
protocolos de imágenes de dosis baja Usar
fluoroscopia en modo de pulso Limitar
la frecuencia del pulso de fluoroscopia
Limitar el tiempo de
fluoroscopia Usar técnicas de imágenes avanzadas (p. ej., fusión de imágenes)
Permitir que el operador controle las imágenes
Utilice algoritmos DSA que limiten la velocidad de fotogramas y el número de imágenes adquiridas
2. Limite la dosis necesaria para producir imágenes
Utilice colimación
Limite la angulación del arco
en C Optimice las posiciones del detector, el generador y la mesa
Tenga en cuenta la exposición automática del sistema de imágenes
Limite el uso de DSA
Evite la ampliación o utilice una ampliación digital Utilice la
eliminación de la rejilla antidispersión cuando sea apropiado
Planificación previa al
procedimiento 3. Evite la exposición innecesaria
Utilice vainas largas para maximizar la distancia del operador a la fuente de radiación.
Mantenga la distancia de la fuente durante todo el procedimiento y salga de la sala durante exposiciones altas
Utilice protecciones y prendas protectoras.

DSA ¼ angiografía por sustracción digital.

en hardware y software de imágenes también han ayudado a reducir aún más la exposición. Se pueden usar varios modos de imágenes para procedimientos guiados por rayos X que afectan la cantidad de radiación utilizada, incluidos modos relacionados con fluoroscopia, DSA y tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). CBCT se refiere a una modalidad, disponible en los quirófanos endovasculares modernos, que permite obtener imágenes transversales mientras el paciente permanece en la mesa de operaciones. De manera similar a los datos de TC estándar, el conjunto de datos de imágenes se puede procesar en una estación de trabajo tridimensional (3D) y representarse en reconstrucciones multiplanares (MPR), reconstrucciones 3D o reconstrucciones de tipo proyección de intensidad máxima y mínima. La dosis de radiación del paciente por imagen (y la calidad de la imagen) varían considerablemente según la configuración del sistema de rayos X y los protocolos predeterminados de arco en C para lograr la calidad de imagen deseada por tipo de procedimiento en las configuraciones más bajas.

5.3. Configuraciones de dosis bajas

5.3.1. Tiempo de fluoroscopia y retención de la última imagen. Uno de los factores más importantes en la exposición a la radiación tanto del paciente como del personal es el “tiempo de pedaleo”: el tiempo que el operador tiene el pie en el pedal que inicia la exposición para obtener imágenes.^{145,146} La fluoroscopia solo debe usarse cuando se requiere información, como observar objetos en movimiento,¹⁴⁷ incluido el uso de golpes cortos de fluoroscopia “puntual” al retirar cables y catéteres e inflar/desinflar globos^{145,147,148} y desconectar el pedal tan pronto como se completa la adquisición de datos.¹³⁸ Los registros fluoroscópicos en bucle también se pueden utilizar para revisar procesos dinámicos,¹⁴⁷ incluso reemplazando a DSA en algunos casos. La “retención de última imagen” es una función de reducción de dosis disponible en casi todas las unidades fluoroscópicas para permitir a los intervencionistas contemplar imágenes durante los procedimientos sin necesidad de

exposición continua y es una característica obligatoria de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA). Cuando se detiene la exposición a los rayos X, el promedio de los últimos fotogramas de fluoroscopia se puede mostrar como una imagen “congelada” para su visualización.^{145,149-152} Es importante tener en cuenta que los distintos arcos en C registran el tiempo total de fluoroscopia de forma diferente. Algunos sistemas registran el número total de segundos que se activa el pedal (tiempo total de pedaleo) y otros utilizan la acumulación más precisa de pulsos de fluoroscopia (FT total).

5.3.2. Ajustes de dosis y control automático de brillo. La cantidad de radiación producida por el arco en C depende de la energía necesaria para generar el haz de rayos X.¹⁴⁸ Esto, a su vez, está determinado por el miliamperaje (mA) y los kilovoltios pico (kVp) aplicados a través del tubo.^{148,150,151} Los mA y la configuración de kVp controla la cantidad de fotones producidos y el contraste de la imagen (consulte el Apéndice 1). La calidad de la imagen mejora aumentando los mA, pero a costa de una mayor radiación.¹⁴⁸ Los arcos en C modernos utilizan algoritmos de

control automático de brillo (o exposición) (ABC o AEC) que optimizan la calidad de la imagen ajustando automáticamente la dosis de radiación según la retroalimentación de un fotodiodo. dentro del intensificador de imagen.^{138,148,153} Si este fotodiodo detecta una baja calidad de imagen, el ABC aumenta automáticamente la exposición a los rayos X para mejorarla, aumentando la dosis de radiación sin que el operador siempre se dé cuenta. Por lo tanto, es importante estar alerta en las siguientes situaciones en las que ABC aumentará sustancialmente la dosis: (1) pacientes obesos; (2) campo que contiene material radiodenso extraño, como partes del cuerpo fuera del área de interés u objetos metálicos como cortinas antidispersión; y (3) ángulos pronunciados del pórtico.

La salida de radiación del fluoroscopio está determinada por la energía utilizada para generar el haz, que es un producto del número de fotones producidos (mA) y su penetrancia (kVp).¹⁴⁸ Además de las configuraciones básicas de mA y kVp, los arcos en C modernos ofrecen ajustes adicionales de dosis baja para reducir la dosis de radiación.¹³⁹ Los ajustes predeterminados en la mayoría de las máquinas modernas suelen ser dosis baja o dosis extrabaja,¹⁵⁴ pero se pueden elegir ajustes para reducir aún más la exposición sin afectar necesariamente la calidad de la imagen, como combinar un aumento de kVp con mA inferior correspondiente.^{112,148,150} Puede ser valioso buscar ayuda de los fabricantes de arco en C para lograr la calidad de imagen deseada por tipo de procedimiento en las configuraciones más bajas. Aumentar el kVp de 75 a 96 kVp de esta manera, con la correspondiente reducción en mA, puede disminuir la dosis de entrada en un 50%,¹⁴⁸ con el uso rutinario de configuraciones de media dosis que reducen notablemente la dosis en la piel con solo una reducción menor en la calidad de la imagen.¹⁵⁵ Tales reducciones en las dosis para los pacientes no siempre implican una reducción similar en las dosis ocupacionales para los operadores.¹⁵⁶ Estas reducciones de exposición se pueden lograr sin impactar negativamente las tareas de procedimiento.^{155,157,158} Es importante para la persona responsable (operador endovascular, radiólogo o MPE) para señalar que la terminología de fijación de dosis a menudo difiere entre los fabricantes.¹⁴⁷

5.3.3. Fluoroscopia y frecuencia del pulso. La fluoroscopia se puede emitir de forma continua o en ráfagas pulsadas cortas.^{111,143,159} La fluoroscopia continua puede producir imágenes borrosas.

imágenes como resultado del movimiento del paciente y del equipo, mientras que la fluoroscopia pulsada reduce la borrosidad mediante movimientos que contrarrestan, con el beneficio adicional de reducir la exposición a la radiación.¹⁵⁰

La fluoroscopia pulsada es el modo predeterminado en los brazos en C modernos^{111,145,160} con frecuencias de pulso generalmente disponibles en 30, 15, 7,5, 4 y 2 pulsos por segundo. Como la fluoroscopia analógica temprana se desarrolló inicialmente a 30 cuadros por segundo (fps), la fluoroscopia continua se produjo a 30 pulsos por segundo. El ojo humano y el sistema de recepción visual del cerebro sólo pueden analizar hasta 12 imágenes por segundo, y más de esto no se interpreta como una ilusión de continuidad visual,¹⁶¹ por lo que reducir la frecuencia del pulso de 30 a 15 o 7,5 pulsos/segundo disminuye la dosis de fluoroscopia en un 47% y 72%, respectivamente^{150,162} sin mayor impacto en la calidad de la imagen. Se debe elegir la frecuencia de pulso más baja que produzca una imagen adecuada, ya que los estudios demuestran que el FEVAR complejo se puede realizar adecuadamente a tan solo 3 pulsos/seg.^{111,112,138,150,152,162,163}

Recomendación 13		
Para los procedimientos endovasculares se recomienda el uso de fluoroscopia pulsada en lugar de continua a la frecuencia de pulso más baja posible (7,5 pulsos por segundo o menos) que produzca una imagen de diagnóstico adecuada.		
Clase	Nivel	Referencias
I	C	Rolls et al. (2016), ¹⁶³ Panuccio et al. (2011), ¹¹² Pitton et al. (2012), ¹⁵² Ketteler et al. (2011), ¹⁵⁰ Hertault et al. (2015), ¹³⁸ Monastiriotis et al. (2015), ¹¹¹ Miller et al. (2002) ¹⁶²

5.3.4. Angiografía por sustracción digital y velocidad de fotogramas. DSA describe la adquisición de múltiples imágenes en sucesión dentro de un campo de visión, con la sustracción digital posterior de estructuras no vasculares, como el hueso, dejando una imagen de los vasos con contraste mejorado. El costo de estas múltiples imágenes de alta calidad es un aumento sustancial en la dosis de radiación en comparación con la fluoroscopia,^{138,164} un hecho que parece generalmente subestimado.¹⁶⁵ Se ha demostrado que la contribución de la DSA a la dosis total de radiación durante las intervenciones arteriales y cardíacas periféricas rango entre el 70% y el 90%,^{152,166} y representa el 50% y el 80% de la dosis de radiación durante TEVAR y EVAR, incluso cuando se seleccionaron velocidades de fotogramas bajas de 2/seg.^{165,167} La velocidad de fotogramas DSA describe el número de imágenes grabadas por segundo, distinto de la frecuencia del pulso de fluoroscopia, que describe la cantidad de ráfagas de radiación que emite el fluoroscopio por segundo. En comparación con la fluoroscopia, la DSA se asocia con una tasa de dosis por cuadro al menos 10 veces mayor,¹⁶⁴ y contribuye al 66 % de la dosis de radiación, mientras que solo representa el 23 % del tiempo total de exposición.¹⁶⁸ La dosis de entrada del paciente para una imagen de fluoroscopia puede ser de 10 e 30 mGy, 100 e 300 mGy para un bucle de fluoroscopia y 1 000 e 3 000 mGy (o más) para una imagen DSA. Para los operadores, la DSA genera una dosis de radiación ocho veces mayor que la fluoroscopia.¹⁵²

Si las ejecuciones de DSA son esenciales, la dosis asociada se puede minimizar (1) reduciendo el número de imágenes adquiridas por segundo (velocidad de fotogramas); (2) minimizar el tiempo por ejecución; y (3) limitar el número de adquisiciones.¹⁴⁷ Reducir la velocidad de fotogramas reducirá la dosis de la misma manera que reducir la frecuencia del pulso durante la fluoroscopia,^{112,147,152,165} y el número de fotogramas se correlaciona altamente con la dosis total de radiación.¹⁵² Reducir las velocidades de fotogramas a 7,5 fps desde un modo continuo, por ejemplo, resulta en una reducción del 90% en el número de imágenes, con una reducción equivalente en la dosis de radiación.¹³⁸ Se pueden obtener imágenes adecuadas incluso con velocidades de fotogramas de 2 fps para intervenciones pélvicas y superiores de las piernas y de 1 fps para para intervenciones en la parte inferior de la pierna y el pie.¹⁵² Cabe señalar que la angiografía con CO₂ a menudo necesita velocidades de cuadros más altas (4-6 fps) para obtener imágenes adecuadas y puede estar asociada con dosis de radiación más altas.^{169,170} Algunos sistemas permiten una configuración de velocidad de cuadros variable, que reduce la velocidad de fotogramas una vez que se ha producido la opacificación adecuada de los vasos y esto puede ser de uso.

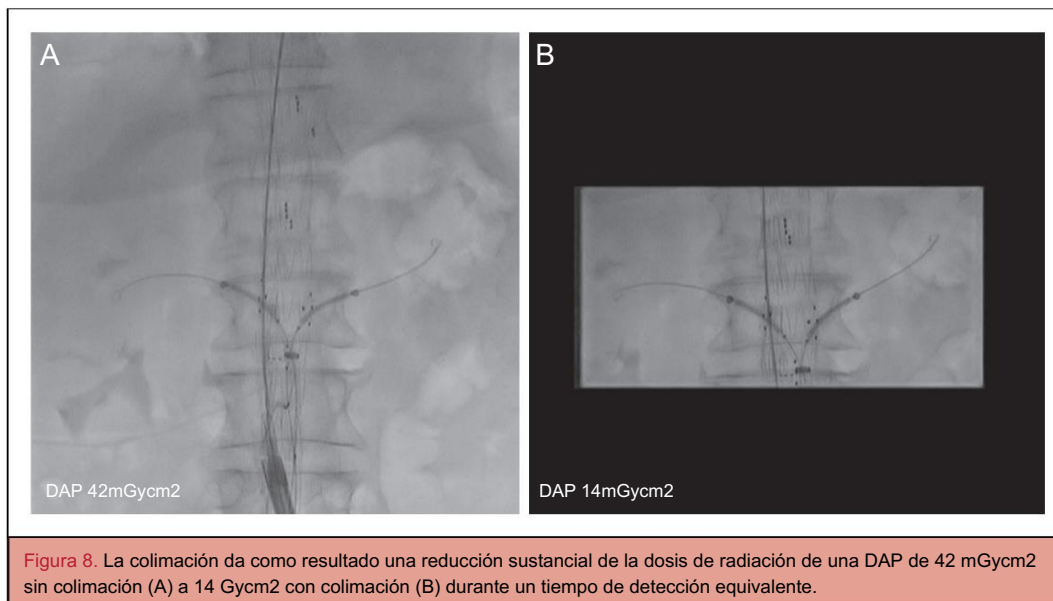
Una de las técnicas más efectivas para reducir la dosis de radiación durante los procedimientos endovasculares es limitar las adquisiciones de DSA a escenas clave y pasos críticos durante el procedimiento.¹⁵² Si las imágenes de alta calidad no son esenciales, entonces los bucles de fluoroscopia a menudo pueden reemplazar la DSA.^{111,138,151,152,160,165,171,172} El operador endovascular necesita para determinar la imagen de menor calidad que aún mantiene la seguridad al permitir un diagnóstico y tratamiento efectivos en todo momento durante el procedimiento.¹⁵⁰ Los arcos en C modernos reducen la necesidad de DSA repetidos al permitir la superposición de una hoja de ruta de un DSA para la canulación del objetivo y la capacidad de regresar la mesa en la posición exacta y superponer un desvanecimiento de un DSA anterior.¹⁵² Algunos arcos en C también permiten que esto se haga mediante fluoroscopia, evitando la radiación adicional requerida para que el DSA realice esta función.

Recomendación 14		
Se recomienda que el uso de la angiografía por sustracción digital (DSA) se limite a los pasos críticos durante los procedimientos endovasculares y que se lleve a cabo con el menor tiempo por ejecución, la menor velocidad de fotogramas y el menor número de adquisiciones posibles para adquirir una imagen adecuada.		
Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Pitton y cols. (2012), ¹⁵² Ketteler et al. (2011), ¹⁵⁰ Hertault et al. (2015), ¹³⁸ Haqqani et al. (2013) ¹⁷¹

* Principio de la física

5.4. Colimación

La colimación utiliza aberturas metálicas dentro de la fuente de rayos X para modificar el haz y minimizar el tamaño del campo de radiación al área de interés requerida.¹⁷² Al darle forma al haz y absorber fotones, la colimación no solo produce imágenes más nítidas al endurecer el haz, sino que también reduce la exposición a la radiación. (Fig. 8) al paciente y al personal médico en



proporción con el tamaño reducido de la imagen, con la consiguiente reducción de la [dispersión.62,112,138,145,150,152,173](#)

Durante los procedimientos cardíacos, por ejemplo, el uso de la colimación reduce la radiación del paciente y del personal en un 40%,¹⁷⁴ y una colimación meticulosa en un arco en C moderno puede reducir el KAP. en un factor de más de [10,175](#) La realización de la colimación horizontal y vertical reduce la dispersión independientemente entre sí con una colimación de 5 cm de cada una, lo que reduce la radiación dispersa hacia el operador, asistente y anestesista en un 86 %, 80 % y 96 % para la colimación horizontal y 88%, 89% y 92% para la colimación vertical, respectivamente.¹⁷⁶ Sin embargo, la colimación reduce la dispersión a costa de una mayor dosis de entrada en la piel del paciente en algunos casos.¹⁷⁶ Al enfocar el campo de radiación en un área más pequeña del paciente, se dispone de un volumen mayor de tejidos del paciente para atenuar la dispersión antes de salir del paciente y llegar al personal.¹⁷⁶ Por esta razón, no se deben realizar estudios altamente colimados durante períodos prolongados en una posición de pórtico. Las láminas de colimación se pueden proyectar virtualmente en el monitor, lo que elimina la necesidad de fluoroscopia para ajustar la posición de las láminas de colimación.^{138,147} Incluso cuando se requiere un campo completo, los bordes de las láminas del colimador deben verse apenas visibles en los bordes del monitor para garantizar que la protección contra la radiación se extienda fuera del monitor. la vista del receptor de imágenes.¹⁷²

Recomendación 15		
Se recomienda el uso activo de la colimación, incluso para imágenes de campo completo, para procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Ketteler et al. (2011), ¹⁵⁰ Pitton et al. (2012), ¹⁵² Haqqani et al. (2012) ¹⁷⁶

* Principio de la física

5.5. Eliminación de la rejilla

antidispersión Los detectores están equipados con rejillas antidispersión, cuya función es filtrar el haz de rayos X de las radiaciones dispersas.

antes de que llegue al captor. Esto disminuye el ruido de fondo y por tanto mejora la calidad de la imagen. Sin embargo, esas rejillas son responsables de cierta atenuación, lo que implica que la energía transportada por el haz de rayos X será mayor. En los casos en los que la radiación dispersa es mínima, es decir, cuando el espesor del tejido a cruzar es bajo con una dispersión mínima, como suele ocurrir en niños, fistulas arteriovenosas y lesiones debajo de la rodilla, se puede considerar la eliminación de la rejilla antidispersión para disminuir la radiación. uso general de radiación.¹⁷⁷ La familiaridad con el equipo de imágenes y la disponibilidad de personal para ayudar a determinar cuándo es aconsejable retirar la rejilla antidispersión pueden ayudar a reducir el uso general de radiación.

Recomendación 16

Se debe considerar la eliminación de la rejilla antidispersión durante los procedimientos endovasculares cuando la radiación dispersa es mínima.

Clase	Nivel	Referencias
Ila	C	Gould et al. (2017) ¹⁷⁷

5.6. Hardware y software de reducción de dosis.

5.6.1. Hardware y software avanzados de reducción de dosis.

El operador debe ser consciente del hecho de que las imágenes de excelente calidad logradas con los arcos en C modernos pueden tener el costo de una mayor dosis de radiación. Esto ha llevado a los proveedores de equipos de imágenes a centrarse en métodos para reducir la dosis de radiación y al mismo tiempo mantener la calidad de las imágenes.¹⁷⁸ Todos los proveedores han desarrollado su propio enfoque patentado que combina avances en hardware y software. Estas tecnologías de reducción de dosis incluyen (1) controles de la máquina (puntos focales más pequeños, pulsos más cortos, corriente de tubo más baja y filtración de haz adicional); (2) algoritmos de procesamiento de imágenes (desplazamiento automático de píxeles, promedio temporal de imágenes consecutivas, reducción de ruido espacial, compensación de movimiento y mejora de imágenes); y (3) configuraciones de hardware para reducir la dosis de entrada (optimizando la cadena de adquisición para diferentes

regiones anatómicas).141,159 Estudios que comparan Los sistemas de iteraciones anteriores han reportado una reducción a la mitad de uso de radiación asociado con EVAR, reducción del 70% en intervenciones en las extremidades inferiores y casi un 40% de reducción con embolización.141,159,179e181

5.6.2. Software de planificación preoperatoria. Implementación

y revisión del software de planificación previa al procedimiento desde axial

Los estudios de diagnóstico por imágenes pueden ser extremadamente beneficiosos en mejora del flujo de trabajo procesal y reducción de la ionización uso de radiación. Realización de planificación preoperatoria de casos en TC software de posprocesamiento de imágenes en estaciones de trabajo 3D antes a las intervenciones es esencial para limitar los diagnósticos innecesarios.

carreras.138,182 Identificar los ángulos más apropiados para visualización óptima para cada paso del procedimiento, así como guardar imágenes apropiadas como referencia durante el procedimiento reduce la exposición a la radiación.138 El perfilado de la arteria iliaca bifurcación y la zona de aterrizaje aórtica proximal durante EVAR, por ejemplo, a menudo requiere una angulación significativa del pórtilo (p. ej., 20 y 30 grados de angulación lateral para las arterias ilíacas) y angulación craneal de 5 y 15 grados para el cuello).183

Ejecuciones repetidas de DSA realizadas en estas posiciones para determinar el ángulo óptimo contribuye a la mayor dosis de radiación y exposición a la dispersión del operador durante EVAR.184 Un estudio que utilizó posprocesamiento específico del proveedor El software dio como resultado la eliminación de ejecuciones de diagnóstico innecesarias con una reducción de tres veces en la DAP media durante EVAR.184 Otros estudios que utilizan software de código abierto para predecir los ángulos del brazo en C antes de la operación han demostrado una Reducción del tiempo de operación en un [tercio](#).185,186

Recomendación 17		
Planificación detallada del procedimiento preoperatorio, incluido el Se recomienda el uso de una estación de trabajo 3D para reducir la radiación. exposición en procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias
I	C	Stansfield y cols. (2016),182 Hertault et al. (2015)138

5.6.3. Software de fusión de imágenes 3D. Fusión de imágenes 3D (3D-IF)

describe la combinación de imágenes de CTA preoperatorias con fluoroscopia en vivo, produciendo un volumen 3D renderizado angiografía, que puede utilizarse como hoja de ruta virtual durante intervenciones, particularmente útiles durante EVAR complejas.187 Los puntos de referencia óseos se registran conjuntamente en las imágenes preoperatorias y en vivo y en el 3D fusionado resultante. El modelo sigue automáticamente los movimientos de la mesa y del pórtilo.138 Esto niega la necesidad de DSA repetidos y fluoroscopia para posicionar la mesa y el pórtilo para el objetivo canulación del vaso y durante el posterior despliegue del stent. En consecuencia, esto reduce el tiempo del procedimiento, el contraste uso y [exposición](#) a la radiación.165,188,189 Estudios que utilizan 3D-IF informan hasta un 70% de reducción en la radiación durante el estándar EVAR e [intervenciones](#) complejas de reparación aórtica.138,163,190e193

Co-registro de las imágenes al inicio del Sin embargo, este caso añade radiación adicional con sistemas

requiriendo un giro CBCT total o parcial agregando aproximadamente 5% de la dosis total de radiación del procedimiento.187 Reemplazo de CBCT con dos anteroposteriores (AP) ortogonales y las adquisiciones fluoroscópicas laterales reducen este dosis en 10 veces.163,194,195 Otra limitación de 3D-IF es la falta de precisión de la superposición, particularmente después de la deformación de los vasos causada por el paso de cables y dispositivos rígidos, que hace que las imágenes preoperatorias superpuestas sean inexactas.196 Se han desarrollado sistemas de registro más sofisticados que excluyen el requisito de una radiografía preoperatoria de registro conjunto,196 o el uso de tecnologías basadas en la nube para superposición más precisa con la consiguiente reducción de exposición a la radiación, FT y tiempo del procedimiento.197 Los avances en 3D-IF utilizan inteligencia artificial (IA) basada en la nube para corregir la deformación de los vasos en tiempo real. No aleatorizado Los ensayos controlados se han diseñado para estudiar únicamente la Impacto de las imágenes de fusión. Un análisis comparativo de pacientes. tratados con y sin fusión en el mismo ambiente demostró una tendencia hacia un DAP más bajo en la fusión grupo.193 En un metanálisis de los diversos estudios que informan exposiciones durante EVAR, la fusión se identificó como un predictor independiente de reducción de dosis.198 Orientación con Las imágenes de fusión también se utilizan cada vez más para la intervención endovascular en LEPAD y hay evidencia de un beneficio. durante estos procedimientos está surgiendo.199

Recomendación 18		
Se debe considerar la fusión de imágenes durante la cirugía aórtica. Procedimientos endovasculares para reducir la exposición a la radiación.		
Clase	Nivel	Referencias
Ila	B	de Ruiter et al. (2016),198 Ahmad et al. (2018)193

5.6.4. Detectores e intensificadores de imágenes.

5.6.4.1. [Intensificadores de imagen y detectores de panel plano](#). Los detectores registran los rayos X que han atravesado al paciente del tubo de rayos X y un intensificador de imágenes (II), luego convertir estos fotones en luz que puede verse como una Imagen de rayos X. Los II analógicos tradicionales ahora han sido en gran medida reemplazados por detectores digitales de panel plano (FPD), que ofrecen mejor rendimiento de imagen. Los FPD tienen una tasa mucho mayor Sensibilidad a los rayos X, alta relación señal-ruido, amplio rango dinámico, distorsión geométrica limitada, ausencia de deslumbramiento velado o viñeteado, alta uniformidad en todo el campo de Vista, procesamiento de imágenes avanzado y maniobrabilidad mejorada como resultado de su [tamaño](#) más pequeño.200e202

5.6.4.2. [Uso óptimo de detectores de panel plano para minimizar dosis de radiación](#).

Con una eficiencia cuántica de detectores (DQE) mejorada que convierte los rayos X en imágenes visibles, los FPD Teóricamente proporcionan una oportunidad para reducir la radiación. dosis requerida para obtener [imágenes](#)202,203 pero esto puede no ser el caso en la práctica. Numerosos estudios contradictorios, utilizando Tanto los pacientes como los modelos fantasmas han generado incertidumbre sobre si la transición de II tradicionales a La FPD se asocia con un [ahorro](#) de dosis de radiación.200,201,204

Si bien algunos informes sugieren que la dosis al paciente podría reducirse hasta en un 50%,^{203,205} otros han señalado que las dosis de entrada reducidas no conducen automáticamente a una reducción de las dosis de radiación del operador en la práctica clínica, medidas por DAP.²⁰⁰ Varios estudios han informado niveles sustancialmente más altos. El DAP asociado con los FPD es hasta tres veces mayor en comparación con los II tradicionales.^{204,206,207} Las razones sugeridas para dosis más altas son que los ajustes de velocidad de fotogramas suelen ser más altos con los FPD que con los II,²⁰⁸ y la sensibilidad adicional al ruido puede llevar a que los proveedores aumenten ajustes de dosis para garantizar que las imágenes tengan la calidad suficiente para satisfacer a los operadores.²⁰³ Otro factor que complica las comparaciones directas es que los FPD a menudo son parte de unidades angiográficas más modernas que incorporan estrategias de reducción de dosis, lo que significa que el efecto independiente del componente FPD en la dosis es más difícil de determinar.²⁰⁹

Los FPD deben configurarse de manera óptima y la tasa de dosis de entrada del detector en relación con la tarea de detección clínica debe optimizarse para minimizar la dosis de radiación.²⁰¹ En una comparación directa de 11 sistemas FPD con nueve sistemas II, no utilizar configuraciones de dosis bajas disponibles en Se pensaba que el sistema emisor anulaba la superioridad de los FPD y daba como resultado dosis de radiación comparables entre los dos sistemas.²¹⁰ Varios autores han enfatizado la importancia de la asistencia especializada de los ingenieros de aplicaciones para configurar correctamente los protocolos para utilizar plenamente los modos de dosis bajas y lograr la dosis de radiación. ahorros al usar FPD.^{201,211} La configuración, optimización y calibración de los ajustes incluyen la frecuencia del pulso de fluoroscopia, la dosis de entrada del detector, el voltaje del tubo, la filtración, las velocidades de cuadros y los parámetros de posprocesamiento de imágenes, y todos deben equilibrarse con una calidad de imagen adecuada para uso clínico.^{200,201,210} Su mayor DQE significa que los modos de dosis baja o dosis extrabajo deben elegirse rutinariamente en lugar de los modos normales, ya que estos se asocian con un gran ahorro de radiación y al mismo tiempo mantienen una excelente calidad de imagen.^{195,203} Reducir la dosis de entrada del detector de un ajuste a el siguiente ajuste más bajo no cambia drásticamente el

calidad de imagen, pero tiene el potencial de reducir la dosis de radiación en un 15%.²⁰⁶

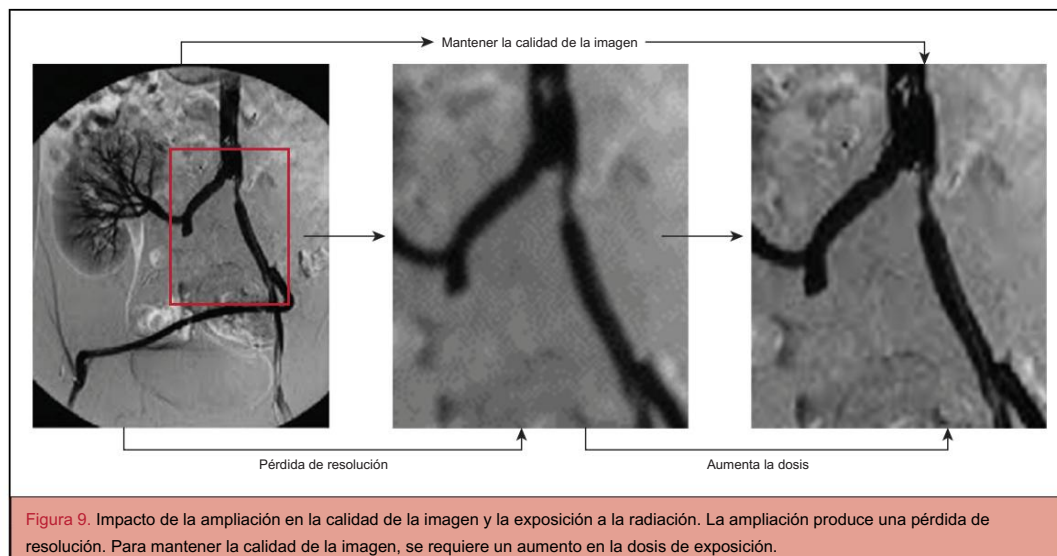
Recomendación 19

Se deben considerar los detectores de panel plano en lugar de los intensificadores de imágenes en un esfuerzo por mejorar la calidad de las imágenes y reducir la exposición a la radiación.

Clase	Nivel	Referencias
Ila	C	Livingstone et al. (2015), ²⁰⁰ Bokou et al. (2008), ²⁰¹ Suzuki et al. (2005) ²⁰⁹

5.7. Aumento

5.7.1. Ampliación convencional. Los detectores están disponibles en una variedad de tamaños, denominados campo de visión de entrada (FOV). El uso del mayor campo de visión disponible da como resultado la resolución espacial de salida más baja y la mayor distorsión de imagen, pero con la dosis de radiación más baja. Esta relación es específica del sistema. Irradiar un área más pequeña del detector produce el efecto de ampliar la imagen. Si el FOV se reduce a la mitad, la resolución espacial se duplica, mejorando así la visibilidad.²¹² El área irradiada es proporcional al cuadrado del FOV, por lo tanto, sólo se irradia una cuarta parte del detector de entrada, lo que reduce el brillo de la imagen a una cuarta parte del original. FOV, haciéndolo demasiado oscuro para verlo si todos los demás parámetros se mantienen constantes.²¹² En este escenario, el ABC de la máquina cuadruplica la radiación para compensar y entregar una imagen brillante utilizable (Fig. 9).²¹³ En general, cuanto más pequeño es el FOV, cuanto mayor sea el aumento y mayor será la dosis para el paciente.²¹² Para evitar irradiar áreas no visualizadas durante el aumento, la colimación se aplica automáticamente o debe configurarse manualmente. Esto aumenta la ESD pero reduce la dispersión para el equipo quirúrgico; por lo tanto, un FOV más pequeño (mayor aumento) aumenta la CAK pero disminuye la DAP.⁷ Por lo tanto, se recomienda a los operadores endovasculares que utilicen el FOV más grande posible con un uso prudente del aumento.^{146,148,151}



5.7.2. Zoom digital. Un método alternativo para lograr

Ampliación de la imagen evitando el aumento de la radiación.

La dosis asociada con el aumento convencional es en su lugar, adquiera imágenes mediante ampliación digital (también conocido como zoom digital). Cuando se combina con monitores grandes, esto puede producir un efecto similar.^{138,151} Estos monitores suelen tener más de 1,5 m de dimensión diagonal.

Algunos arcos en C ofrecen "zoom en vivo" donde la imagen es digital ampliada en tiempo real, con un ahorro de radiación de hasta 2,5 veces dosis en comparación con el zoom convencional.²¹⁴ Se ha Se estima que el uso del zoom digital puede reducir la dosis en hasta un 30 % en comparación con el cambio del FOV.²¹⁵ Un estudio reciente demostró que el uso del zoom digital durante la cirugía coronaria Los procedimientos no eran inferiores al zoom convencional en un prueba ciega de visibilidad, y además se asoció con un ahorro en dosis de radiación de aproximadamente el 30%, con reducciones tanto en RAK como en DAP.²¹⁴

Recomendación 20		
Zoom digital, en lugar de aumento convencional, y Se recomiendan monitores del tamaño adecuado para Reducción de la dosis de radiación durante los procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias
I	C	Hertault et al. (2015),138 Machan et al. (2018)151

5.8. Informes de dosis de máquinas de rayos X modernas

Los sistemas de rayos X modernos pueden proporcionar información detallada. sobre la dosis de radiación asociada con fluoroscopia, DSA y CBCT. Esta información es muy útil para optimizar la radiación. protección ya que permite a los operadores endovasculares determinar ¿Cuánta exposición a la radiación ocurre durante cada uno de los tres maniobras antes mencionadas y alterar su comportamiento en consecuencia. De hecho, la mayoría de los sistemas de rayos X modernos ahora informar valores en vivo de KAP y CAK, así como acumulativos valores al final del caso. Esto evita la necesidad de analizar los informes estructurados de dosis de Imágenes Digitales y Comunicaciones en Medicina (DICOM), que contienen detalles completos de la dosis por evento de radiación y tradicionalmente se han utilizado para obtener estos datos. Monitoreo de todas las dosis los datos deben registrarse a nivel institucional.

Recomendación 21		
El arco en C debe proporcionar información de dosis en tiempo real para optimizar la protección radiológica durante el tratamiento endovascular procedimientos.		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	EBSS (2013)8

5.9. Mantenimiento

Los sistemas de radiación deben incluirse en la calidad continua. Programas de aseguramiento de la calidad (QA) para garantizar que se mantengan. en óptimas condiciones de trabajo, siguen siendo eficientes y están Se calibra periódicamente para garantizar que se obtengan imágenes de alta calidad. obtenida utilizando las dosis más bajas posibles y dosímetro

las lecturas siguen siendo precisas.^{138,164} Una lista de verificación de 10 puntos diseñado para mejorar la cultura de seguridad radiológica médica en el El Reino Unido incluye pruebas de una gestión adecuada de los equipos de radiación y los materiales radiactivos.²¹⁶ Esto incluye evidencia documentada de sistemas de gestión, equipos programas de reemplazo, contratos de servicio y mantenimiento, control de calidad, acción sobre los resultados de control de calidad y auditoría de la política de RAM y procedimientos. Las responsabilidades son de la imagen. institución del centro a través de su físico médico, y están facilitado por el proveedor del arco en C, aunque la legislación en este El área varía entre países.

Recomendación 22		
Mantenimiento y evaluación de equipos de radiaciones ionizantes. deben realizarse periódicamente para garantizar la calidad y la seguridad.		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	Hirshfeld et al. (2018),164 Hertault et al. (2015),138 Chapple et al. (2016)216

5.10. Quirófanos endovasculares: suites híbridas y plataformas intervencionistas

5.10.1. Arcos en C móviles. En comparación con los sistemas fijos modernos, los arcos en C móviles generalmente producen imágenes de calidad inferior. calidad, son propensos a sobrecalentarse y, lo que es más importante, pueden aumentar la exposición del operador debido a la falta de mesa y protectores montados en el techo (consulte el [Capítulo 6](#)).^{141,198,217e220} En Además, se asocian con una ergonomía inferior. Móvil Los arcos en C generan menos radiación durante EVAR en comparación con [suites híbridas](#), ^{24,198,221} lo que lleva a sugerencias de que para estándar Los arcos en C móviles EVAR son de calidad suficiente para realizar la tarea, y algunos estudios informan tiempos de fluoroscopia similares y resultados de EVAR realizado con arcos en C móviles en comparación con los sistemas fijos.^{222,223} Además, los arcos en C móviles Son más baratos y compactos que los sistemas fijos. El El contraargumento, sin embargo, cuestionaría la seguridad de realizar procedimientos complejos o prolongados con inferior capacidades de obtención de imágenes y mayor dosis para el operador, al tiempo que se renuncia a las eficiencias y características de seguridad adicionales que fijaban Los sistemas de imágenes y las suites híbridas ofrecen, como una mayor capacidad calorífica, movimientos precisos del brazo en C, imágenes de referencia superpuestas sofisticadas y la capacidad de realizar CBCT inmediatamente después de la implantación del stent.^{221,222}

5.10.2. Arcos en C fijos y suites híbridas. Cirugía endovascular, definida como procedimientos endovasculares realizados típicamente por cirujanos vasculares en un entorno de quirófano, ha evolucionó a partir de procedimientos relativamente simples realizados en quirófanos tradicionales que utilizan arcos en C móviles, hasta más Procedimientos complejos en instalaciones dedicadas con arcos en C fijos. A El quirófano híbrido es un espacio de procedimiento avanzado que Combina un quirófano tradicional con un quirófano intervencionista. Conjunto que incorpora un arco en C fijo junto con una fluoroscopia. cama quirúrgica capaz. Estas máquinas de rayos X son más potentes, operando a energías más altas con tamaños de haz más grandes y detectores que pueden emitir una dosis de radiación procesal de 3 a 10 veces mayor en comparación con los [arcos en C móviles](#).^{141,224} Similares

Se han informado reducciones durante EVAR y TEVAR cuando se pasa de un arco en C móvil a sistemas fijos.^{57,225} En una revisión sistemática para identificar estudios que informen datos de dosis durante EVAR y reparación endovascular aórtica abdominal compleja (F/BEVAR), el DAP más bajo se identificaron niveles en salas híbridas modernas con sistemas fijos.²²⁶ Los sistemas fijos facilitan la instalación de blindajes de plomo montados en el techo y en la cama, que a su vez protegen al operador de la exposición a la radiación.²²⁷ Sin embargo, los operadores deben asegurarse de utilizar la calidad de imagen más baja posible, ya que las imágenes de la más alta calidad producidas por sistemas fijos no siempre son necesarias y aumentarán la dosis de radiación asociada con los procedimientos.^{220,223,224} Es importante estar familiarizado y tener conciencia de la situación para emplear continuamente todas las capacidades de reducción de radiación que tiene una suite híbrida, ofrecer, para compensar la mayor exposición que acompaña a la obtención de imágenes superiores.

Recomendación 23		
Se debe considerar un quirófano endovascular con un sistema de imágenes fijo en lugar de un sistema móvil para procedimientos endovasculares para mejorar la calidad de las imágenes y reducir la exposición a la radiación.		
Clase	Nivel	Referencias
Ila	C	Hertault et al. (2020), ²²⁶ Rehman et al. (2019), ²²⁵ McAnelly et al. (2017), ²²⁸ Zoli et al. (2012) ⁵⁷

5.10.3. Parámetros de imagen controlados por el operador. Los terapeutas endovasculares que trabajan en una suite híbrida pueden utilizar imágenes controladas por el operador junto a la mesa. Esta propiedad del control puede reducir exposiciones innecesarias al evitar malentendidos entre el operador y otra persona encargada de operar el arco en C, que puede malinterpretar las instrucciones del primero.²¹⁹ Discrepancias en el lenguaje, palabras ambiguas y malas interpretaciones de las órdenes para mover el arco en C, en una posición específica pueden conducir a exposiciones innecesarias a la radiación.²²⁹ Solo un estudio que comparó imágenes controladas por un radiógrafo con imágenes controladas por un operador durante EVAR ha concluido que la DAP mediana es un 30 % más baja cuando el operador tiene el control del pedal.²³⁰ Se encuentran más datos Sin embargo, es necesario determinar si la fluoroscopia controlada por el operador puede reducir la exposición a la radiación del operador y del paciente. En ausencia de control del operador, una comunicación clara e inequívoca entre el operador y la persona que opera el arco en C puede reducir sustancialmente el tiempo necesario para mover el arco en C y la exposición innecesaria a la radiación.²³¹

Recomendación 24		
Se debe considerar la obtención de imágenes controladas por el operador en lugar de asignar a otra persona, por ejemplo, un radiólogo o un tecnólogo en radiación, el control de las imágenes para reducir la exposición a la radiación durante los procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias
Ila	C	Melocotón y col. (2012) ²³⁰

5.11. Posicionamiento alrededor del paciente

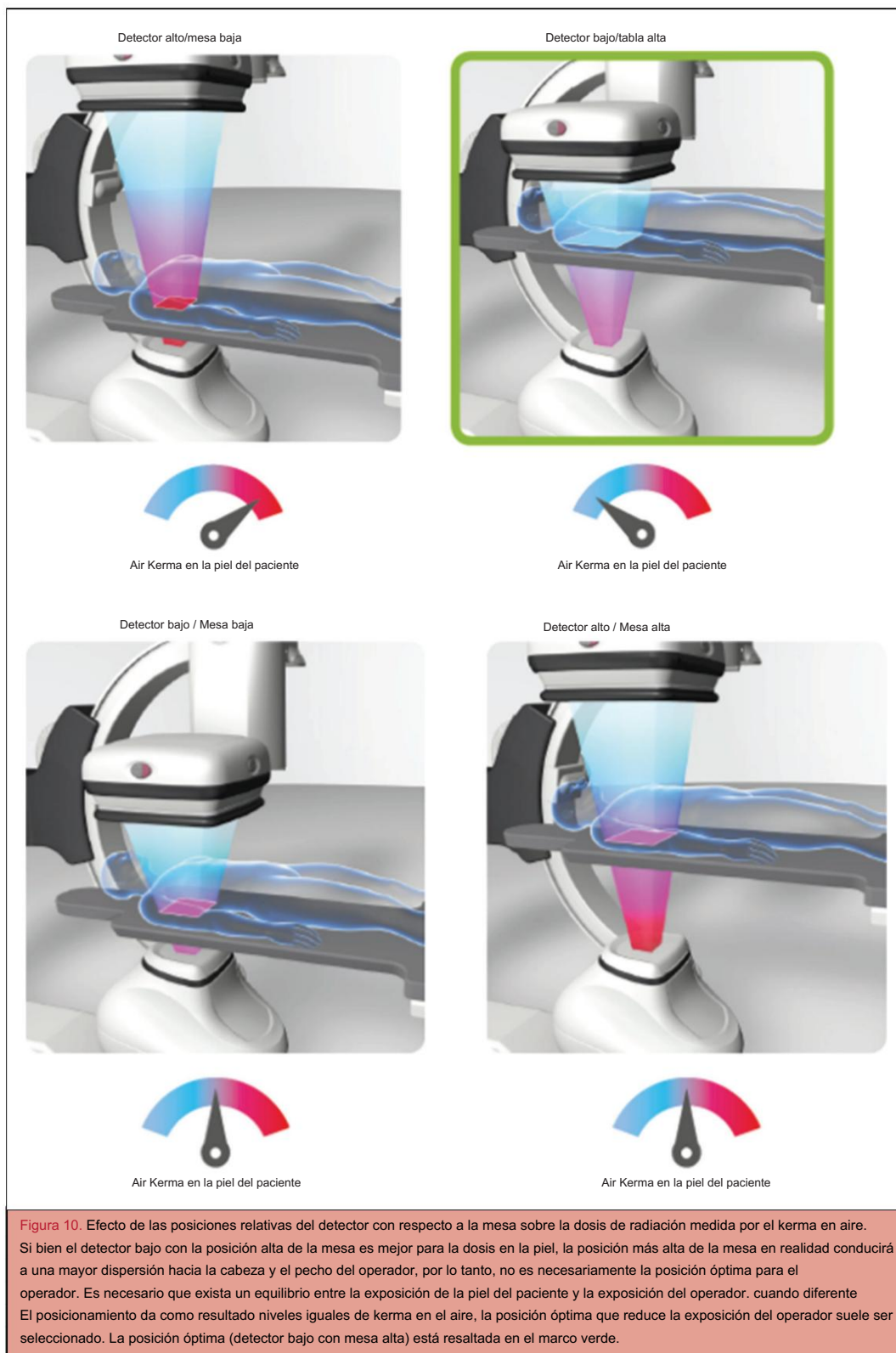
5.11.1. Geometría de la cadena de imágenes. La geometría de la cadena de imágenes describe la disposición lineal entre (1) la fuente de rayos X y el paciente, y (2) el paciente y el detector (Fig. 10). Estas distancias tienen un profundo efecto independiente sobre la dispersión de la radiación. La distancia entre la fuente de rayos X y el paciente establece la altura de la mesa, con la posición de la máquina de rayos X debajo del paciente, asegurando que se produzca la máxima dispersión debajo de la mesa, lejos de la cabeza y el tronco del operador.¹⁴⁷ Aunque maximizar la altura de la mesa desde la fuente de rayos X reducir la dosis del paciente,^{147,151,160} esto ocurre a costa de aumentar la dispersión hacia la cabeza, los ojos y el cuello del operador.^{151,176} La posición de la mesa debe estar a una distancia razonable del detector, al tiempo que se garantiza también que el pecho y la cabeza del operador estén lo más lejos posible del paciente, ya que el cuerpo del paciente es la principal fuente de dispersión de la radiación.¹³⁸ La dispersión máxima ocurre aproximadamente a 1,5 m del suelo, siendo esto de particular importancia para los terapeutas endovasculares de baja estatura cuya parte superior del cuerpo está más expuesta, haciendo que medidas de protección como "dar un paso atrás" durante las dietas sean de vital importancia.¹⁵⁰ En estas situaciones, es posible que se requieran taburetes de pie apropiados para reducir exposición.

El segundo componente de la geometría de la cadena de imágenes es la distancia entre el paciente y el detector, que debe ser mínima.^{147,160} La distancia adicional provoca la dispersión del haz de rayos X y la consiguiente reducción de la señal que llega al detector, con un aumento de dosis compensatorio iniciado por la máquina. control automático del brillo.^{138,145} Reducir la distancia entre el paciente y el detector tiene varios beneficios: (1) reduce la energía necesaria para producir la imagen, reduciendo así la dispersión; (2) aumenta la absorción de dispersión por parte del propio detector; y (3) produce una imagen más nítida.^{148,176}

Recomendación 25		
Se recomienda colocar al paciente lo más cerca posible del detector durante los procedimientos endovasculares para mejorar la calidad de las imágenes y reducir la exposición a la radiación.		
Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Durán et al. (2013), ¹⁴⁷ Haqqani et al. (2013) ¹⁷¹

* Principio de la física

5.11.2. Angulación del pórtico. Una buena geometría de la cadena de imágenes se complementa con la apreciación de la influencia negativa de las posiciones del arco en C o del pórtico en ángulo sobre la dosis de radiación. Las angulaciones pronunciadas del arco en C (lateral, craneal y caudal) aumentan la dosis de radiación por varias razones: (1) los ángulos más pronunciados requieren que la máquina de rayos X emita mayores cantidades de radiación para lograr la penetración en el tejido necesaria para producir la misma calidad de imagen, es decir, se produce un aumento del espesor del tejido atravesado por el haz; (2) esto, a su vez, crea una mayor dispersión hacia la parte superior del cuerpo del operador, aumentando exponencialmente con una angulación lateral superior a 30 grados y una angulación craneal superior a 15 grados,¹



alcanzar un máximo en la proyección lateral completa;165 y (3) los ángulos más pronunciados colocan la fuente de rayos X más cerca del paciente, lo que aumenta la dosis en la piel y el riesgo de lesión determinista; un estudio informa que el 83 % de todas las lesiones cutáneas por radiación ocurren con una **angulación** pronunciada.111,139,145,150,171 Es aconsejable que siempre que sea posible, los operadores deben mantener la máxima distancia de la fuente de radiación.

En un modelo fantasma, las proyecciones AP dieron como resultado una exposición del operador de 5 mSv/h que aumentó a 11 mSv/h en una proyección de 45 grados y 69 mSv/h a 90 grados.171 Una angulación pronunciada, como la requerida durante las reparaciones aórticas complejas, produce mayores se dispersan hacia el operador, particularmente al nivel de la cabeza,120 siendo la exposición a la radiación del operador seis veces mayor si están en el mismo lado que la fuente de rayos X (Fig. 11).62 Las proyecciones oblicuas anteriores craneales causan la mayor **exposición**6,120,147,160,165,232 porque el La fuente de radiación suele estar en el mismo lado que el operador en esta configuración, lo que genera una retrodispersión máxima hacia el operador.165,176 Si es posible, el haz de rayos X siempre debe colocarse en el lado opuesto al operador endovascular.

En casos prolongados, se han recomendado alteraciones frecuentes en la angulación del pórtico para reducir la dosis en la piel,112,146,233 pero nunca se deben usar ángulos craneales y laterales pronunciados para este propósito.233 En pacientes obesos, la angulación pronunciada agrava los riesgos y debe usarse con mucha moderación. 26,145 Cuando es esencial una angulación pronunciada, se debe utilizar durante el menor período de tiempo aplicando una colimación adecuada.138

Recomendación 26		
No se recomienda el uso prolongado de una angulación pronunciada del pórtico durante los procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias*
III	B	Durán et al (2013),147 Haqqani et al. (2013)171

* Principio de la física

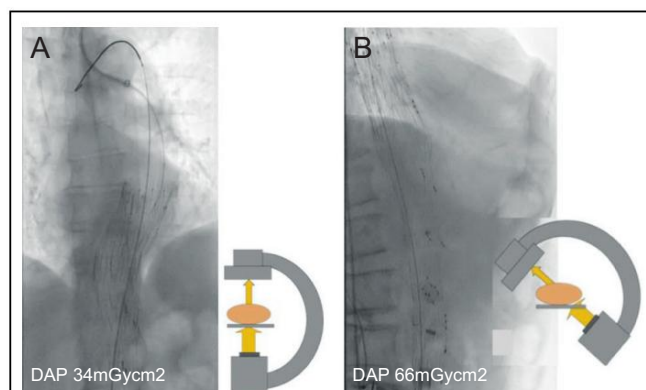


Figura 11. La angulación del pórtico desde la posición AP (A) a la oblicua (B) da como resultado casi el doble de la dosis de radiación, medida por el producto dosis-área (DAP), de 34 Gy.cm2 a 66 Gy.cm2 durante un tiempo de detección equivalente. .

5.11.3. La ley del cuadrado inverso y alejarse. La radiación dispersa constituye la principal fuente de exposición a la radiación para el personal y, al minimizar la dosis al paciente, se reduce la dispersión. Sin embargo, se pueden tomar medidas adicionales para reducir la exposición a la dispersión, la más fundamental es observar la ley del cuadrado inverso ($X \propto 1/d^2$ $X \propto 1/d^2$ exposición, $d \propto 1/d^2$ distancia). A medida que la dispersión sale y se aleja del paciente, se produce una reducción exponencial del número de fotones por unidad de área y, por tanto, de energía ionizante potencialmente dañina. Duplicar la distancia desde la exposición del cuarto del paciente y triplicarla la reduce nueve veces. Este acto sencillo pero muy eficaz de alejarse del paciente durante la DSA puede reducir considerablemente la dosis de radiación personal y es una técnica fundamental para reducir la **exposición**.7,145,147,165,173,176 Si no es necesario estar muy cerca de la fuente de rayos X o del paciente, en particular durante las adquisiciones de dosis altas (ejecuciones de DSA), el personal debe alejarse lo más posible o incluso salir de la sala.165 De hecho, se ha sugerido que este debería ser un comportamiento obligatorio si no compromete la seguridad del paciente. . Se considera que una distancia relativamente segura es de 1 a 2 m,7 y a 5 m la dosis del operador se elimina efectivamente.166 Siempre que sea posible, el personal debe tratar de aumentar su distancia de la fuente de radiación porque incluso alejarse una distancia pequeña puede tener un efecto negativo. efecto sustancial sobre la cantidad de exposición. También se ha demostrado que es beneficioso permanecer más cerca de los pies del paciente que del abdomen durante las intervenciones pélvicas.172

5.11.4. Colocación alrededor de la mesa. La intensidad más alta de dispersión se localiza en el lado de entrada del haz de rayos X del paciente,147 generalmente debajo de la mesa o en proyecciones oblicuas anteriores izquierdas (LAO, por sus siglas en inglés) con el operador parado a la derecha del paciente. Generalmente, las dosis son mucho más altas para los operadores primarios en comparación con los asistentes y **enfermeros** instrumentistas.114,165 Durante reparaciones aórticas complejas, el operador principal puede recibir el doble de la dosis que el primer asistente que está a su lado.5 La persona parada en el lado opuesto de la mesa, Por lo general, el segundo asistente, que se encuentra en la ingle o el brazo izquierdo del paciente, recibirá la siguiente dosis más alta. El puesto de tercer asistente e instrumentista recibe niveles indetectables en la mayoría de los casos. Vinculada a la posición del pórtico, la dosis de radiación variable recibida en diferentes posiciones de la mesa es el resultado de una nube de dispersión asimétrica creada por la interacción de la dispersión con la compleja infraestructura de una mesa angiográfica. En lugar de que la dispersión disminuya en círculos concéntricos predecibles de acuerdo con la ley del cuadrado inverso, que gobierna el comportamiento de la radiación en el vacío, se crean patrones de dispersión no conformes alrededor de la mesa.176 Las proyecciones laterales se asociaron con una exposición siete veces mayor que proyecciones de 45 grados, con exposición máxima en las posiciones del operador y asistente si están en el mismo lado que el emisor.171 Si bien esto de ninguna manera debe desviar el consejo de alejarse siempre que sea posible, enfatiza la necesidad de alejar al personal del paciente cuando pararse en el lado del emisor de la mesa durante las ejecuciones de DSA, ya que aquí es donde se observan las dosis de radiación más altas. Es vital transmitir también este mensaje a

colegas anestésicos que a menudo están a la cabecera de la mesa y cerca de la fuente y pueden incluso recibir dosis de radiación más altas que el operador principal.⁷

Hace unos 40 años se destacó la importancia de reemplazar las inyecciones manuales con inyectores de contraste remotos para reducir la exposición a la radiación de los intervencionistas durante los procedimientos guiados por rayos X.²³⁴⁻²³⁶ Para la mayoría de los procedimientos endovasculares, la distancia de trabajo desde el sitio de acceso arterial (más comúnmente la arteria femoral) hasta el área de interés es fija.¹⁴⁸ Para los operadores que rutinariamente inyectan manualmente DSA, esto representa el 75% de su exposición total a la radiación,¹⁶⁶ y el 90% de la exposición de sus manos y ojos.²³⁶ Sin embargo, esta distancia se puede ampliar utilizando ambos inyectores eléctricos. para recorridos de DSA y tubos de extensión conectados a catéteres o vainas para inyecciones manuales,^{148,237} lo que permite a los operadores utilizar la ley del cuadrado inverso para reducir la exposición. Se recomienda el uso de inyectores eléctricos cuando sea posible,^{7,147} y se ha asociado con una reducción del 50% en la dosis de radiación del operador,²³⁸ pero deben activarse a distancia para obtener este beneficio.

Recomendación 27		
Se recomienda el uso de inyectores eléctricos para angiografía por sustracción digital (DSA) siempre que sea posible para reducir la exposición del operador a la radiación durante los procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Oi (1982), ²³⁴ Goss et al. (1989), ²³⁵ Santen et al. (1975), ²³⁶ Durán et al. (2013), ¹⁴⁷ Mohapatra et al. (2013), ⁷ Larsen et al. (2012) ²³⁸

*Principio de física

Recomendación 28		
La distancia entre el paciente y el operador y todo el resto del personal debe maximizarse siempre que sea posible durante los procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Durán et al. (2013), ¹⁴⁷ Haqqani et al. (2013), ¹⁷¹ Mohapatra et al. (2013), ⁷ Kirkwood et al. (2015), ⁵ Larsen et al. (2012), ²³⁸ Patel et al. (2013), ¹⁶⁵ Bacchim et al. (2016) ¹¹⁴

*Principio de la física

6. EQUIPOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL QUIRÓFANO ENDOVASCULAR

6.1. Introducción

La mayoría de los estudios que investigan la eficacia de los escudos radiológicos se centran en procedimientos realizados por cardiólogos. Sin embargo, estos estudios son relevantes también para el entorno quirúrgico vascular, ya que la mayoría implica acceso femoral.

con requisitos para el examen abdominal y torácico.

Numerosos estudios también han utilizado fantasmas para simular la exposición a la radiación.

Los escudos pasivos se pueden dividir en dispositivos de protección personal y escudos colocados entre el personal y el paciente (fuente de dispersión). Los escudos pasivos son complementarios entre sí y con otras medidas para reducir la radiación. Operador se refiere al operador principal y asistentes se refiere al resto del personal fregado.

Hay tres tipos de material de protección contra la radiación.

El primer material de protección contra la radiación, y el más conocido, es el plomo estándar. Fabricados con 100% plomo, los delantales de rayos X de plomo estándar son los delantales de rayos X más pesados disponibles. El peso del delantal aumentará según el nivel y las áreas de protección requeridas, y los delantales de rayos X de plomo estándar son muy adecuados para procedimientos más cortos.

El segundo material de protección contra la radiación es un compuesto a base de plomo; Los delantales de rayos X compuestos de plomo utilizan una mezcla de plomo y otros metales livianos que atenuan la radiación, lo que reduce el peso hasta en un 25% en comparación con los delantales de plomo estándar. La tercera opción es el delantal totalmente libre de plomo (LFA) hecho de una mezcla de metales pesados atenuantes distintos del plomo (Pb), que es una alternativa liviana (40% más liviana que los delantales de plomo estándar) y no tóxica al delantal de plomo tradicional.

Los delantales de rayos X sin plomo o sin plomo se fabrican a partir de una mezcla patentada de metales pesados atenuantes, incluidos bario, aluminio, estaño, bismuto, tungsteno y titanio.

La seguridad radiológica es multidisciplinaria y un actor clave para lograr un entorno seguro es el físico médico.²³⁹

6.2. Dispositivos de protección personal

6.2.1. Delantales usables. Los delantales de plomo reducen eficazmente la exposición del operador a la radiación en > 90% y, como tal, se adoptan como práctica de seguridad estándar en el quirófano endovascular.²⁴⁰ Un delantal de plomo con un espesor equivalente a 0,35 mm debería ser suficiente para la mayoría de los pacientes guiados por rayos X. procedimientos. Para cargas de trabajo que implican una alta exposición a la radiación (trabajadores de Categoría A, consulte el Capítulo 3), un delantal de plomo envolvente con un equivalente de plomo de 0,25 mm que se superpone en el frente y proporciona un equivalente de plomo de 0,25 \pm 0,25 $\frac{1}{4}$ 0,5 mm en el frente y un equivalente de 0,25 mm en el

frente. en la espalda es *ideal*.^{241,242} El ajuste del delantal es importante, especialmente en el área axilar debajo de los brazos, ya que los espacios grandes podrían introducir una mayor exposición al tejido mamario, lo cual es relevante en el personal femenino.¹⁵ Se informó que la prevalencia del cáncer de mama fue mayor entre las mujeres. cirujanos ortopédicos masculinos en comparación con mujeres estadounidenses.²⁴³ El sitio más común del cáncer de mama, el cuadrante superior externo, puede no estar adecuadamente protegido de la radiación intraoperatoria, especialmente en una proyección lateral con arco en C.^{244,245} Agregar mangas de plomo, alas, y/o suplementos axilares en la parte superior del delantal de plomo pueden superar este problema y

deben considerarse en operadoras mujeres (Fig. 12).²⁴⁵ El peso adicional del delantal coloca al personal en riesgo de desarrollar problemas de espalda.²⁴⁶ El dolor de espalda fue reportado por el 50 y el 75% de los médicos intervencionistas, en comparación con el 27% en una población adulta general

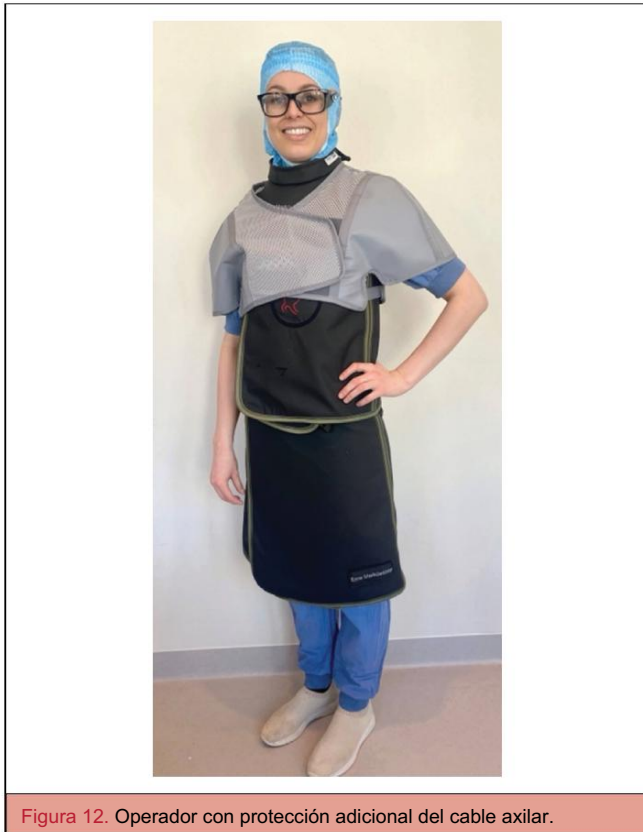


Figura 12. Operador con protección adicional del cable axilar.

La prenda puede transferir parte del peso de los hombros a las caderas. Los delantales protectores de nueva generación están fabricados con materiales compuestos de plomo o sin plomo, lo que da como resultado una reducción de peso y, al mismo tiempo, supuestamente mantiene una protección equivalente a la proporcionada por las prendas con plomo.

No es necesario utilizar delantales de plomo adicionales para la operadora embarazada, y esto puede incluso resultar contraproducente debido al peso físico. Algunas instalaciones dispondrán de un delantal premamá que puede resultar más cómodo, especialmente hacia las últimas etapas del embarazo.

La equivalencia de plomo del delantal requiere validación antes de su uso.²⁴⁸ Aunque varios estudios han demostrado la seguridad de los delantales sin plomo²⁴⁹⁻²⁵¹, otros estudios de delantales compuestos que contienen plomo y sin plomo han demostrado amplias variaciones en la atenuación de la radiación dispersa y que a menudo proporcionan menos protección contra la radiación que la equivalencia de plomo declarada por el fabricante, incluso en ausencia de defectos en el delantal cuando se escaneó.²⁵²⁻²⁵⁶ En un informe, algunos delantales livianos demostraron desgarras a lo largo de las costuras, dejando grandes espacios en la protección.²⁵³

La calidad de los delantales debe someterse a controles anuales para detectar cualquier defecto y garantizar que no se formen grietas en la capa radioprotectora que permitan que la radiación llegue al usuario. Esto incluye inspecciones visuales y táctiles para detectar desgarras, torceduras e irregularidades, y una evaluación del alcance del daño a los escudos de radiación internos mediante fluoroscopia, bajo la guía de un físico médico.²⁵⁷ Los delantales deben manipularse con cuidado, nunca deben doblarse, o arrugado, y almacenado de forma segura en estantes de delantal de plomo diseñados específicamente para garantizar que

la integridad del material de protección permanece intacta.

La limpieza se realiza con un paño húmedo utilizando únicamente agua fría y un detergente suave.^{258e260}

Un artículo reciente informó una incidencia del 63% de plomo libre en la superficie de delantales de plomo y esto se asoció con la apariencia visual del delantal, el tipo de protección y el método de almacenamiento.²⁶¹ La exposición al plomo en la superficie libre representa un riesgo potencialmente grave y previamente problema de seguridad laboral desconocido. Se justifican más estudios sobre este riesgo.

Recomendación 29

Se recomienda que todo el personal en el quirófano endovascular use siempre un delantal protector bien ajustado con una equivalencia de espesor de cable de al menos 0,35 mm.

Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Badawy et al. (2016), ²⁴⁰ Informe NCRP No. 168 (2010) ¹⁵

* Principio de la física

Recomendación 30

Se debe considerar el uso de suplementos axilares y/o mangas para mejorar la protección del seno para las operadoras.

Clase	Nivel	Referencias
Ila	C	Van Norwick et al. (2021), ²⁴⁵ Valone et al. (2016) ²⁴⁴

Recomendación 31

Se recomienda que un físico médico revise el blindaje protector y el equipo de protección personal para verificar la equivalencia e integridad del plomo antes de usarlos por primera vez y luego anualmente.

Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Oyar et al. (2012), ²⁵⁹ Burns et al. (2017), ²⁶¹ Finnerty et al. (2005), ²⁵² Fakhoury et al. (2019), ²⁵³ Lu et al. (2019) ²⁵⁴

* Principio de la física

6.2.2. Collarín tiroideo. La tiroides es un órgano radiosensible y se ha relacionado con un mayor riesgo de carcinogénesis por radiación ionizante externa.²⁶² Sin embargo, estos resultados están limitados por el rango de edad en estos estudios, con un riesgo limitado observado después de la exposición más allá de los 20 años.

Sin embargo, la tiroides del operador recibirá radiación dispersa si no está protegida. Un collar tiroideo también proporciona protección a otros órganos del cuello, como el timo y las carótidas, aunque su valor no está claro.

En consecuencia, siempre se debe usar un collar tiroideo y se debe prestar atención a minimizar cualquier espacio entre el protector tiroideo y el delantal de plomo.^{9,15} La calidad de los collares tiroideos también se debe controlar anualmente.

Recomendación 32		
Se recomienda que todo el personal del quirófano endovascular use siempre collares de tiroideos.		
Clase	Nivel	Referencias
I	C	Ron y col. (1995),262 Informe NCRP No. 168 (2010),15 Publicación ICRP 139 (2018)9

6.2.3. Escudos para las piernas. Un estudio reciente demostró daños en el ADN de los operadores que realizaban procedimientos EVAR, lo cual fue anulado mediante el uso de protectores para las piernas.⁶ Aunque las cortinas protectoras debajo de la mesa deberían atenuar la dispersión que alcanza las extremidades inferiores del operador que no están protegidas por el delantal de plomo estándar en la mayoría de las situaciones, Se debe considerar protección adicional con protectores tibiales o para las piernas en entornos de dosis altas. Se ha descubierto que las mediciones de dosis en las piernas llegan hasta 2,6 mSv por procedimiento en radiólogos intervencionistas cuando no se utiliza protección.²⁶³

Recomendación 33		
Los operadores endovasculares deben considerar el uso de protectores para las piernas además de faldones montados en la mesa.		
Clase	Nivel	Referencias
Ila	C	El-Sayed et al. (2017),6 Whitby et al. (2003)263

6.2.4. Gafas y viseras. El principal efecto de las radiaciones ionizantes en los ojos es la aparición de cataratas corticales y subcapsulares posteriores, cataratas inducidas por radiación (RIC). Estudios recientes sugieren que el RIC comparte algunos mecanismos comunes con la carcinogénesis y puede formarse estocásticamente, sin un umbral y con **dosis** de radiación bajas.²⁶⁴⁻²⁶⁸ El operador endovascular puede potencialmente recibir dosis oculares anuales superiores a 20 mSv/año y existen varios estudios retrospectivos. de los operadores que realizan procedimientos guiados por rayos X tienen una mayor prevalencia de cambios en las lentes que pueden ser atribuibles a la exposición a radiaciones ionizantes. Si bien la mayoría de estos cambios son subclínicos, son importantes debido al potencial de progresar a síntomas clínicos, lo que resalta la importancia de minimizar la exposición del personal a la radiación.^{79,80,269,270} En consecuencia, la necesidad de medidas de protección para los ojos es evidente.

Hay varias formas de gafas protectoras con pantalla de vidrio de plomo transparente disponibles; anteojos con o sin anteojos recetados individualizados, que se ajustan sobre anteojos con espacio para anteojos personales debajo y visores. El espesor típico equivalente al plomo de las gafas protectoras contra la radiación es de 0,75 mm. En teoría, esto daría como resultado una atenuación > 90%. Sin embargo, la dosis real de la lente es mayor como resultado de la exposición desde el costado, desde abajo y la retrodispersión desde la cabeza.

Aunque el uso de gafas de plomo reduce eficientemente la radiación dispersa en los ojos del operador en la práctica diaria,²⁷¹ la protección con diferentes gafas está lejos de ser perfecta y varía sustancialmente dependiendo no sólo de las gafas y su ajuste a la cara sino también de la variación de la radiación.

geometría dependiendo de las proyecciones de imágenes utilizadas. Para que sean efectivas, las gafas deben tener un buen ajuste, ya que cualquier espacio puede afectar la capacidad protectora. La radiación dispersa penetra desde el costado y se deben considerar preferentemente gafas con protectores laterales.²⁷²

La radiación secundariamente dispersada desde la cabeza del operador contribuye a la exposición ocular. Por lo tanto, la protección óptima de los ojos contra la radiación durante la guía de rayos X depende no sólo de anteojos con vidrio con plomo, sino también de protectores de tamaño y forma suficientes para reducir la exposición de la cabeza circundante.²⁷³ Por lo tanto, para lograr una protección adecuada de los ojos, es necesario el uso de una protección montada en el techo es vital y las gafas de protección personal deben considerarse sólo como complementarias.

Aunque no hay datos que demuestren un efecto protector clínico de los anteojos con plomo, en forma de una frecuencia reducida de RIC, hay suficiente evidencia indirecta para respaldar una recomendación fuerte de que todos los operadores en el quirófano endovascular deben usarlos en todo momento y en combinación con protectores montados en el techo (consulte la sección 6.2.2, Recomendación 32).

El riesgo de RIC en no operadores no se ha estudiado y, dada la ley del cuadrado inverso, el riesgo debería ser considerablemente menor en los individuos no operados en el quirófano endovascular. Aunque no se puede descartar que los no operadores también puedan beneficiarse de los anteojos de plomo, este grupo no está incluido en la recomendación en este momento.

Recomendación 34		
Se recomienda a los operadores endovasculares que utilicen siempre gafas de plomo ajustadas adecuadamente con al menos 0,75 mm de equivalente de plomo durante los procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Karatasakis et al. (2018),80 Matsubara et al. (2020),269 Elmarazy et al. (2017),79 Bitarafan Rajabi et al. (2015),270 Maeder et al. (2006)271

* Principio de la física

6.2.5. Escudos de mano. La mano recibe una cantidad sustancial de radiación (hasta 1,5 mSv por procedimiento, o 50 mSv por año) durante los procedimientos, ya que no está protegida y está cerca de la fuente de radiación.^{15,274} Sin embargo, es poco probable que este nivel de exposición tenga algún impacto adverso para la salud. .

Hay guantes con plomo disponibles, pero son voluminosos, rígidos y pesados y no pueden usarse cuando se requiere destreza. La introducción de guantes de látex atenuadores de radiación con plomo (o sin plomo) ayuda a abordar estos problemas. Estos guantes pueden proteger la mano entre un 15 y un 30%.^{275,276}

Sin embargo, si la mano con un guante atenuador se coloca en el haz de radiación directa, entonces la dosis tanto para el paciente como para el operador aumentará porque el sistema de control automático de exposición en los sistemas de rayos X actuales aumentará la producción de radiación.²⁴⁰ Por lo tanto, el

mejor método Proteger las manos es mantenerlas alejadas del haz primario y, en consecuencia,

Rara vez se necesitan guantes de protección radiológica y no se recomiendan en la práctica clínica habitual. En los casos en los que las manos deben estar cerca del paciente, como durante una punción vascular guiada por rayos X, los guantes protectores pueden ser una opción. Sin embargo, por muchas razones, además de la seguridad de la radiación, se recomienda el uso rutinario de una técnica de punción guiada por ultrasonido, en lugar de una punción asistida por fluoroscopia,²⁷⁷⁻²⁸⁰ y cuando eso no sea factible, modificaciones del procedimiento, como el uso de una aguja larga. Puede ser preferible una jeringa para extender la longitud de trabajo de una aguja.

Cuando se utilizan guantes, se recomiendan guantes radioprotectores sin plomo de un solo uso, ya que, a diferencia de los guantes con plomo, se pueden desechar de forma segura después de un procedimiento.

Recomendación 35		
Se recomienda el uso rutinario de una técnica de punción arterial guiada por ultrasonido, en lugar de la punción asistida por fluoroscopia, para reducir la exposición de la mano a la radiación.		
Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Seto et al. (2010), ²⁷⁷ Slattery et al. (2015), ²⁷⁸ Sobolev et al. (2015), ²⁷⁹ Stone et al. (2020) ²⁸⁰

* Principio de la física

Recomendación 36		
No se recomienda el uso rutinario de guantes protectores contra la radiación durante los procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias
III	C	Badawy et al. (2016) ²⁴⁰

6.2.6. Escudos para la cabeza. Los informes sobre los tumores cerebrales de los operadores asociados con los procedimientos guiados por rayos X han generado inquietudes con respecto a la protección adecuada de la cabeza.^{72,281,282} Sin embargo, no se ha establecido un verdadero mayor riesgo de tumores cerebrales entre los médicos que realizan procedimientos intervencionistas.

Las generaciones anteriores de gorros de plomo, con 0,5 mm de plomo, reducen efectivamente la exposición de la [cabeza](#).^{283,284} Sin embargo, el peso promedio de estos gorros es > 1 kg, lo que puede resultar incómodo de usar y podría presentar un riesgo musculoesquelético para la salud y seguridad en el trabajo en el trabajo. sí mismo.

La eficacia de radioprotección informada de las tapas livianas sin plomo (compuestas de óxido de bismuto) de nueva generación varía considerablemente. Algunos sugieren que brindan protección contra la radiación a la cabeza, similar a las tapas estándar equivalentes de plomo de 0,5 mm,^{71,285-289} mientras que otros encontraron solo una reducción de la exposición insignificante.²⁹⁰⁻²⁹² Los diferentes resultados pueden depender de cómo se realizaron las mediciones. En un estudio con modelo fantasma se encontró una pequeña pero notable atenuación superficial en el cráneo, pero no una reducción de la dosis en el cerebro medio. Se sugirió que la mayor parte de la radiación que llega al cerebro de un operador se origina a partir de radiación dispersa desde ángulos que no están sombreados por la tapa, y los autores concluyeron que las tapas protectoras contra la radiación tienen una relevancia clínica mínima.²⁹²

Por lo tanto, se discute si las gorras radioprotectoras realmente reducen la dosis en el cerebro y, lo que es más importante, se desconoce por completo si previenen el daño inducido por la radiación. Por lo tanto, según la evidencia actual, no se recomiendan en la práctica clínica habitual. Es más eficaz utilizar el protector de techo.²⁹³ Sin embargo, en procedimientos vasculares que probablemente den lugar a una dosis alta por parte del operador, se puede considerar su uso. Hay evidencia que sugiere que la dosis en la cabeza es menor en operadores de más de 180 cm de altura, con una disminución de la dosis en la cabeza del 1% por cm de altura del operador por encima de 180 [cm](#).²⁸³ Por lo tanto, estos límites pueden ser de mayor beneficio en operadores de menor estatura.

A continuación se analizan equipos de protección para la cabeza alternativos y mejores (consulte la sección [6.3.1](#) Recomendación 38 y la sección [6.3.2](#) Recomendación 39).

Recomendación 37		
El uso de gorros protectores contra la radiación no está indicado en la práctica clínica habitual.		
Clase	Nivel	Referencias
III	C	Fetterly et al. (2017), ²⁹⁰ Sans Merce et al. (2016), ²⁹¹ Kirkwood et al. (2018), ²⁹² Fetterly et al. (2011) ²⁹³

En resumen, el operador endovascular siempre debe usar delantal, collarín tiroideo y anteojos plomados ([Fig. 13](#)). En



Figura 13. Como protección mínima, un operador endovascular siempre debe usar un delantal de plomo, un collar de tiroides y gafas de plomo.

Además, se deben considerar protectores para las piernas, pero abstenerse de guantes y gorra.

6.3. Otros equipos de protección radiológica 6.3.1.

Sistemas suspendidos de protección radiológica personal.

El sistema de protección radiológica personal suspendido fue diseñado para mejorar la protección radiológica y al mismo tiempo mejorar la ergonomía y la comodidad al eliminar el peso del operador, manteniendo al mismo tiempo un efecto neutral o positivo en el cumplimiento de la tarea. El sistema suspendido de protección radiológica Zero-Gravity es actualmente el único sistema disponible comercialmente (Fig. 14). Tiene un delantal de plomo de 1,25 mm para todo el cuerpo y un protector para la cara y la cabeza equivalente a 0,5 mm de plomo.²⁹⁴

En comparación con un delantal de plomo convencional, el sistema del traje de gravedad cero proporcionó una disminución de 16 a 78 veces en la exposición a la radiación para un operador simulado en un entorno clínico simulado.²⁹⁴ En un estudio clínico realizado por Savage et al., el traje de gravedad cero proporcionó Protección superior para el operador durante los procedimientos guiados por rayos X en comparación con los delantales de plomo convencionales en combinación con escudos estándar. La exposición de los ojos, la cabeza, el húmero, el torso, la tibia y la espalda se redujo entre un 88 y un 100 % con dosis de radiación indetectables o apenas detectables con el traje de gravedad cero. Además, los operadores consideraron que el traje de gravedad cero era más cómodo, aliviaba el dolor de espalda y menos obstructivo en comparación con un delantal de plomo y escudos estándar.²⁹⁵ En un pequeño estudio, el total acumulado

La dosis para el operador fue cuatro veces mayor para los dispositivos de protección estándar que para el traje de gravedad cero. Sin embargo, todavía se produjo cierta exposición a nivel del cristalino y la tiroides y los autores concluyeron que, aunque el traje de gravedad cero produce una exposición a la radiación sustancialmente menor para el operador, se justifica una protección adicional.²⁹⁶ En un solo operador, el cuerpo y los ojos anuales La dosis se redujo en un 70 y un 87 % y un 16 y un 60 %, respectivamente, después de la introducción de un sistema de traje de gravedad cero.²⁹⁷ En comparación con los delantales de plomo convencionales, el uso de plomo suspendido durante la intervención coronaria percutánea se asoció con menos radiación. exposición al tórax (0,0 mSv frente a 0,4 mSv, $p < 0,001$) y cabeza (0,5 mSv frente a 14,9 mSv, $p < 0,001$)²⁹⁸ y una reducción del 94 % en la dosis de radiación del médico a nivel de la cabeza.²⁹⁹

Aunque el EPP tradicional, cuando se utiliza junto con otros escudos, proporciona una protección radiológica integral, existen limitaciones, especialmente en lo que respecta a la radiación dispersa en la cabeza, los ojos y la parte inferior de las piernas. Dado el efecto protector superior demostrado para todo el cuerpo por el traje de gravedad cero, está justificado considerar el sistema en entornos de dosis altas.

El sistema de protección contra la radiación suspendido de cuerpo completo generalmente reemplaza el EPP tradicional (es decir, delantal de plomo, protector de tiroides y espinilleras), aunque aún se pueden usar gafas de protección personal. El uso de sistemas de protección radiológica suspendidos de cuerpo completo puede reducir la posibilidad de utilizar blindajes de plomo estándar montados en el techo, lo cual no es óptimo, y se debe tener cuidado con su uso continuo como complemento de los sistemas de protección radiológica suspendidos de cuerpo completo.

El costo puede ser un obstáculo potencial a la hora de adquirir el sistema de protección radiológica suspendido de cuerpo completo, y existe una cierta curva de aprendizaje para acostumbrarse al sistema, tanto por parte del operador como del personal que lo preparará.

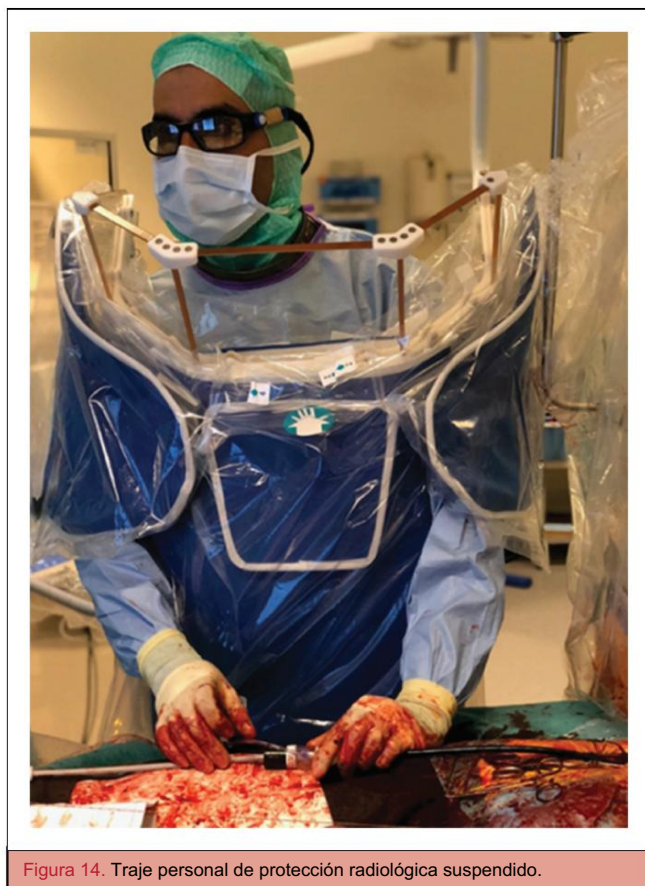


Figura 14. Traje personal de protección radiológica suspendido.

Recomendación 38

Se debe considerar un sistema de protección contra la radiación suspendido con escudo de cuerpo completo en procedimientos endovasculares de dosis altas.

Clase	Nivel	Referencias
Ila	C	Marichal et al. (2011), ²⁹⁴ Savage et al. (2013), ²⁹⁵ Haussen et al. (2016), ²⁹⁶ Pierno et al. (2012), ²⁹⁷ Madder et al. (2017), ²⁹⁸ Salcido-Ríos et al. (2022) ²⁹⁹

6.3.2. Blindaje de protección radiológica encima y debajo de la mesa. El blindaje de protección radiológica se puede montar en el techo, en la mesa de operaciones o de forma móvil sobre ruedas. Los protectores de acrílico de plomo montados en el techo son comunes y no se puede dejar de enfatizar su importancia (consulte la Fig. 15). El uso adecuado de estos protectores puede reducir la dosis de radiación en la cabeza y el cuello del operador.^{271,293,300,301} La protección conferida al operador se ve sustancialmente comprometida si estos protectores no están colocados correctamente y deben ajustarse según la mesa y la posición del brazo en C. cambios de ángulo durante el caso antes de la fluoroscopia y DSA. Si el blindaje montado en el techo se coloca más cerca del paciente, se protege un ángulo sólido más grande pero con



menor eficiencia. Por otro lado, si el blindaje se coloca cerca del operador, se protege un ángulo sólido más pequeño pero con mayor eficiencia. Esto debe tenerse en cuenta cuando hay más personas presentes en el quirófano, como suele ser el caso durante los procedimientos endovasculares. .302 El escudo es más eficaz para brindar protección a la parte superior del cuerpo durante los procedimientos de acceso femoral derecho cuando se coloca justo en sentido cefálico con respecto al sitio de acceso y está ajustado a las superficies anterior y derecha del paciente. Un escudo colocado a 20 cm de la ingle genera el doble de radiación dispersa que uno colocado más cerca del sitio de acceso; Además de esto, un espacio de 5 cm entre el protector y el cuerpo del paciente resulta en un aumento adicional de cuatro veces en la exposición del operador.²⁹³ Es importante señalar que, aunque los protectores montados en el techo reducen la exposición ocular del operador en un factor de 19, tienen un beneficio mínimo en la reducción de la exposición a la radiación en las manos y se deben tomar medidas adicionales.²⁷¹

Los estudios con fantasmas han demostrado que los escudos más grandes con un corte en el contorno del paciente que permite que el espacio curvo se adapte al cuerpo del paciente, junto con una cortina flexible debajo del escudo en contacto con el cuerpo del paciente, reducen la dosis para el operador hasta en un 87,5 %. comparado con un escudo desnudo. Estas extensiones suaves a lo largo del borde inferior mantienen el contacto entre el paciente y el protector para reducir la cantidad de dispersión dirigida hacia el operador. Esta configuración proporciona una mejor protección a las cabezas de los operadores altos y logra magnitudes similares de reducción de dosis para el asistente.³⁰³ También se deben considerar otras protecciones, como las protectoras laterales verticales montadas en mesas; estos pueden eliminarse fácilmente si la obtención de imágenes se ve obstaculizada durante la angulación pronunciada del arco en

Aunque la mayor parte de la energía de los rayos X se desvía hacia arriba y es absorbida por el cuerpo del paciente, la energía descendente no encuentra dicha barrera sin protección. Como resultado, las dosis de radiación son altas en las piernas del operador; Se ha descubierto que las mediciones de dosis en las piernas llegan a 2,6 mSv por procedimiento en radiólogos intervencionistas cuando

no se utiliza protección.²⁶³ Por lo tanto, una protección adecuada contra el haz de rayos X colocado debajo de la mesa de operaciones durante los procedimientos endovasculares es esencial para la protección contra la radiación dispersa. Se recomiendan encarecidamente los faldones de plomo montados en las mesas, generalmente en forma de listones de plomo que cuelgan del costado de la mesa y cerca del piso. Como son flexibles (y pueden girarse 90 grados horizontalmente cuando sea necesario), se pueden adoptar faldones de plomo para la mayoría de los procedimientos endovasculares, ya que pueden adaptarse a una variedad de ángulos de ar. Aunque los delantales portátiles proporcionan la mayor parte del blindaje, los faldones de plomo de la mesa disminuyen aún más la dosis de radiación en más del 90%,²⁹³ y su uso complementario para la protección debajo de la mesa de operaciones da como resultado una menor dosis de radiación en la pelvis y el tórax del operador.³⁰⁴ Los estudios fantasma han demostrado que cuando las pantallas de plomo suspendidas en el techo se combinan con blindajes montados en mesas, la exposición a la radiación del operador y el asistente se reduce hasta en un 90%.³⁰⁵ Otros miembros del equipo, incluidos el anestesista y el personal de enfermería, deben estar protegidos de la radiación. . Esto se puede lograr fácilmente utilizando protectores de plomo accesorios móviles colocados en el suelo que tengan un espesor de cable efectivo de 0,5 mm. Estos pueden reducir la exposición a la radiación de otros miembros del equipo en más del 60%.³⁰⁶

Recomendación 39

Se recomienda a todos los operadores que utilicen protectores montados en el techo como protección de primera línea en todo momento durante los procedimientos endovasculares.

Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Fetterly et al. (2011), ²⁹³ Maeder et al. (2006), ²⁷¹ Thornton et al. (2010), ³⁰⁰ Eder et al. (2015) ³⁰³

* Principio de la física

Recomendación 40		
Se recomienda que todos los operadores utilicen cables montados en mesa. Faldones como protección de primera línea en todo momento durante la cirugía endovascular. procedimientos.		
Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Whitby et al. (2003), 263 Encadenados et al. (2011), 293 Sciahbasi et al. (2019) 304
* Principio de la física		

Recomendación 41		
Se recomiendan protectores montados en el techo y en la mesa en ambos lados de la mesa de operaciones cuando la exposición del personal es previsto por ambas partes.		
Clase	Nivel	Referencias*
I	B	Jia et al. (2017) 305
* Principio de la física		

6.3.3. Paños de protección radiológica para pacientes. Radioprotector

Los paños estériles incluyen sábanas o paños cubiertos sin plomo. que están hechos de antimonio de bismuto o tungsteno. Ellos son colocado encima del paciente para atenuar la radiación dispersa que contribuye a la dosis del operador en la fuente.³⁰⁷

Los estudios fantasma muestran que estas cortinas reducen la dispersión radiación en un factor de 12, 25 y 29 para los ojos, la tiroides, y manos, respectivamente, en comparación con la cirugía estándar. cortinas.³⁰⁸ La función reductora de dosis es comparable a aproximadamente 0,4 y 0,8 mm de plomo. La mayoría de las pruebas para estas cortinas radioprotectoras se ha acumulado en procedimientos de cardiología, donde se ha demostrado que reducir la dosis de radiación dispersa al operador en un 20% e 80%.^{309e313}

Aunque faltan pruebas del uso de estas cortinas

En cirugía endovascular, un estudio de un solo centro ha demostrado que su uso durante la EVAR infrarenal produce una reducción de la dosis a la mano y al pecho del operador en un 49% y un 55%, respectivamente, así como una reducción del 48% en el pecho del enfermera instrumentista de quirófano.³¹⁴ Otro estudio que evaluó la Eficacia de estos campos en el tratamiento endovascular de miembros inferiores. procedimientos (cubriendo la pierna más cercana al operador y el pecho), informó una tasa de reducción de dosis del 65%.³⁰⁹

Uso diligente y juicioso de techo y mesa.

Se recomienda el uso de escudos y cortinas radioprotectores para todos. procedimientos endovasculares. De hecho, cuando estos se utilizan en combinación con otras radiaciones flexibles interconectadas materiales resistentes, es posible crear una atenuación barrera tan efectiva que la exposición del operador en varios sitios es apenas detectable y se aproxima a niveles de fondo.³¹⁵

Al colocar paños desechables sobre el paciente, preste atención Se requiere evitar tener las cortinas en la viga principal, lo que podría aumentar la exposición del paciente y del operador.⁹ entorno de intervención cardiológica, donde el operador mantiene la misma posición durante la mayor parte del procedimiento, puede diferir del entorno endovascular, donde el operador a menudo utiliza múltiples posiciones haciendo uso de

cortinas protectoras menos sencillas. Además, aunque algunos estudios sugieren que la reducción observada en dosis para el operador se puede lograr sin aumentar la dosis al paciente,³¹⁶ otros estudios han encontrado que Las cortinas reflejan la radiación dispersa hacia el paciente, por lo que aumentando la dosis de radiación al paciente.³¹⁷

Recomendación 42		
Se puede considerar el uso de cortinas protectoras contra la radiación durante procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias
Ib	C	Marcusohn et al. (2018), 307 Rey et al. (2002), 308 Power et al. (2015), 309 Vlastra et al. (2017), 310 Ordiales et al. (2017), 311 Politi et al. (2012), 312 Simons y cols. (2004), 313 Kloeze et al. (2014), 314 Musallam et al. (2015) 317

7. EDUCACIÓN Y FORMACIÓN EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

7.1. Introducción

Los informes sugieren una alarmante brecha de conocimiento relacionada con la Principios de protección contra la exposición a la radiación entre médicos. profesionales, especialmente aprendices, involucrados en guiado por rayos X. procedimientos. Sólo el 39% de los aprendices vasculares franceses respondieron a una encuesta realizada en 2016 y los que Los encuestados que respondieron se sintieron sólo moderadamente satisfechos con su formación en protección radiológica. El principio ALARA estaba bien conocidos por estos socorristas pero conocimientos básicos sobre Los riesgos biológicos y la física de la radiación eran deficientes.¹⁴⁰ En otro Encuesta, el 45% de los aprendices de cirugía vascular en los EE. UU. no tenían capacitación formal en seguridad radiológica, el 74% desconocía los política de seguridad radiológica para mujeres embarazadas, y el 43% no No sabemos el nivel anual aceptable de exposición a la radiación.⁹⁵ Se han mostrado resultados similares para los estudiantes en cardiología,³¹⁸ urología,³¹⁹ y cirugía ortopédica.^{320,321} A encuesta reciente en EE. UU. (95 alumnos, tasa de respuesta del 27 %) reveló que un gran número de aprendices vasculares están excediendo los límites de exposición a la radiación. La mayoría (77,9%) había recibido educación formal sobre seguridad radiológica, pero el 25% nunca había recibió información sobre los niveles de exposición a la radiación ni el 52% se reunió con su oficial de seguridad radiológica.³²²

Los procedimientos realizados por operadores menos experimentados son asociado con una mayor exposición a la radiación en cardiología, ³²³⁻³²⁵ cirugía ortopédica, ³²⁶ radiología intervencionista y neurorradiología. ³²⁷ La curva de aprendizaje en FEVAR puede influyen en la dosis del operador³²⁷, pero la evidencia al respecto es contradictoria, y algunos estudios no informan diferencias en la dosis del operador según el nivel de entrenamiento durante sesiones complejas. procedimientos endovasculares.^{5,165}

Una reciente evaluación europea de las necesidades de simulación La educación basada en cirugía vascular priorizó las habilidades endovasculares básicas, incluida la seguridad radiológica, como la segunda más importante. importante habilidad procesal en la formación en cirugía vascular.³²⁸ La educación y la formación en seguridad radiológica deben ser una prioridad no sólo para los alumnos de cirugía vascular sino para todos

personal en el quirófano endovascular, involucrado en procedimientos que utilizan radiación en todos los niveles de capacitación.³²⁹

7.2. Impartición de educación y formación en protección radiológica.

El principal formador en protección radiológica debe ser un experto en seguridad radiológica, normalmente un físico médico. Las aportaciones de los médicos certificados en protección radiológica que llevan a cabo el trabajo diario guiado por rayos X son valiosas.^{330,331} El programa de capacitación en protección radiológica debe ser relevante, requerir un compromiso de tiempo manejable y estar orientado hacia la práctica clínica del público objetivo.³³² Estos programas deben incluir educación básica inicial para todo el personal del quirófano endovascular y educación y capacitación más profunda para los especialistas que utilizan radiación ionizante en procedimientos endovasculares. Organizaciones internacionales como la ICRP, la Comisión Europea y la Organización Mundial de la Salud han proporcionado recomendaciones sobre el plan de estudios. En estos documentos se describe una descripción general de los conocimientos básicos que deben incluirse en la educación sobre protección radiológica y el nivel de conocimiento y comprensión que debe obtener cada categoría.

En 2019, se envió una encuesta europea sobre formación en protección radiológica a los representantes de Cirujanos vasculares europeos en formación (EVST). Veintiuno de los 28 estados miembros europeos tenían en ese momento un representante en el consejo del EVST. Dos tercios de los países (14 de un total de 21) están obligados a realizar un curso obligatorio durante su formación en cirugía vascular, pero sólo en la mitad de los casos va seguido de una evaluación posterior al curso. Este curso obligatorio incluye teoría (los 14), capacitación práctica (4/14) o aprendizaje basado en la web (4/14). El curso debe realizarse durante la escuela de medicina (1/14), antes de exponerse a la radiación o de usarla usted mismo (5/14), pero en la mayoría de los casos solo antes de la certificación de la junta en cirugía vascular (8/14). La recertificación es obligatoria en la mitad de los países (7/14): anualmente (1/14), cada dos años (3/14) o cada cinco años (3/14). De los países donde un curso de protección radiológica no es obligatorio, en cuatro de siete se ofrece un curso o capacitación voluntaria.⁹³

Recomendación 43		
Todo el personal que pueda estar expuesto a la radiación en el quirófano endovascular debe haber tenido el nivel adecuado de formación en protección radiológica.		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	Publicación ICRP 105 (2007), ¹³⁷ Publicación ICRP 113 (2009), ³³³ EBSS (2013) ⁸

7.3. Cursos teóricos

La mayoría de los programas de protección radiológica se centran en la formación de conocimientos utilizando el formato tradicional de aula, pero cada vez se utilizan más el aprendizaje electrónico o los cursos basados en la web.^{334e336} Las principales ventajas del aprendizaje electrónico incluyen la flexibilidad en la gestión del tiempo, el fácil acceso a

recursos y aprender a su propio ritmo, pero carece de interacción con los profesores y otros participantes.

Un estudio multicéntrico ha demostrado que después de una sesión práctica de entrenamiento interactivo de 90 minutos (ELICIT, Encourage Less Irradiation Cardiac Interventional Techniques), los operadores utilizan FT más cortos, menos ejecuciones de DSA, colimación constante y angulaciones del arco en C menos pronunciadas, lo que resulta en una reducción de la DAP. de 26,5 a 13,7 Gy.cm² (48,4%).^{208,337} Las reducciones de dosis relacionadas con el paciente son constantes y duraderas.³³⁸ Los eventos centrados en minimizar la exposición a la radiación y el uso óptimo del equipo de rayos X durante la intervención coronaria han dado lugar de manera similar a reducciones de dosis.³³⁹ Una revisión sistemática sugiere que el entrenamiento en protección radiológica puede dar como resultado una reducción > 70% en la dosis del operador y casi la mitad de la dosis al paciente.³⁴⁰ Los cursos de instrucción específicos revisados incluyeron cursos cortos de 90 minutos y cursos teóricos básicos y avanzados impartidos en 20 o 20 minutos. 48 horas. La implementación de una cultura de seguridad radiológica, incluidas sesiones de laboratorio de imágenes de rayos X y seguridad radiológica y un examen práctico entre 2008 y 2010, condujo a una reducción del 40% en la dosis cutánea acumulada en el quirófano endovascular durante tres años a pesar de una mayor participación de becarios en la capa

7.4. Entrenamiento practico

Los ejercicios prácticos y las sesiones prácticas son beneficiosos, especialmente si se llevan a cabo en un entorno similar al que operará el equipo.³³² La disponibilidad de cursos prácticos varía entre los países europeos, pero algunos ofrecen capacitación práctica en centros acreditados como parte de su programa de capacitación. , creando en última instancia una cultura de respeto por los peligros de la radiación.³⁴² En Suiza, por ejemplo, dos días completos de capacitación práctica en protección radiológica, incluido un examen, son obligatorios para obtener la certificación de la junta en cualquier especialidad quirúrgica.³⁴³ Un plan de estudios en protección radiológica para profesionales médicos se ha establecido en España y los aspectos prácticos de la capacitación han sido bien recibidos.³⁴⁴ Algunas sesiones prácticas de simulación se basan únicamente en la web y permiten al operador alterar la angulación, los aumentos, la frecuencia del pulso y probar inmediatamente la influencia de cada uno. factor sobre la dosis de radiación y la dispersión. Este tipo de formación permite al operador poner en práctica conocimientos y reducir las dosis de radiación al paciente y a los operadores en el laboratorio de cateterismo cardíaco, por ejemplo, con una reducción media de la exposición mensual de 0,58 0,14 a 0,51 0,16 mSv para algunos operadores. .³⁴⁵ Idealmente, el desempeño en seguridad radiológica de los alumnos en intervenciones endovasculares simuladas o reales debería evaluarse periódicamente utilizando una escala de calificación confiable para proporcionar retroalimentación formativa.¹⁴²

Recomendación 44		
Se recomienda la inclusión de contenidos de protección radiológica en los exámenes de certificación de la junta vascular nacional.		
Clase	Nivel	Referencias
I	C	Consenso

Los simuladores médicos son útiles para aprender nuevas habilidades utilizando arcos en C antes de aplicarlos a los pacientes. La práctica de técnicas endovasculares, incluida la angioplastia o colocación de stent ilíaco, la colocación de stent en la arteria carótida y EVAR en un simulador de realidad virtual (VR), mejora el rendimiento en el simulador con una reducción del tiempo total del procedimiento y del FT durante **casos reales**.³⁴⁶⁻³⁵⁰ Estos módulos simulados se centran en el aprendizaje pasos del procedimiento y familiarización con nuevos dispositivos. La reducción de los FT puede explicarse porque el operador pisa el pedal de fluoroscopia con menos frecuencia y durante un período más corto, muy probablemente debido a una mejora tanto en la coordinación mano-ojo-pie como en el uso de herramientas endovasculares. Se reconoce que los alumnos necesitan 300 casos de angiografía coronaria para alcanzar el nivel de competencia de los consultores,³⁵¹ y si la capacitación en realidad virtual acorta y aplanan la curva de aprendizaje, entonces la capacitación en este entorno seguro también puede tener un impacto en la radiación ocupacional y del paciente. dosis.

Al integrar un simulador médico en un entrenamiento de simulación totalmente inmersivo con un equipo quirúrgico completo, el alumno no solo puede mejorar sus habilidades técnicas sino también mejorar el comportamiento de seguridad radiológica de todo el equipo. Los ejemplos incluyen garantizar que todo el equipo operativo endovascular esté usando plomo y pedirle que dé un paso atrás antes de ejecutar DSA.³⁵² Sólo unos pocos estudios han

evaluado si la reducción de FT lograda con el entrenamiento de realidad virtual se traduce en procedimientos de la vida real.

La capacitación práctica utilizando simulación de realidad virtual para endourología, gastroenterología y procedimientos ortopédicos reduce la FT durante operaciones de la vida real.³⁵³⁻³⁵⁶ Se logró una reducción en la FT en casos de electrofisiología de la vida real después de una capacitación basada en simulador y, de manera similar, un ECA que evaluó el efecto de la simulación. El entrenamiento en angiografía diagnóstica encontró una reducción en la FT y la dosis de radiación durante las angiografías coronarias reales realizadas por el grupo que había recibido entrenamiento de simulación en comparación con el grupo que no lo hizo.³⁵⁷⁻³⁵⁹ En el campo endovascular periférico, pocos ECA han demostrado la transferibilidad. de las habilidades endovasculares adquiridas durante el entrenamiento basado en simulación a la vida real con mejoras en los resultados de la vida real, incluido el conocimiento del uso de la fluoroscopia.³⁶⁰ En el estudio de Capacitación Curricular Endovascular StePwise basado en PROFiciency (PROSPECT), que consta de módulos de aprendizaje electrónico y simulación práctica, centrado en la enfermedad aterosclerótica de la arteria femoral superficial e ilíaca, aquellos alumnos que tenían acceso al simulador La capacitación basada en conocimientos y la capacitación tradicional superaron a los otros grupos y mostraron una tendencia hacia un menor uso de contraste y radiación.³⁶¹

La simulación (simulación de realidad virtual, realidad aumentada, impresión 3D) se está volviendo más práctica para el uso diario y los ensayos específicos de cada paciente pueden reducir la exposición a la radiación durante estos procedimientos.³⁶²⁻³⁶⁴ A pesar de la falta de ECA grandes, el beneficio de aprender y practicar endovascular Se deben reconocer sus habilidades en un entorno seguro y libre de radiación para reducir la dosis de radiación en procedimientos endovasculares de la vida real. Esto es especialmente importante en el caso de visitantes jóvenes (en prácticas, médicos o enfermeras).

estudiantes y observadores) a quienes a veces se les obliga o se les permite recibir grandes cantidades de radiación mientras ayudan o realizan procedimientos endovasculares complejos.

Por lo tanto, se debe tener especial cuidado para evitar la exposición excesiva a la radiación de los estudiantes y visitantes.

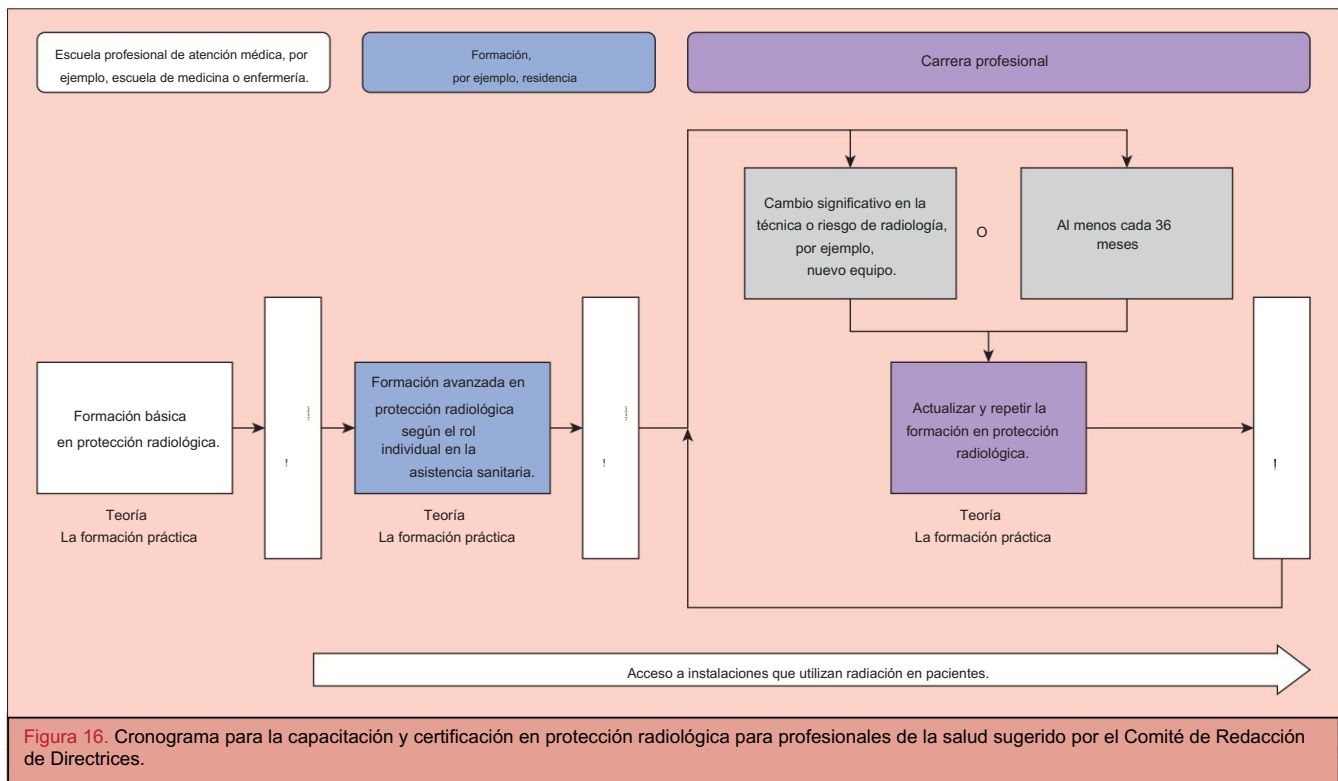
Recomendación 45		
Se debe considerar la capacitación basada en simulación para adquirir las habilidades técnicas adecuadas para reducir la cantidad de radiación durante los procedimientos endovasculares.		
Clase	Nivel	Referencias
Ila	C	Chaer et al. (2006), ³⁶⁵ De Ponti et al. (2012), ³⁵⁸ Prenner et al. (2018), ³⁵⁷ Popovic et al. (2019), ³⁵⁹ Desender et al. (2016) ³⁶²

7.5. Calendario de la educación y formación en protección radiológica

Para garantizar que se proporcione educación y capacitación continua después de la cualificación, los programas de capacitación en protección radiológica deben actualizarse periódicamente y se debe planificar una nueva capacitación al menos cada 36 meses o cuando haya un cambio notable en la técnica radiológica o el riesgo de radiación (Fig. 16).³³³ La educación sobre

protección radiológica debería integrarse en los planes de estudios de las escuelas de medicina, enfermería u otras escuelas, asegurando el establecimiento de una competencia básica en estas áreas.³⁶⁵ Idealmente, el acceso a cualquier instalación que utilice radiación debería prohibirse hasta que al menos se haya completado el nivel básico. se ha obtenido el conocimiento. Para los futuros operadores endovasculares, la educación y la capacitación deben continuar durante toda la residencia, pero especialmente al comienzo de la carrera endovascular, para establecer una base de práctica correcta desde el principio. Esto se puede lograr durante cursos específicos, pero también se puede facilitar mediante una mayor interacción y enseñanza con el personal del quirófano endovascular. La evaluación y la certificación son cruciales. Se han observado mejoras en estas medidas individuales con un solo evento educativo, pero la retroalimentación personalizada detallada y periódica que compara el uso de la radiación de un individuo con el resto de su grupo local de pares y con puntos de referencia externos tiene un mayor impacto.³⁶⁶ Las autoridades regulatorias y de salud pueden hacer cumplir capacitación, certificación

y actualizaciones periódicas en protección radiológica para el personal del quirófano endovascular⁸ (ver Capítulo 3). Idealmente, la evidencia de certificación debería mantenerse en un registro central. Se debería incluir un capítulo estructural sobre seguridad y protección radiológica en la Unión Europea de Médicos Especialistas para ser reconocido como miembro de la Junta Europea de Cirugía Vascul. Las sociedades científicas están en una posición ideal para apoyar y promover la capacitación en protección radiológica al incluir conferencias sobre protección radiológica y ofrecer cursos de actualización en congresos científicos.³³²



Recomendación 46		
Se deben seguir políticas nacionales en materia de capacitación continua y certificación con evaluación formal en protección radiológica.		
Clase	Nivel	Referencias
I	Ley	Publicación ICRP 105 (2007),137 Publicación ICRP 113 (2009),333 EBSS (2013),8 Kuon et al. (2005),337 Azpiri-López et al. (2013),339 Kuon et al. (2014)208

8. TECNOLOGÍAS FUTURAS Y BRECHAS EN LA EVIDENCIA

Muchas de las recomendaciones descritas en estas directrices están respaldadas por evidencia de nivel C y dependen de la opinión experta del comité. Esto resalta la necesidad de que la comunidad vascular y disciplinas afines impulsen estudios que fortalezcan la base de evidencia en materia de protección radiológica. Las nuevas tecnologías que ofrecen la promesa de realizar procedimientos endovasculares con una menor necesidad de guía por rayos X deben adoptarse y evaluarse cuidadosamente de acuerdo con marcos de innovación estándar como Idea, Desarrollo, Exploración, Evaluación y Estudio a largo plazo (IDEAL). Este capítulo describirá los desarrollos que se están llevando a cabo actualmente y las áreas futuras de investigación que pueden evitar las limitaciones y peligros asociados con la guía de rayos X para los procedimientos.

8.1. Nuevas tecnologías

8.1.1. Navegación tridimensional (3D). Las imágenes de guías, catéteres y otros dispositivos endovasculares son bidimensionales (2D) y sólo están disponibles en escala de grises, lo que limita la capacidad de evaluar las relaciones espaciales entre los dispositivos y la anatomía vascular. También limita la capacidad de identificar la forma tridimensional (3D) y la orientación de los dispositivos y dificulta la navegación en el paciente.

Recientemente, se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten la navegación 3D de dispositivos endovasculares dentro del cuerpo con una notable reducción de la dosis de radiación. Dos de estas tecnologías, el seguimiento electromagnético (EM) y la fibra óptica RealShape (FORS), han demostrado potencial en estudios preclínicos.^{367e370}

Un sistema de navegación endovascular EM (ENS) proporciona la posición y orientación 3D de las bobinas EM (y, por tanto, de los dispositivos endovasculares) y visualiza la ubicación de la bobina en una tomografía computarizada preoperatoria. Esta tecnología permite obtener imágenes 3D en tiempo real de dispositivos endovasculares, incluido el posicionamiento de la endoprótesis cubierta,³⁷¹ en un entorno libre de radiación. Los informes preclínicos son alentadores,^{368,369} especialmente cuando la tecnología EM se utiliza en combinación con catéteres robóticos flexibles, pero los resultados clínicos aún no se han publicado.³⁷²

La plataforma tecnológica FORS consiste en un equipo que envía luz láser a través de una fibra óptica multinúcleo que se incorpora en guías y catéteres endovasculares. Analizando la luz reflejada es posible reconstruir la

Forma tridimensional de toda la longitud de la fibra óptica y, por tanto, de los dispositivos endovasculares (Fig. 17).³⁷⁰ Una ventaja de FORS en comparación con el seguimiento EM es que FORS puede mostrar los dispositivos endovasculares en toda la longitud de los dispositivos, mientras que la tecnología de seguimiento EM muestra solo la punta de los dispositivos, donde está colocado el sensor EM. En un entorno preclínico, la seguridad y viabilidad del sistema FORS quedaron demostradas por los resultados combinados de un alto éxito de canulación, falta de riesgos, experiencia positiva para el usuario y precisión adecuada.³⁷⁰ FORS también permitió trabajar en vistas extremas que no se pueden lograr con posiciones estándar del pórtico y también permite trabajar simultáneamente en dos angulaciones diferentes (p. ej., AP y 90). Un primer estudio de viabilidad clínica en humanos confirmó la seguridad y viabilidad de la tecnología FORS en procedimientos endovasculares de la aorta abdominal y las arterias periféricas y ahora se utiliza para el cateterismo de los vasos diana durante EVAR complejos.^{373,374} Sin embargo, los estudios clínicos con series más grandes de pacientes, son necesarios para determinar si FORS tiene un efecto sobre las tasas de éxito técnico, los parámetros de radiación y el tiempo de procedimiento en la práctica clínica.

8.1.2. Seguimiento robótico. Los sistemas de navegación robótica pueden mejorar la maniobrabilidad de los dispositivos endovasculares al tiempo que permiten el control remoto y pueden ser de particular beneficio para casos complejos de EVAR, como F/BEVAR. El cateterismo robótico de los vasos diana en un modelo que simulaba una endoprótesis fenestrada se llevó a cabo con una exposición insignificante a la radiación para el operador. Se redujeron los tiempos de canulación de los vasos, con una reducción sustancial del número de movimientos en comparación con las técnicas de canulación convencionales.³⁷⁵

La evaluación clínica previa de un sistema de navegación robótica ha demostrado que se puede utilizar de forma segura para la canulación de arterias diana renales y viscerales durante procedimientos aórticos endovasculares complejos. Se descubrió que es más eficaz para injertos ramificados y en chimenea, con una tasa de canulación exitosa aceptable durante la endoprótesis fenestrada (81%).³⁷⁶ Sin embargo, se necesitan estudios prospectivos para demostrar las ventajas clínicas de la navegación robótica.

8.1.3. Inteligencia artificial. La introducción de tecnologías de IA en intervenciones guiadas por fluoroscopia también puede reducir las dosis de radiación. Por ejemplo, la capacidad de utilizar la IA para crear

Los ajustes automáticos en la forma en que aparecen las guías y los catéteres en la pantalla pueden reducir la exposición a la radiación asociada con el seguimiento de estos dispositivos hasta la ubicación anatómica deseada. Los algoritmos de IA pueden reconocer automáticamente los dispositivos y desencadenar segmentaciones en tiempo real y mejoras en la visualización, es decir, mostrando los dispositivos en colores distintivos y en mayor resolución, lo que permite un seguimiento más fácil y requiere menos exposición a la radiación. Actualmente, varios grupos están trabajando en el desarrollo de tecnologías de IA para esta indicación.^{377,378}

Otra posible aplicación de la IA es el reconocimiento automatizado del sitio de intervención dentro de una imagen de fluoroscopia. Luego, la radiación se puede administrar selectivamente a esta región de interés (ROI). Se ha utilizado un sistema integrado de fluoroscopia de IA (AIF) para procedimientos endoscópicos guiados por rayos X mediante el cual una red neuronal profunda entrenada reconoce el ROI y posteriormente realiza una colimación automatizada y ultrarrápida. En un estudio prospectivo de 100 pacientes, se comparó la exposición a la radiación en aquellos que se sometieron a procedimientos endoscópicos utilizando un sistema de fluoroscopia convencional o equipado con IA. La exposición a la radiación de los pacientes fue menor para el sistema AIF en comparación con el sistema de fluoroscopia convencional, como lo demuestra una reducción en la DAP de 5,7 mGym² a 2,2 mGym² ($p < 0,001$) y casi un 60% menos de dispersión de radiación.³⁷⁹ Aplicación de AIF similar Los sistemas para realizar procedimientos endovasculares merecerían investigación.

Otras tecnologías impulsadas por la IA deseadas incluirían aquellas que facilitan la reducción automatizada de dosis intraoperatoria y también algoritmos que impulsan los sistemas de alerta, por ejemplo, aquellos que se activan cuando los operadores no dan un paso atrás adecuadamente durante las adquisiciones de DSA.

8.2. Lagunas en la práctica y evidencia

8.2.1. Armonización global de las prácticas de seguridad radiológica.

Como se analiza en el Capítulo 2, la legislación europea es clara en términos de límites de dosis y las necesidades de alto nivel para la gestión de exposiciones ocupacionales, públicas y médicas. Sin embargo, muchos de los detalles relacionados con cómo educar y gestionar las prácticas cotidianas en términos de EPP, dosimetría y monitoreo se dejan a las regulaciones nacionales. Además, hay muy poco en materia de estandarización internacional de las prácticas regulatorias. Para promover la armonización global, este

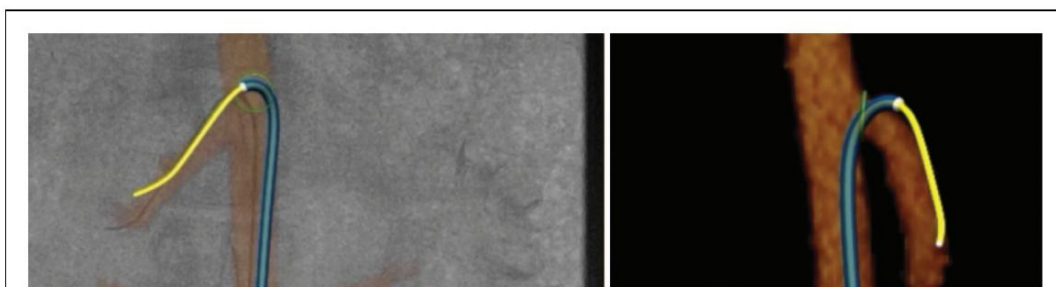


Figura 17. Procedimiento endovascular utilizando tecnología Fiber Optic RealShape (FORS). La guía y el catéter se muestran en tiempo real, en colores distintivos y con efectos tridimensionales. El punto blanco en los dispositivos muestra la dirección de la punta.

Es necesario establecer una normalización mediante una colaboración regional y nacional más estrecha.

Una consideración importante son los países de ingresos bajos y medios, donde los recursos son limitados. En estos entornos se deben identificar y priorizar los medios más rentables para reducir la exposición a la radiación para permitir la mejor protección posible.

8.2.2. Niveles de referencia de dosis de radiación. La evaluación de la literatura realizada para recopilar estas pautas ha mostrado una gran variación en las dosis de radiación publicadas utilizadas para realizar procedimientos endovasculares. Dos de las razones de esta variabilidad son la técnica del operador endovascular y el equipo de arco en C utilizado. Debería definirse mejor la dosis de radiación esperada para un procedimiento estándar. Esto provendrá de una recopilación estandarizada de valores de dosis específicos del procedimiento para todas las operaciones endovasculares. Dos parámetros dosimétricos que se deben recopilar de forma rutinaria y que ofrecen la mayoría de los equipos de guía de rayos X, independientemente del hardware y el fabricante, son KAP y AK en el punto de referencia de entrada del paciente (ver sección 2.2).

Luego, los grupos de trabajo pueden utilizar estos datos para establecer DRL nacionales (ver Capítulo 2) para procedimientos endovasculares y facilitar el uso de la dosis de radiación como una métrica de calidad adicional para los centros que realizan estos procedimientos.

8.2.3. Personal embarazada en el quirófano endovascular.

Como se analizó en el Capítulo 3, las regulaciones estipulan claramente que los niños no nacidos de trabajadores radioactivos están sujetos a los límites de dosis públicos, es decir, dentro de la UE, 1 mGy por año.⁸ Algunos trabajos se han centrado en cómo se maneja esto en la práctica en varios entornos de exposición médica diferentes; sin embargo, hay poca estandarización de la práctica en esta área. Se necesita con urgencia más trabajo sobre cómo minimizar mejor los riesgos y apoyar el trabajo normal y seguro del personal embarazada en el entorno operativo endovascular.

Esto también debería incluir una mejor educación del personal y de los empleadores con respecto a las consideraciones especiales requeridas para las trabajadoras embarazadas que están expuestas a la radiación ocupacional.

8.2.4. Correlatos biológicos de la exposición a la radiación. Se necesitan más investigaciones epidemiológicas y mecanistas radiobiológicas, y una mejor vinculación entre estas dos áreas, para determinar claramente los efectos sobre la salud de la exposición a las radiaciones ionizantes. Una pregunta clave abierta se refiere a cómo varían los riesgos con la edad, y esto es especialmente importante para los pacientes más jóvenes que vivirán más tiempo después de la exposición a la radiación y, por lo tanto, que tienen mayores riesgos totales de desarrollar cánceres inducidos por la radiación, por ejemplo. También es importante aumentar los conocimientos sobre los riesgos individuales de la exposición a la radiación, tanto para los pacientes como para el personal que trabaja con una variedad de escenarios de exposición diferentes, con dosis anuales variables que dependen de una amplia gama de factores, entre ellos la capacitación, el uso de la dosimetría y la EPI. El uso de técnicas biológicas de vanguardia, incluida la elaboración de perfiles genéticos, puede en el futuro identificar a personas con un riesgo particular de exposición a la radiación ocupacional e incluso guiar sus decisiones profesionales.³⁸⁰ Validación de microARN y

Los ARN no codificantes en personal crónicamente expuesto pueden revelar nuevos biomarcadores de exposición y sensibilidad a la exposición. Otra área que requiere atención es una mejor vigilancia prospectiva de los resultados de salud del personal médico expuesto a la radiación. Sin una recopilación de datos a largo plazo sobre la incidencia del cáncer en estos individuos, por ejemplo, nunca sabremos si la exposición a la radiación ocupacional realmente aumenta el riesgo de malignidad en estos individuos. Los estudios más amplios disponibles actualmente no son concluyentes ya que los riesgos son bajos y el poder estadístico de estos estudios no es lo suficientemente alto. La llegada de diseños y análisis de estudios innovadores para eventos raros puede sortear las limitaciones encontradas hasta la fecha.

8.2.5. El valor de la dosimetría en tiempo real. Parecería intuitivo que el uso de la dosimetría en tiempo real, que proporciona una lectura segundo a segundo del efecto de la acción del operador sobre la exposición a la radiación, promovería la seguridad radiológica. Sin embargo, esto no se ha demostrado de manera concluyente y se necesitan más estudios para determinar objetivamente el papel adicional de este complemento en relación con otras conductas de seguridad adoptadas en el quirófano endovascular.

Específicamente, estudios observacionales que tienen como objetivo cuantificar el ahorro de dosis de radiación en operadores que usan dosímetros en tiempo real y cualquier modificación de comportamiento que resulte de que el operador observe cómo aumenta su dosis. Dichos estudios también permitirían relacionar las dosis del operador con las dosis absorbidas por el paciente. Es necesario confirmar y cuantificar los beneficios esperados de la dosimetría en tiempo real con retroalimentación directa para los procedimientos endovasculares en series clínicas comparativas.

8.2.6. Control del operador del equipo de arco en C. En la mayoría de los países, se prefiere el control del arco en C por parte de un operador endovascular capacitado al control de un asistente. Se percibe que esto reducirá la exposición a la radiación ya que el operador sabe con precisión cuándo iniciar y finalizar la detección según el propósito previsto. Además, el operador puede configurar específicamente los parámetros de adquisición apropiados, como la colimación, la ampliación y la velocidad de fotogramas, limitando así la exposición y la dispersión y centrándose en el retorno de la inversión involucrado en esa parte específica del procedimiento. Sin embargo, existe evidencia limitada que respalde esta idea y se necesitan más estudios que cuantifiquen la exposición a la radiación de acuerdo con el flujo de trabajo dentro del quirófano endovascular, incluidos los individuos responsables de controlar el arco en C.

8.2.7. Equipo de protección personal. Es necesario definir el valor adicional de los protectores para las piernas. Hasta el momento, la evidencia disponible se limita a un solo estudio y se necesitan más datos, especialmente en combinación con otros dispositivos de protección.

El valor adicional de los protectores corporales completos debe estar respaldado por datos clínicos. Además, el elevado coste del único sistema disponible actualmente también implica que es necesario destacar los aspectos relacionados con el coste. Es necesario desarrollar y evaluar una protección alternativa para todo el cuerpo.

Los informes sobre una posible contaminación por plomo en los delantales de plomo son preocupantes, y es necesario aclarar urgentemente el alcance y la importancia de esta situación.

8.2.8. Educación y entrenamiento. La formación en protección radiológica está regulada principalmente por las autoridades nacionales. Idealmente, estas regulaciones deberían revisarse y compararse en todos los estados miembros europeos para estudiar cualquier similitud y diferencia, permitiendo a las autoridades optimizar o ajustar sus regulaciones sobre capacitación en protección radiológica.

Es importante que se establezcan programas estructurados para formar a los formadores en seguridad radiológica. Un modelo ideal podría ser que un físico médico debidamente capacitado y un profesional de la salud que utiliza la radiación en el trabajo diario en el quirófano endovascular realicen juntos cursos de seguridad radiológica. Además, el impacto de los cursos de seguridad radiológica en los conocimientos, las habilidades y el comportamiento de los alumnos que asisten debería estudiarse de manera más estructurada para evaluar los beneficios objetivamente.

Es probable que la realidad aumentada y la simulación de realidad virtual desempeñen un papel cada vez más destacado en la preparación del personal sanitario antes de trabajar en el quirófano endovascular. La práctica en entornos creados utilizando estas tecnologías puede ayudar a crear conciencia sobre los factores asociados con la exposición a la radiación de los miembros del equipo endovascular y el personal de asistencia al: (1) poner en práctica los conocimientos sobre seguridad radiológica que han adquirido; (2) aprender a utilizar las tecnologías modernas de forma segura; y (3) mejorar el comportamiento de seguridad radiológica en la práctica endovascular para proteger tanto al operador endovascular como al paciente. Se necesitan ensayos multicéntricos para demostrar cualquier beneficio relacionado con estos materiales educativos modernos que justifique la inversión realizada.

Se debe evaluar periódicamente el impacto de la capacitación en seguridad radiológica (conocimientos, habilidades y comportamiento) en el comportamiento de los miembros del equipo en el quirófano endovascular. Esto se puede lograr combinando evaluaciones confiables de escalas de calificación, dosímetros en tiempo real, software de registro de dosis, informes estructurados de dosis y posiblemente tecnologías de inteligencia artificial. Esto puede proporcionar información detallada sobre aspectos clave del comportamiento de seguridad radiológica de todo el equipo endovascular y facilitar la retroalimentación específica y el desarrollo de intervenciones de capacitación en seguridad radiológica. Esto permite un enfoque específico adaptado a las necesidades de ese equipo en particular.

AGRADECIMIENTOS

En representación del Grupo de Supervisión Pública y Comunitaria (PCOG) de la Unidad de Investigación de Protección de la Salud en Amenazas y Peligros Químicos y de Radiación: Ian Wright; John Phipps; Colette Kelly; Robert Goundry; Eva Smyth; Andrés maderá; Paul Dale (también de la Agencia Escocesa de Protección Ambiental).

En nombre del Grupo Asesor de Pacientes de la Sociedad y Colegio de Radiógrafos: Lynda Johnson; Felipe Planta; Michelle Carmichael e Personal senior especializado en enfermería Guy's y St Thomas' NHS Foundation Trust.

APÉNDICE A. DATOS COMPLEMENTARIOS

Se pueden encontrar datos complementarios de este artículo en línea en <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2022.09.005>.

APÉNDICE B. AFILIACIONES DE LOS AUTORES

Comité de Redacción:

Bijan Modarai, Departamento Académico de Cirugía Vascular, Facultad de Medicina Cardiovascular y Metabólica y Ciencias, Centro de Excelencia de BHF y Centro de Investigación Biomédica de Guy's & St Thomas' NHS Foundation Trust y King's College London, Reino Unido (presidente); Stéphan Haulon, Centro Aórtico, Hôpital Marie Lanne-longue, Groupe Hospitalier Paris St Joseph, Université Paris Saclay, París, Francia (copresidente); Adrien Hertault, Departamento de Cirugía Vascular, Ramsay Santé, Hôpital Privé de Villeneuve d'Ascq, Francia; Anders Wanhainen, Departamento de Ciencias Quirúrgicas, Universidad de Uppsala, Uppsala, y Departamento de Ciencias Quirúrgicas y Perioperatorias, Cirugía, Universidad de Umeå, Umeå, Suecia; Ashish Patel, Departamento Académico de Cirugía Vascular, Facultad de Medicina y Ciencias Cardiovasculares y Metabólicas, Centro de Excelencia BHF y Centro de Investigación Biomédica de Guy's & St Thomas' NHS Foundation Trust y King's College London, Reino Unido; Dittmar Böckler, Hospital Universitario de Heidelberg, Heidelberg, Alemania; Eliseo Vano, Departamento de Radiología, Facultad de Medicina, Universidad Complutense, Madrid, España; Elizabeth Ainsbury, División de Riesgos Radiológicos, Químicos y Ambientales de la Agencia de Seguridad Sanitaria del Reino Unido (UKHSA RCEHD), Chilton, Didcot, Oxon y Grupo de Investigación Ambiental de la Facultad de Salud Pública de la Facultad de Medicina del Imperial College of Science, Technology and Medicine, Londres, Reino Unido; Isabelle Van Herzeele, Departamento de Cirugía Torácica y Vascular, Hospital Universitario de Gante, Gante, Bélgica; Joost van Herwaarden, Departamento de Cirugía Vascular, Centro Médico Universitario de Utrecht, Utrecht, Países Bajos; Joseph Dawson, Royal Adelaide Hospital y Universidad de Adelaide, Australia del Sur, Australia; Mark Farber, División de Cirugía Vascular, Red Aórtica de la UNC, Departamento de Cirugía, Universidad de Carolina del Norte, Chapel Hill, Carolina del Norte, EE. UU.; Salome Weiss, Departamento de Cirugía Vascular, Inselspital, Hospital Universitario de Berna, Universidad de Berna, Suiza.

Comité de Directrices ESVS:

Frederico Bastos Gonçalves, Centro Hospitalar Universitário de Lisboa Central y Escuela de Medicina NOVA, Lisboa, Portugal; Martin Björck, Departamento de Ciencias Quirúrgicas, Cirugía Vascular, Universidad de Uppsala, Uppsala, Suecia Departamento de Cirugía, Instituto de Medicina Clínica, Universidad de Tartu, Tartu, Estonia; Nabil Chakfé, Universidad de Estrasburgo, Estrasburgo, Francia; Gert J. de Borst, Departamento de Cirugía Vascular, Centro Médico Universitario de Utrecht, Utrecht, Países Bajos; Raphaël Coscas, Hospital Universitario Ambroise Paré, AP-HP, Universidades Boulogne-Billancourt, Versailles-Saint-Quentin y Paris-Saclay, Francia; Nuño V.

Dias, Centro Vascular, Departamento de Cirugía Torácica y Vascular, Hospital Universitario de Skåne y Departamento de Ciencias Clínicas de Malmö, Universidad de Lund, Malmö, Suecia; Florian Dick, Departamento de Cirugía Vascular, Kantonsspital

St. Gallen y Universidad de Berna, Berna, Suiza; Robert J. Hinchliffe, Departamento de Cirugía Vascular, Universidad de Bristol, Bristol, Reino Unido; Stavros K. Kakkos, Departamento de Cirugía Vascular, Facultad de Medicina de la Universidad de Patras, Patras, Grecia; Philippe Kolh, Departamento de Ciencias Biomédicas y Preclínicas, Universidad de Lieja, y Ciencias Cardiovasculares GIGA, Universidad de Lieja, Lieja, Bélgica; Igor B. Koncar, Facultad de Medicina, Universidad de Belgrado, Belgrado, Serbia; Jes S. Lindholt, Departamento de Cirugía Cardiorrástica y Vascular, Hospital Universitario de Odense y Centro de investigación Elite de medicina individualizada para enfermedades arteriales (CIMA), Hospital Universitario de Odense, Odense, Dinamarca; Santi Trimarchi, Fondazione IRCCS Cà Granda Ospedale Maggiore Policlinico Milán, Milán, Italia - Departamento de Ciencias Clínicas y Comunitarias, Universidad de Milán, Milán, Italia; Riikka Tulamo, Hospital Universitario de Helsinki y Universidad de Helsinki, Helsinki, Finlandia; Christopher P. Twine, North Bristol NHS Trust, Bristol, Reino Unido, Universidad de Bristol, Bristol, Reino Unido; Frank Vermassen, Departamento de Cirugía Vascular y Torácica, Hospital Universitario de Gante, Gante, Bélgica (coordinador de la revisión).

Revisores de documentos:

Klaus Bacher, Física médica, Universidad de Gante, Gante, Bélgica; Elias Brontzos, Radiología Intervencionista, Universidad Nacional y Kapodistriana de Atenas, Atenas, Grecia; Fabrizio Fanelli, Hospital Universitario Careggi, Florencia, Italia; Liliana A. Fidalgo Domingos, Centro Hospitalar Universitario do Algarve, Faro, Portugal; Mauro Gargiulo, Cirugía Vascular, DIMES, Universidad de Bolonia, IRCCS Policlinico S.

Orsola, Bolonia Italia; Kevin Mani, Departamento de Ciencias Quirúrgicas, Universidad de Uppsala, Uppsala, Suecia; tara m. Mastracci, Hospital St. Bartholomew, Londres, Reino Unido; Blandine Maurel, CHU, Nantes, Francia; Robert A. Morgan, St George's University Hospitals NHS Foundation Trust y St George's University de Londres; Peter Schneider, Cirugía Vascular y Endovascular, Universidad de California en San Francisco, San Francisco, EE. UU.

REFERENCIAS

- Schanzer A, Steppacher R, Eslami M, Arous E, Messina L, Belkin M. Tendencias de capacitación en cirugía vascular de 2001 a 2007: un aumento sustancial en el volumen total del procedimiento es impulsado por el aumento del volumen del procedimiento endovascular y el volumen estable del procedimiento abierto. *J Vasc Surg* 2009;49:1339e44.
- Beck AW, Sedrakyan A, Mao J, Venermo M, Faizer R, Debus S, et al. Variaciones en la atención del aneurisma aórtico abdominal: un informe del Consorcio Internacional de Registros Vasculares. *Circulación* 2016;134:1948e58.
- Suckow BD, Goodney PP, Columbo JA, Kang R, Stone DH, Sedrakyan A, et al. Tendencias nacionales en la reparación de aneurismas aórticos endovasculares quirúrgicos abiertos, endovasculares y endovasculares ramificados en pacientes de Medicare. *J Vasc Surg* 2018;67:1690e7.
- Behrendt CA, Sigvant B, Kuchenbecker J, Grima MJ, Schermerhorn M, Thomson IA, et al. Elección del editor: variaciones internacionales y disparidades de sexo en el tratamiento de la enfermedad oclusiva arterial periférica: un informe de VASCUNET y el Consorcio Internacional de Registros Vasculares. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2020;60:873e80.
- Kirkwood ML, Guild JB, Arbiqwe GM, Anderson JA, Valentine RJ, Timaran C. Dosis de radiación del cirujano durante procedimientos endovasculares complejos. *J Vasc Surg* 2015;62:457e63.
- El-Sayed T, Patel AS, Cho JS, Kelly JA, Ludwinski FE, Saha P, et al. Daño del ADN inducido por radiación en operadores que realizan reparación aórtica endovascular. *Circulación* 2017;136:2406e16.
- Mohapatra A, Greenberg RK, Mastracci TM, Eagleton MJ, Thornsberry B. Exposición a la radiación del personal de quirófano y de los pacientes durante procedimientos endovasculares. *J Vasc Surg* 2013;58:702e9.
- Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas básicas de seguridad para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom. *Diario Oficial de la Unión Europea* <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:ES:PDF>.
- CIPR. Protección radiológica laboral en procedimientos intervencionistas. *Publicación de la ICRP 139 Ann ICRP* 2018;47:1e118.
- CIPR. Protección Radiológica en Procedimientos Guiados Fluoroscópicamente fuera del Departamento de Imagen. *Publicación de la ICRP 117 Ann ICRP* 2010;40:1e102.
- CIPR. Prevención de lesiones por radiación derivadas de procedimientos de intervención médica. *Publicación de la ICRP 85 años ICRP* 2000;30:7e67.
- Fletcher DW, Miller DL, Balter S, Taylor MA. Comparación de cuatro técnicas para estimar la dosis de radiación a la piel durante procedimientos angiográficos y de radiología intervencionista. *J Vasc Interv Radiol* 2002;13:391e7.
- Miller DL, Balter S, Cole PE, Lu HT, Schueler BA, Geisinger M, et al. Dosis de radiación en procedimientos de radiología intervencionista: el estudio RAD-IR: parte I: medidas generales de dosis. *J Vasc Interv Radiol* 2003;14:711e27.
- Miller DL, Balter S, Wagner LK, Cardella J, Clark TW, Neithamer CDJ, et al. Directrices de mejora de la calidad para registrar la dosis de radiación del paciente en la historia clínica. *J Vasc Interv Radiol* 2004;15:423e9.
- Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas. Manejo de dosis de radiación para procedimientos médicos intervencionistas guiados por fluoroscopia. *Informe NCRP No. 168*. 2010.
- Chait J, Davis N, Ostrozhynskyy Y, Rajae S, Marks N, Hingorani A, et al. Exposición a la radiación durante la colocación de un stent en la vena iliaca no trombótica. *Vascular* 2019;27:617e22.
- Barbati ME, Gombert A, Schleimer K, Kotelis D, Wittens CHA, Bruners P, et al. Evaluación de la exposición a la radiación de pacientes durante el tratamiento endovascular de la obstrucción venosa crónica. *J Vasc Surg Trastorno linfático venoso* 2019;7:392e8.
- Lim CS, Waseem S, El-Sayed T, Budge J, Quintana B, Thulasidasan N, et al. Exposición del paciente a la radiación para intervenciones venosas profundas endovasculares. *J Vasc Surg Trastorno linfático venoso* 2020;8:259e67.
- Baccellieri D, Apruzzi L, Ardita V, Bilman V, De Cobelli F, Melissano G, et al. Tomografía computarizada de haz cónico de finalización intraoperatoria para la evaluación de lesiones residuales después del tratamiento primario de obstrucciones del flujo venoso proximal. *Flebología* 2022;37:55e62.
- Tuthill E, O'Hara L, O'Donohoe M, Panci S, Gilligan P, Campion D, et al. Investigación de los niveles de referencia y la dosis de radiación asociados con los procedimientos de EVAR (reparación endovascular de aneurismas) abdominal en varios centros europeos. *Eur Radiol* 2017;27:4846e56.
- Farah J, González-Méndez LA, Dufay F, Amir S, Royer B, Gabriel H, et al. Exposición del paciente y niveles de referencia de diagnóstico en quirófanos: un estudio retrospectivo multicéntrico en más de 150 clínicas francesas públicas y privadas. *J Radiol Prot* 2020. doi: 10.1088/1361-6498/abac4f [Publicación electrónica antes de la impresión].
- Vassileva J, Rehani M. Niveles de referencia para diagnóstico. *AJR Am J Roentgenol* 2015;204:W1e3.
- CIPR. Niveles de referencia diagnósticos en imagen médica. *CIPR Publicación* 135 Ann ICRP 2017;46:1e144.

- 24 Rial R, Vañó E, Río-Solá MLD, Fernández JM, Sánchez RM, Santervás LAC, et al. Niveles nacionales de referencia diagnóstica para estrategias de optimización y reparación de aneurismas endovasculares. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2020;60:837e42.
- 25 Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, Wagner LK. Lesiones cutáneas por procedimientos guiados por fluoroscopia: parte 1, características de la lesión por radiación. *AJR Am J Roentgenol* 2001;177:3e11.
- 26 Koenig TR, Mettler FA, Wagner LK. Lesiones cutáneas por procedimientos guiados por fluoroscopia: parte 2, revisión de 73 casos y recomendaciones para minimizar la dosis administrada al paciente. *AJR Am J Roentgenol* 2001;177:13e20.
- 27 DiCarlo AL, Bandremer AC, Hollingsworth BA, Kasim S, Lanionu A, Todd NF, et al. Lesiones cutáneas por radiación: modelos, valoración y tratamientos. *Radiat Res* 2020;194:315e 44.
- 28 CIPR. Declaración de la ICRP sobre reacciones tisulares/efectos tempranos y tardíos de la radiación en tejidos y órganos normales y dosis umbral para reacciones tisulares en un contexto de protección radiológica. Publicación de la ICRP 118 Ann ICRP 2012;41:1e322.
- 29 Ozasa K, Grant EJ, Kodama K. Cohortes del legado japonés: la cohorte de supervivientes de la bomba atómica del Estudio de duración de la vida y la descendencia de los supervivientes. *J Epidemiol* 2018;28:162e9.
- 30 Consejo Nacional de Investigaciones. Riesgos para la salud derivados de la exposición a niveles bajos de radiación ionizante: BEIR VII Fase 2. Washington, DC: The National Academies Press; 2006. pág. 422.
- 31 Calabrese EJ. Hormesis: camino y progresión hacia la significación. *Int J Mol Sci* 2018;19:2871.
- 32 Boice JD. El modelo lineal sin umbral (LNT) utilizado en protección radiológica: una actualización del NCRP. *Int J Radiat Biol* 2017;93:1079e92.
- 33 CIPR. Las Recomendaciones de 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Publicación de la ICRP 103 Ann ICRP 2007;36:2e4.
- 34 Tapiovaara M, Siiskonen T. PCXMC: un programa Monte Carlo para calcular las dosis de los pacientes en exámenes médicos de rayos X. Helsinki, Finlandia: STUK - Autoridad de Seguridad Nuclear y Radiológica; 2008.
- 35 Borrego D, Lowe EM, Kitahara CM, Lee C. Evaluación de PCXMC para pacientes con diferentes tamaños corporales en exámenes de rayos X de tórax y abdomen : un estudio de simulación de Monte Carlo. *Phys Med Biol* 2018;63:065015.
- 36 Harbron RW, Abdelhalim M, Ainsbury EA, Eakins JS, Alam A, Lee C, et al. Dosis de radiación del paciente a partir de la reparación de aneurisma endovascular guiada por rayos X: un enfoque de Monte Carlo utilizando fantasmas de voxel e información detallada sobre la exposición. *J Radiol Prot* 2020;40:704e26.
- 37 Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, et al. Riesgo de cáncer en 680.000 personas expuestas a tomografías computarizadas en la infancia o la adolescencia: estudio de vinculación de datos de 11 millones de australianos. *BMJ* 2013;346:f2360.
- 38 Vano E, González L, Fernández JM, Guibelalde E. Valores de dosis al paciente en radiología intervencionista. *Br J Radiol* 1995;68:1215e 20.
- 39 Sánchez R, Vano E, Fernández JM, Machado A, Roas N. Métodos visuales y numéricos para medir dosis en la piel del paciente en procedimientos intervencionistas utilizando películas radiocrómicas XR-RV2. *Dosimetría Radiat Prot* 2011;147:94e8.
- 40 Ding GX, Malcolm AW. Un dosímetro de luminiscencia estimulado ópticamente para medir la exposición del paciente a partir de procedimientos de guía por imágenes. *Phys Med Biol* 2013;58:5885e97.
- 41 Struelens L, Bacher K, Bosmans H, Bleeser F, Hoornaert MT, Malchair F, et al. Establecimiento de niveles desencadenantes para dirigir el seguimiento de los efectos de la radiación en pacientes sometidos a procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia en Bélgica. *Phys Med* 2014;30:934e40. 42 den
- Boer A, de Feijter PJ, Serruys PW, Roelandt JR. Cuantificación y visualización en tiempo real de la radiación cutánea durante la angiografía e intervención coronaria. *Circulación* 2001;104:1779e84.
- 43 Khodadegan Y, Zhang M, Pavlicek W, Paden RG, Chong B, Schueler BA, et al. Monitorización automática de la dosis cutánea localizada. con procedimientos fluoroscópicos e intervencionistas. *J Digit Imaging* 2011;24:626e39.
- 44 Rana VK, Rudin S, Bednarek DR. Un sistema de seguimiento para calcular la dosis cutánea del paciente en tiempo real durante procedimientos neurointervencionistas utilizando un sistema de imágenes de rayos X bipiano. *Med Phys* 2016;43:5131.
- 45 Sanchez RM, Vano E, Fernandez JM, Escaned J. Evaluación de una visualización en tiempo real para un mapa de dosis cutáneas en procedimientos de cateterismo cardíaco. *Dosimetría Radiat Prot* 2015;165:240e3.
- 46 Sánchez RM, Vano E, Fernández JM, Ten JI, Méndez Montero JV, Armijo J, et al. Experiencia con un estimador de distribución de dosis en la piel del paciente en tiempo real para radiología intervencionista. *Congreso Europeo de Radiología*; 2017. Número de cartel: C-0774.
- 47 Stecker MS, Balter S, Towbin RB, Miller DL, Vañó E, Bartal G, et al. Directrices para el manejo de la dosis de radiación del paciente. *J Vasc Interv Radiol* 2009;20:S263e73.
- 48 Lee WH, Nguyen PK, Fleischmann D, Wu JC. Biomarcadores asociados al daño del ADN en el estudio de la sensibilidad individual a la radiación de dosis bajas a partir de imágenes cardiovasculares. *Eur Corazón J* 2016;37:3075e80.
- 49 Beels L, Bacher K, De Wolf D, Werbrouck J, Thierens H. gamma- focos H2AX como biomarcador para la exposición del paciente a rayos X en cateterismo cardíaco pediátrico: ¿estamos subestimando los riesgos de radiación? *Circulación* 2009;120:1903e9.
- 50 Sari-Minodier I, Orsière T, Auquier P, Martin F, Botta A. Monitoreo citogenético mediante el uso del ensayo de micronúcleos entre trabajadores hospitalarios expuestos a dosis bajas de radiación ionizante. *Mutat Res* 2007;629:111e21.
- 51 Zakeri F, Hirobe T. Un enfoque citogenético de los efectos de bajos niveles de radiaciones ionizantes en individuos ocupacionalmente expuestos. *Eur J Radiol* 2010;73:191e5.
- 52 Nguyen PK, Lee WH, Li YF, Hong WX, Hu S, Chan C, et al. Evaluación de los efectos de la radiación de la angiografía por TC cardíaca utilizando biomarcadores genéticos y proteicos. *JACC Cardiovasc Imaging* 2015;8:873e84.
- 53 Borghini A, Vecoli C, Mercuri A, Carpegiani C, Piccaluga E, Guagliumi G, et al. La exposición a dosis bajas de radiación ionizante desregula el microARN-134 específico del cerebro en cardiólogos intervencionistas. *Circulación* 2017;136:2516e8.
- 54 Hall J, Jeggo PA, West C, Gomolka M, Quintens R, Badie C, et al. Biomarcadores de radiaciones ionizantes en estudios epidemiológicos: una actualización. *Mutat Res Rev Mutat Res* 2017;771:59e84.
- 55 Patel R, Sweeting MJ, Powell JT, Greenhalgh RM. Investigadores del ensayo EVAR . Reparación endovascular versus abierta de aneurisma aórtico abdominal en un seguimiento de 15 años del ensayo 1 de reparación de aneurismas endovasculares del Reino Unido (ensayo 1 EVAR): un ensayo controlado aleatorio . *Lanceta* 2016;388:2366e74.
- 56 Markar SR, Vidal-Diez A, Sounderajah V, Mackenzie H, Hanna GB, Thompson M, et al. Un estudio de cohorte poblacional que examina el riesgo de cáncer abdominal después de la reparación endovascular de un aneurisma aórtico abdominal. *J Vasc Surg* 2019;69: 1776e85.
- 57 Zoli S, Trabattini P, Dainese L, Annoni A, Saccu C, Furnagalli M, et al. Exposición acumulativa a la radiación durante la reparación de un aneurisma endovascular torácico y su seguimiento posterior. *Eur J Cardiothorac Surg* 2012;42:254e9. discusión 259e60.
- 58 Balter S, Hopewell JW, Miller DL, Wagner LK, Zelefsky MJ. Procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia: una revisión de los efectos de la radiación en la piel y el cabello de los pacientes. *Radiología* 2010;254:326e41.
- 59 Weerakkody RA, Walsh SR, Cousins C, Goldstone KE, Tang TY, Gaunt ME. Exposición a la radiación durante la reparación endovascular de un aneurisma. *Br J Surg* 2008;95:699e702.
- 60 Kirkwood ML, Arbiq GM, Guild JB, Timaran C, Anderson JA, Valentine RJ. Efectos deterministas después de la reparación endovascular de un aneurisma aórtico fenestrado. *J Vasc Surg* 2015;61:902e6.
- 61 Kirkwood ML, Arbiq GM, Guild JB, Timaran C, Valentine RJ, Anderson JA. Lesión cutánea inducida por radiación después de procedimientos endovasculares complejos. *J Vasc Surg* 2014;60:742e8.

- 62 Walsh SR, Cousins C, Tang TY, Gaunt ME, Boyle JR. Radiaciones ionizantes en intervenciones endovasculares. *J Endovasc Ther* 2008;15:680e7.
- 63 Zielinski JM, Garner MJ, Band PR, Krewski D, Shilnikova NS, Jiang H, et al. Resultados de salud de la exposición a radiación ionizante de dosis bajas entre trabajadores médicos: un estudio de cohorte del registro nacional canadiense de dosis de trabajadores de radiación. *Int J Occup Med Environ Health* 2009;22:149e56.
- 64 Preston DL, Kitahara CM, Freedman DM, Sigurdson AJ, Simon SL, Little MP, et al. Riesgo de cáncer de mama y exposición ocupacional prolongada a dosis bajas a moderadas en la cohorte de tecnólogos radiológicos de EE. UU., 1983e2008. *Hno. J Cáncer* 2016;115:1105e12.
- 65 Rajaraman P, Doody MM, Yu CL, Preston DL, Miller JS, Sigurdson AJ, et al. Riesgos de cáncer en tecnólogos radiológicos estadounidenses que trabajan con procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia, 1994e2008. *AJR Am J Roentgenol* 2016;206:1101e8.
- 66 Yoshinaga S, Hauptmann M, Sigurdson AJ, Doody MM, Freedman DM, Alexander BH, et al. Cáncer de piel no melanoma en relación con la exposición a radiaciones ionizantes entre tecnólogos radiológicos estadounidenses. *Int J Cáncer* 2005;115:828e34.
- 67 Leuraud K, Richardson DB, Cardis E, Daniels RD, Gillies M, O'Hagan JA, et al. Radiación ionizante y riesgo de muerte por leucemia y linfoma en trabajadores monitoreados por radiación (INWORKS): un estudio de cohorte internacional. *Lancet Haematol* 2015;2:e276e81.
- 68 Andreassi MG, Piccaluga E, Guagliumi G, Del Greco M, Gaita F, Picano E. Riesgos para la salud ocupacional en trabajadores de laboratorio de cateterismo cardíaco. *Circ Cardiovasc Interv* 2016;9:e003273.
- 69 Wang JX, Zhang LA, Li BX, Zhao YC, Wang ZQ, Zhang JY, et al. Incidencia de cáncer y estimación de riesgos entre trabajadores médicos de rayos X en China, 1950-1995. *Health Phys* 2002;82:455e66.
- 70 Berrington A, Darby SC, Weiss HA, Doll R. 100 años de observación sobre radiólogos británicos: mortalidad por cáncer y otras causas 1897e1997. *Br J Radiol* 2001;74:507e19.
- 71 Reeves RR, Ang L, Bahadorani J, Naghi J, Domínguez A, Palakodeti V, et al. Los cardiólogos invasivos están expuestos a una mayor radiación craneal del lado izquierdo: el estudio BRAIN (Brain Radiation Exposure and Attenuation Durante procedimientos de cardiología invasiva). *JACC Cardiovasc Interv* 2015;8:1197e206.
- 72 Roguin A, Goldstein J, Bar O, Goldstein JA. Tumores cerebrales y de cuello entre médicos que realizan procedimientos intervencionistas. *Am J Cardiol* 2013;111:1368e72.
- 73 Kitahara CM, Linet MS, Balter S, Miller DL, Rajaraman P, Cahoon EK, et al. Exposición a la radiación ocupacional y muertes por neoplasias intracraniales malignas del cerebro y del SNC en tecnólogos radiológicos de EE. UU., 1983e2012. *AJR Am J Roentgenol* 2017;208:1278e84.
- 74 Kleiman Nueva Jersey. Catarata por radiación. *Ann ICRP* 2012;41:80e97.
- 75 Klein LW, Miller DL, Balter S, Laskey W, Haines D, Norbash A, et al. Riesgos para la salud ocupacional en el laboratorio de intervención: es hora de un ambiente más seguro. *Radiología* 2009;250:538e44.
- 76 Worgul BV, Kundiye YI, Sergiyenko NM, Chumak VV, Vitte PM, Medvedovsky C, et al. Cataratas entre los trabajadores de limpieza de Chernobyl: implicaciones con respecto a la exposición ocular permitida. *Radiat Res* 2007;167:233e43.
- 77 Jungi S, Ante M, Geisbusch P, Hoedlmoser H, Kleinau P, Bockler D. Exposición a la radiación protegida y desprotegida del cristalino durante procedimientos endovasculares en quirófanos híbridos. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2022. doi: 10.1016/j.ejvs.2022.06.016 [Publicación electrónica antes de la impresión].
- 78 Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, Alexander BH, Freedman DM, Doody MM y otros. Riesgo de cataratas después de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante: un estudio de cohorte prospectivo de 20 años entre tecnólogos radiológicos estadounidenses. *Am J Epidemiol* 2008;168:620e31.
- 79 Elmarazy A, Ebraheem Morra M, Tarek Mohammed A, Al-Habaa A, Elgebalay A, Abdelmotaleb Ghazy A, et al. Riesgo de cataratas entre cardiólogos intervencionistas y cateterismo. Personal de laboratorio: una revisión sistemática y un metanálisis. *Catéter Cardiovasc Interv* 2017;90:1e9.
- 80 Karatasakis A, Brilakis HS, Danek BA, Karacsonyi J, Martinez -Parachini JR, Nguyen-Trong PJ, et al. Cambios del cristalino asociados a la radiación en el laboratorio de cateterismo cardíaco: resultados del estudio IC-CATARACT (CATaracts Attributed to RAdiation in the CaTh lab). *Catéter Cardiovasc Interv* 2018;91:647e54.
- 81 Bhatti P, Sigurdson AJ, Mabuchi K. ¿Puede la radiación en dosis bajas aumentar el riesgo de enfermedad cardiovascular? *Lanceta* 2008;372:697e9.
- 82 Little MP, Tawn EJ, Tzoulaki I, Wakeford R, Hildebrandt G, Paris F, et al. Una revisión sistemática de las asociaciones epidemiológicas entre dosis bajas y moderadas de radiación ionizante y efectos cardiovasculares tardíos, y sus posibles mecanismos. *Radiat Res* 2008;169:99e109.
- 83 Galper SL, Yu JB, Mauch PM, Strasser JF, Silver B, Lacasce A, et al. Enfermedad cardíaca clínicamente significativa en pacientes con linfoma de Hodgkin tratados con irradiación mediastínica. *Sangre* 2011;117:412e8.
- 84 Taylor CW, McGale P, Darby SC. Riesgos cardíacos de la radioterapia del cáncer de mama: una visión contemporánea. *Clin Oncol (R Coll Radiol)* 2006;18:236e46.
- 85 Liu JJ, Freedman DM, Little MP, Doody MM, Alexander BH, Kitahara CM, et al. Historial laboral y riesgos de mortalidad en 90.268 tecnólogos radiológicos estadounidenses. *Ocupar Environ Med* 2014;71:819e35.
- 86 Comisión Europea. Dirección General de Energía Dirección D d Unidad de Seguridad Nuclear y Ciclo del Combustible D.3 d Protección Radiológica. Experto en Directrices Europeas de Física Médica. *Radiation Protection No. 174*. 2014. Disponible en : <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/174.pdf> [Consultado en enero de 2020].
- 87 Casar B, Lopes Mdo C, Drijevic A, Gershkevitch E, Pesznyak C. La física médica en Europa siguiendo las recomendaciones de la Agencia Internacional de Energía Atómica. *Radiol Oncol* 2016;50:64e72.
- 88 Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas. Exposición a la radiación médica de pacientes en los Estados Unidos. *Informe NCRP No. 184*. 2019.
- 89 Mettler Jr FA, Mahesh M, Bhargavan-Chatfield M, Chambers CE, Elee JG, Frush DP, et al. Exposición del paciente a procedimientos radiológicos y de medicina nuclear en los Estados Unidos: volumen del procedimiento y dosis efectiva para el período 2006-2016. *Radiología* 2020;295:418e27.
- 90 Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas. Exposición a la radiación antes de la concepción y prenatal: efectos sobre la salud y orientación protectora. *Informe NCRP No. 174*. 2013.
- 91 Oatway W, Jones A, Holmes S, Watson S, Cabcianca T. Exposición a la radiación ionizante de la población del Reino Unido: Revisión de 2010. Serie de informes PHE PHE-CRCE-026. 2016. Disponible en : https://www.phe-protectionservices.org.uk/cms/assets/gfx/content/resource_3595csc0e8517b1f.pdf [Consultado el 20 de noviembre de 2020].
- 92 Stahl CM, Meisinger QC, Andre MP, Kinney TB, Newton IG. Riesgo de radiación para el operador y el personal de fluoroscopia. *AJR Am J Roentgenol* 2016;207:737e44.
- 93 Weiss S, Van Herzeele I. Formación en protección radiológica para cirujanos vasculares en veintinueve países europeos. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2020;59:512e3.
- 94 Shaw PM, Vouyouka A, Reed A. Es hora de directrices del programa de seguridad radiológica para estudiantes embarazadas y cirujanos vasculares. *J Vasc Surg* 2012;55:862e8.
- 95 Bordoli SJ, Carsten 3er CG, Cull DL, Johnson BL, Taylor SM. Educación sobre seguridad radiológica en la formación en cirugía vascular. *J Vasc Surg* 2014;59:860e4.
- 96 Kamiya K, Ozasa K, Akiba S, Niwa O, Kodama K, Takamura N, et al. Efectos a largo plazo de la exposición a la radiación en la salud. *Lanceta* 2015;386:469e78.
- 97 Grant EJ, Furukawa K, Sakata R, Sugiyama H, Sadakane A, Takahashi I, et al. Riesgo de muerte entre hijos de sobrevivientes de bombas atómicas después de 62 años de seguimiento: un estudio de cohorte. *Lancet Oncol* 2015;16:1316e23.

- 98 Dockerty J, Jolly J, Kumar A, Larsen T, McBride D, McGill S, et al. El veterano nuclear de Nueva Zelanda y sus familias estudian las opciones para evaluar los resultados de salud hereditarios. *N Z Med J* 2020;133:70e8.
- 99 Vu CT, élder DH. El embarazo y el radiólogo intervencionista que trabaja. *Semin Intervención Radiol* 2013;30:403e7.
- 100 Chandra V, Dorsey C, Reed AB, Shaw P, Banghart D, Zhou W. Monitoreo de la exposición fetal a la radiación durante el embarazo. *J Vasc Surg* 2013;58:710e4.
- 101 Dauer LT, Thornton RH, Miller DL, Damilakis J, Dixon RG, Marx MV, et al. Manejo de radiación para intervenciones utilizando guía fluoroscópica o tomográfica computarizada durante el embarazo: una guía conjunta de la Sociedad de Radiología Intervencionista y la Sociedad Europea de Radiología Cardiovascular e Intervencionista con el respaldo de la Asociación Canadiense de Radiología Intervencionista. *J Vasc Interv Radiol* 2012;23:19e32.
- 102 Suárez RC, Berard P, Harrison JD, Melo DR, Nosske D, Stabin M, et al. Revisión de las normas de protección de las trabajadoras embarazadas y sus hijos. *Dosimetría Radiat Prot* 2007;127:19e22.
- 103 Chu B, Miodownik D, Williamson MJ, Gao Y, St Germain J, Dauer LT. Protección radiológica para mujeres embarazadas en un gran centro médico académico oncológico. *Phys Med* 2017;43:186e9.
- 104 Dauer LT, Miller DL, Schueler B, Silberzweig J, Balter S, Bartal G, et al. Protección radiológica ocupacional de trabajadoras embarazadas o potencialmente embarazadas en IR: una guía conjunta de la Sociedad de Radiología Intervencionista y la Sociedad de Radiología Cardiovascular e Intervencionista de Europa. *J Vasc Interv Radiol* 2015;26:171e81.
- 105 Sarkozy A, De Potter T, Heidbuchel H, Ernst S, Kosiuk J, Vano E, et al. Exposición ocupacional a la radiación en el laboratorio de electrofisiología con enfoque en personal con potencial reproductivo y durante el embarazo: un documento de consenso de la Asociación Europea del Ritmo Cardíaco (EHRA) respaldado por la Sociedad del Ritmo Cardíaco (HRS). *Europace* 2017;19:1909e22.
- 106 Delichas M, Psarrakos K, Molyvda-Athanassopoulou E, Giannoglou G, Sioundas A, Hatzioannou K, et al. Exposición a la radiación de cardiólogos que realizan procedimientos de cardiología intervencionista. *Eur J Radiol* 2003;48:268e73.
- 107 Bartal G, Roguin A, Paulo G. Convocatoria para implementar una cultura de protección radiológica en procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia. *AJR Am J Roentgenol* 2016;206:1110e1.
- 108 Attigah N, Oikonomou K, Hinz U, Knoch T, Demirel S, Verhoeven E, et al. Exposición a la radiación del cristalino del ojo y de las manos del operador durante procedimientos endovasculares en quirófanos híbridos. *J Vasc Surg* 2016;63:198e203.
- 109 Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, Alexander BH, Freedman DM, Doody MM, et al. Riesgo de cataratas después de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante: un estudio de cohorte prospectivo de 20 años entre tecnólogos radiológicos estadounidenses. *Am J Epidemiol* 2008;168:620e31.
- 110 Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Romano-Miller M, Rehani MM. Opacidades del cristalino asociadas a la radiación en personal de cateterismo: resultados de una encuesta y evaluaciones directas. *J Vasc Interv Radiol* 2013;24:197e204.
- 111 Monastiriotis S, Comito M, Labropoulos N. Exposición a la radiación en la reparación endovascular de aneurismas de la aorta abdominal y torácica. *J Vasc Surg* 2015;62:753e61.
- 112 Panuccio G, Greenberg RK, Wunderte K, Mastracci TM, Eagleton MG, Davros W. Comparación de estimaciones de dosis de radiación indirecta con dosis de radiación medidas directamente para pacientes y operadores durante procedimientos endovasculares complejos. *J Vasc Surg* 2011;53:885e894 e1.
- 113 Arai T, Uchino S, Kubo Y, Kiyama S, Uezono S. Exposición a la radiación para anestesiólogos durante procedimientos endovasculares. *Anestesia* 2015;70:47e50.
- 114 Bacchim Neto FA, Alves AF, Mascarenhas YM, Nicolucci P, Pina DR. Exposición a la radiación ocupacional en radiología intervencionista vascular: una evaluación completa de diferentes regiones del cuerpo. *Phys Med* 2016;32:1019e24.
- 115 Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas. Uso de monitores personales para estimar la dosis efectiva equivalente y la dosis efectiva para los trabajadores por exposición externa a radiación de baja LET. Informe NCRP No. 122. 1995.
- 116 Bordy JM, Gualdrini G, Daures J, Mariotti F. Principios para el diseño y calibración de dosímetros de protección radiológica para cantidades operativas y de protección para dosimetría de lentes oculares. *Dosimetría Radiat Prot* 2011;144:257e61.
- 117 Carinou E, Ferrari P, Bjelac OC, Gingaume M, Merce MS, O'Connor U. Monitoreo de lentes oculares para personal de radiología intervencionista: dosímetros, calibración y aspectos prácticos del monitoreo de Hp(3). Una revisión de 2015. *J Radiol Prot* 2015;35:R17e34.
- 118 Andrade G, Khoury HJ, Garzón WJ, Dubourcq F, Bredow MF, Monsignore LM, et al. Exposición a la radiación de pacientes y radiólogos intervencionistas durante la embolización de la arteria prostática: un estudio prospectivo de un solo operador. *J Vasc Interv Radiol* 2017;28: 517e21.
- 119 Anderson NE, Rey SH, Miller KL. Variaciones de dosis en las extremidades de radiólogos vasculares/intervencionistas. *Física de la salud* 1999; 76: S39e40.
- 120 Albayati MA, Kelly S, Gallagher D, Dourado R, Patel AS, Saha P, et al. Elección del editor: la angulación del arco en C durante procedimientos aórticos endovasculares complejos aumenta la exposición a la radiación en la cabeza. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2015;49:396e402.
- 121 Comisión Europea. Dirección General de Energía y Transportes Dirección H d Unidad de Energía Nuclear H.4 d Protección Radiológica. Recomendaciones técnicas para el seguimiento de personas ocupacionalmente expuestas a radiaciones externas. Protección contra la radiación No. 160. 2009. Disponible en: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/160.pdf>.
- 122 Miller DL, Balter S, Cole PE, Lu HT, Berenstein A, Albert R, et al. Dosis de radiación en procedimientos de radiología intervencionista: el estudio RAD-IR: parte II: dosis cutánea. *J Vasc Interv Radiol* 2003;14:977e90.
- 123 Komemushi A, Suzuki S, Sano A, Kanno S, Kariya S, Nakatani M, et al. Dosis de radiación de enfermeras durante procedimientos de IR: un ensayo controlado que evalúa las alertas del operador antes de las tareas de enfermería. *J Vasc Interv Radiol* 2014;25:1195e9.
- 124 Cameron J. Dosimetría de radiación. Perspectiva de salud ambiental 1991;91:45e8.
- 125 Poudel S, Weir L, Dowling D, Medich DC. Cambios en la exposición ocupacional a la radiación después de la incorporación de un sistema de dosimetría en tiempo real en la sala de radiología intervencionista. *Física de la salud* 2016;111:S166e71.
- 126 Miljanic S, Knezevic Z, Stuhec M, Ranogajec-Komor M, Krpan K, Vekic B. Dependencia energética de nuevos detectores termoluminiscentes en términos de valores de HP(10). *Dosimetría Radiat Prot* 2003;106:253e6.
- 127 Ito H, Kobayashi I, Watanabe K, Ochi S, Yanagawa N. Evaluación de la radiación dispersada por fluoroscopia utilizando pequeños dosímetros OSL. *Radiol Phys Technol* 2019;12:393e400.
- 128 Chida K, Kato M, Inaba Y, Kobayashi R, Nakamura M, Abe Y, et al. Dosímetro de radiación del paciente en tiempo real para uso en radiología intervencionista. *Phys Med* 2016;32:1475e8.
- 129 Inaba Y, Nakamura M, Chida K, Zuguchi M. Eficacia de un nuevo dosímetro en tiempo real en radiología intervencionista: una comparación de sensores de radiación nuevos y antiguos. *Radiol Phys Technol* 2018;11:445e50.
- 130 Baptista M, Figueira C, Teles P, Cardoso G, Zankl M, Vaz P. Evaluación de la exposición ocupacional en tiempo real durante procedimientos de cardiología intervencionista. *Dosimetría Radiat Prot* 2015;165:304e9.
- 131 Baumann F, Katzen BT, Carelsen B, Diehm N, Benenati JF, Peña CS. El efecto del monitoreo en tiempo real sobre la exposición a la dosis del personal dentro de un entorno de radiología intervencionista. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2015;38:1105e11.
- 132 Muller MC, Welle K, Strauss A, Naehle PC, Pennekamp PH, Weber O, et al. La dosimetría en tiempo real reduce la exposición a la radiación de los cirujanos ortopédicos. *Orthop Traumatol Surg Res* 2014;100: 947e51.

- 133 Bogaert E, Bacher K, Thierens H. Un estudio multicéntrico a gran escala en Bélgica sobre los valores del producto de área de dosis y las dosis efectivas en cardiología intervencionista utilizando equipos de rayos X contemporáneos. *Dosimetría Radiat Prot* 2008;128:312e23.
- 134 Sailer AM, Vergoossen L, Paulis L, van Zwam WH, Das M, Wildberger JE, et al. Comentarios personalizados sobre la dosis del personal en intervenciones guiadas por fluoroscopia: una nueva era en el seguimiento de la dosis de radiación. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2017;40:1756e62.
- 135 Borrego D, Kitahara CM, Balter S, Yoder C. Dosis ocupacionales al personal médico que realiza o asiste con procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia. *Radiología* 2020;294:353e9.
- 136 Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas. Incertidumbres en la medición y dosimetría de la radiación externa: recomendaciones del Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas. Informe NCRP No. 158. 2007.
- 137 CIPR. Protección Radiológica en Medicina. Publicación de la ICRP 105 años ICRP 2007;37:1e63.
- 138 Hertault A, Maurel B, Midulla M, Bordier C, Desponds L, Saeed Kilani M, et al. Elección del editor: Minimizar la exposición a la radiación durante los procedimientos endovasculares: conocimientos básicos, revisión de la literatura y estándares de presentación de informes. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2015;50:21e36.
- 139 Resch TA, Törnqvist P, Sonesson B, Dias NV. Técnicas para reducir la radiación para pacientes y operadores durante el endoinjerto aórtico. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 2016;57:178e84.
- 140 Maurel B, Hertault A, Mont LSd, Cazaban S, Rinckenbach S. Un estudio multicéntrico sobre el equipo del quirófano endovascular y la exposición a la radiación en Francia durante los procedimientos ilíacos. *Ann Vasc Surg* 2017;40:50e6.
- 141 Stangenberg L, Shuja F, van der Bom IMJ, van Alfen MHG, Hamdan AD, Wyers MC, et al. Los sistemas de imágenes fijas modernos reducen la exposición a la radiación de pacientes y proveedores. *Vasc Endovascular Surg* 2018;52:52e8.
- 142 Doyen B, Maurel B, Hertault A, Vlerick P, Mastracci T, Herzele IV, et al. ¡El desempeño en seguridad radiológica es más que simplemente medir dosis! desarrollo de una escala de calificación de seguridad radiológica. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2020;43:1331e41.
- 143 Dawson J, Haulon S. Administración de la radiación: exposición, protección y seguridad a la radiación en la práctica endovascular contemporánea. En: Fitridge R, editor. *Mecanismos de la enfermedad vascular: un libro de referencia para especialistas vasculares*. 2ª ed. Naturaleza Springer; 2020.
- 144 Parisi MT, Bermo MS, Alessio AM, Sharp SE, Gelfand MJ, Shulkin BL. Optimización de la PET/TC pediátrica. *Semin Nucl Med* 2017;47:258e74.
- 145 Killewich LA, Falls G, Mastracci TM, Brown KR. Factores que afectan la lesión por radiación. *J Vasc Surg* 2011;53:9Se14S.
- 146 Brown KR, Rzućidlo E. Lesión por radiación aguda y crónica. *J Vasc Surg* 2011;53:15Se21S.
- 147 Durán A, Hian SK, Miller DL, Heron JL, Padovani R, Vano E. Recomendaciones para la protección radiológica ocupacional en cardiología intervencionista. *Catéter Cardiovasc Interv* 2013;82: 29e42.
- 148 Lipsitz CE, Veith FJ, Ohki T, Heller S, Wain RA, Suggs WD, et al. ¿La reparación endovascular de los aneurismas aortoiliacos representa un riesgo para la seguridad de la radiación para los cirujanos vasculares? *J Vasc Surg* 2000;32:704e10.
- 149 Killewich LA, Singleton TA. Regulaciones gubernamentales y exposición a la radiación. *J Vasc Surg* 2011;53:44Se6S.
- 150 Ketteler ER, Marrón KR. Exposición a la radiación en procedimientos endovasculares. *J Vasc Surg* 2011;53:35Se8S.
- 151 Machan L. Los ojos lo tienen. *Tech Vasc Interv Radiol* 2018;21:21e5.
- 152 Pitton MB, Kloeckner R, Schneider J, Ruckes C, Bersch A, Düber C. Exposición a la radiación en procedimientos angiográficos vasculares. *J Vasc Interv Radiol* 2012;23:1487e95.
- 153 Kim KP, Miller DL, Balter S, Kleinerman RA, Linet MS, Kwon D, et al. Dosis de radiación ocupacional a operadores que realizan procedimientos de cateterismo cardíaco. *Física de la Salud* 2008;94:211e 27.
- 154 CD de Bicknell. La exposición a la radiación ocupacional y el intervencionista vascular. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2013;46:431.
- 155 Lederman HM, Khademian ZP, Felice M, Hurh PJ. Fluoroscopia de reducción de dosis en pediatría. *Pediatr Radiol* 2002;32:844e8.
- 156 Sanchez RM, Vano E, Salinas P, Gonzalo N, Escaned J, Fernández JM. La alta filtración en las prácticas intervencionistas reduce las dosis de radiación del paciente, pero no siempre dispersa las dosis de radiación. *Br J Radiol* 2021;94:20200774. 157 de Ruyter
- QM, Gijssberts CM, Hazenberg CE, Moll FL, van Herwaarden JA. Conciencia sobre la radiación para la reparación endovascular de aneurismas aórticos abdominales en el quirófano híbrido. Un cuadro instantáneo de riesgo del paciente para la práctica diaria. *J Endovasc Ther* 2017;24:425e34.
- 158 Gentic JC, Jannin P, Trelhu B, Riffaud L, Raoult H, Ferré JC, et al. Efectos de los protocolos de dosis bajas en el tratamiento endovascular de aneurismas intracraneales: desarrollo del análisis de tareas del flujo de trabajo durante procedimientos endovasculares cerebrales. *AJR Am J Roentgenol* 2013;201:W322e5.
- 159 Baumann F, Peña C, Kloeckner R, Katzen BT, Gandhi R, Benenati JB. El efecto de una nueva tecnología de imágenes angiográficas sobre la dosis de radiación en procedimientos de embolización visceral. *Vasc Endovascular Surg* 2017;51:183e7.
- 160 Ahmed TAN, Taha S. Exposición a la radiación, el enemigo olvidado: hacia la implementación del programa de seguridad nacional. *Corazón de Egipto J* 2017;69:55e62.
- 161 Leer P, Meyer MP. Restauración de Películas Cinematográficas. En: *Capítulo 2 Luz, Sonido y Percepción Audiovisual*. 1ª ed. Butterworth Heinemann; 2000.
- 162 Miller DL, Balter S, Noonan PT, Georgia JD. Minimizar las lesiones cutáneas inducidas por la radiación en procedimientos de radiología intervencionista. *Radiología* 2002;225:329e36.
- 163 Rolls AE, Rosen S, Constantinou J, Davis M, Cole J, Desai M, et al. Introducción de un enfoque en equipo para la reducción de la dosis de radiación para mejorar el perfil general de seguridad radiológica de FEVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2016;52:451e7.
- 164 Hirshfeld JW, Ferrari VA, Bengel FM, Bergersen L, Chambers CE, Einstein AJ, et al. 2018 ACC/HRS/NASCI/SCAI/SCCT Documento de consenso de expertos sobre el uso óptimo de radiación ionizante en imágenes cardiovasculares: mejores prácticas para la seguridad y la eficacia: un informe del Grupo de Trabajo del Colegio Americano de Cardiología sobre vías de decisión de consenso de expertos. *J Am Coll Cardiol* 2018;71:e283e351.
- 165 Patel AP, Gallacher D, Dourado R, Lyons O, Smith A, Zayed H, et al. Exposición a la radiación ocupacional durante procedimientos aórticos endovasculares. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2013;46:424e30.
- 166 Layton KF, Kallmes DF, Cloft HJ, Schueler BA, Sturchio GM. Exposición a la radiación del operador principal durante procedimientos de neurorradiología quirúrgica endovascular. *AJNR Am J Neuroradiol* 2006;27:742e3.
- 167 Usai MV, Schafers J, Wunderle K, Torsello GF, Panuccio G. Distribución de la dosis de radiación en la reparación endovascular de aneurismas en quirófano híbrido según las fases específicas del procedimiento. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2018;56: e17e8.
- 168 Zhou W. Exposición a la radiación de pacientes de cirugía vascular más allá de los procedimientos endovasculares. *J Vasc Surg* 2011;53:39Se43S.
- 169 Sharafuddin MJ, Marjan AE. Estado actual de la angiografía con dióxido de carbono. *J Vasc Surg* 2017;66:618e37.
- 170 Young M, Mohan J. Angiografía con dióxido de carbono [actualizado el 9 de julio de 2021]. En: *StatPearls [Internet]*. Isla del Tesoro (FL): StatPearls Publishing; Enero de 2021. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534244/>.
- 171 Haqqani OP, Agarwal PK, Halin NM, lafrati MD. Definición de la nube de dispersión de radiación en la sala de intervención. *J Vasc Surg* 2013;58:1339e45.
- 172 Miller DL. Haga de la protección radiológica un hábito. *Tech Vasc Interv Radiol* 2018;21:37e42.
- 173 Tonnessen BH, Pounds L. Física de la radiación. *J Vasc Surg* 2011;53: 6Se8S.

- 174 Lindsay BD, Eichung JO, Ambos HD, Cain ME. Exposición a la radiación de pacientes y personal médico durante la ablación con catéter por radiofrecuencia para la taquicardia supraventricular. *Am J Cardiol* 1992;70:218e23.
- 175 Balter S. Siempre en mi mente. *Tech Vasc Interv Radiol* 2018;21:26e31.
- 176 Haqqani OP, Agarwal PK, Halin NM, Iafrafi MD. Minimizar la exposición a la radiación del cirujano vascular. *J Vasc Surg* 2012;55:799e805.
- 177 Gould R, McFadden SL, Sands AJ, McCrossan BA, Horn S, Prize KM, et al. Eliminación de radiación dispersa en cateterismo cardíaco pediátrico: un ensayo clínico controlado aleatorio. *J Radiol Prot* 2017;37:742e60.
- 178 Bang VV, Levy MS. Seguridad radiológica con tecnología de reducción de dosis: la responsabilidad se detiene con la dosis cero. *Catéter Cardiovasc Interv* 2018;91:1200e1.
- 179 Kirkwood ML, Guild JB, Arbiqúe GM, Tsai S, Modrall JG, Anderson JA, et al. El nuevo software de procesamiento de imágenes y reducción de ruido reduce la dosis de radiación durante procedimientos endovasculares complejos. *J Vasc Surg* 2016;64:1357e65.
- 180 van Strijen MJ, Grünhagen T, Mauti M, Zähringer M, Gaines PA, Robinson GJ, et al. Evaluación de una tecnología de imágenes con reducción de ruido en angiografía por sustracción digital ilíaca: calidad de imagen clínica no inferior con dosis más bajas para el paciente y dispersas. *J Vasc Interv Radiol* 2015;26:642e50.
- 181 Miller C, Kendrick D, Shevitz A, Kim A, Baele H, Jordan D, et al. Evaluación de estrategias para reducir la radiación dispersa en quirófanos híbridos de imágenes fijas. *J Vasc Surg* 2018;67:1227e33.
- 182 Stansfield T, Parker R, Masson N, Lewis D. El recorrido previo al procedimiento endovascular y breve: una intervención simple para reducir la dosis de radiación y la carga de contraste en la reparación endovascular de aneurismas. *Vasc Endovascular Surg* 2016;50:241e6.
- 183 Kakkos SK, Tsolakis IA. Comentario sobre "La simulación preoperatoria de la posición adecuada del arco en C mediante software de procesamiento de tomografía computarizada reduce la exposición a la radiación y al medio de contraste durante los procedimientos EVAR". *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2017;53:275.
- 184 Stahlberg E, Planert M, Panagiotopoulos N, Horn M, Wiedner M, Kleemann M, et al. La simulación preoperatoria de la posición adecuada del arco en C mediante software de procesamiento de tomografía computarizada reduce la exposición a la radiación y al medio de contraste durante los procedimientos EVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2017;53:269e74.
- 185 Molinari GJ, Guillaumon AT, Dalbem AM. Análisis de eficacia de una guía basada en guiones para la ejecución de EVAR: ¿es posible reducir la exposición del paciente al contraste, el tiempo operatorio y la pérdida de sangre incluso cuando no se dispone de tecnologías avanzadas? *Braz J Cardiovasc Surg* 2015;30:650e6.
- 186 GP Molinari. Acerca de la manipulación de imágenes de la CTA en el software para simular la posición intraoperatoria adecuada del arco en C. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2018;55:902e3.
- 187 Hua L, Doan K, Bajic N, Fitridge R, Dawson J. Los beneficios procesales de la angiografía de fusión de imágenes tridimensionales durante la EVAR se asocian con mejores resultados posoperatorios. *J Vasc Surg* 2015;62:536e7.
- 188 Sailer AM, de Haan MW, Peppelenbosch AG, Jacobs MJ, Wildberger JE, Schurink GWH. ATC con guía de fusión de imágenes de fluoroscopia en la reparación endovascular de aneurismas aórticos complejos. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2014;47:349e56.
- 189 Gonçalves FB. ¡Ay, ALARA! ¿Por qué la (con)fusión? *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2018;56:434.
- 190 Maurel B, Martín-González T, Chong D, Irwin A, Guimbretière G, Davis M, et al. Un ensayo observacional prospectivo de imágenes de fusión en aneurismas infrarrenales. *J Vasc Surg* 2018;68:1706e13.
- 191 Dias NV, Billberg H, Sonesson B, Törnqvist P, Resch T, Kristmundsson T. Los efectos de combinar imágenes de fusión, fluoroscopia pulsada de baja frecuencia y agente de contraste de baja concentración durante la reparación endovascular del aneurisma. *J Vasc Surg* 2016;63:1147e55.
- 192 McNally MM, Scali ST, Feezor RJ, Neal D, Huber TS, Beck AW. La tomografía computarizada de fusión tridimensional disminuye la exposición a la radiación, el tiempo del procedimiento y el uso de contraste durante la reparación endovascular de la aorta fenestrada. *J Vasc Surg* 2015;61:309e16.
- 193 Ahmad W, Obeidi Y, Majd P, Brunkwall JS. El método de registro 2D-3D en la fusión de imágenes es preciso y ayuda a reducir el medio de contraste utilizado, la radiación y el tiempo de procedimiento en los procedimientos EVAR estándar. *Ann Vasc Surg* 2018;51:177e86.
- 194 Goudekting SR, Heinen SGH, Ünlü Ç, van den Heuvel DAF, de Vries J-PPM, van Strijen MJ, et al. Pros y contras de la fusión de imágenes 3D en la reparación endovascular de la aorta: una revisión sistemática y un metanálisis. *J Endovasc Ther* 2017;24:595e603.
- 195 Edsfieldt A, Sonesson B, Rosén H, Petri MH, Hongku K, Resch T, et al. Validación de un nuevo método para el registro de imágenes de fusión 2D en un sistema preparado sólo para 3D. *J Endovasc Ther* 2020;27:468e72.
- 196 Carrell TWG, Modarai B, Brown JRI, Penney GP. Viabilidad y limitaciones de un sistema automatizado de registro de imágenes rígidas 2D-3D para procedimientos aórticos endovasculares complejos. *J Endovasc Ther* 2010;17:527e33.
- 197 Southerland KW, Nag U, Turner M, Gilmore B, McCann R, Long C, et al. SI09. La tomografía computarizada de fusión tridimensional basada en imágenes disminuye la exposición a la radiación, el tiempo de fluoroscopia y el tiempo del procedimiento durante la reparación endovascular del aneurisma aórtico. *J Vasc Surg* 2018;67:e61. 198
- de Ruiter QM, Reitsma JB, Moll FL, van Herwaarden JA. Metanálisis de la duración y la dosis de radiación acumulada durante la EVAR utilizando arcos en C de fusión móviles, fijos o fijos/3D. *J Endovasc Ther* 2016;23:944e56.
- 199 Mougín J, Louis N, Maupas E, Goueffic Y, Fabre D, Haulon S. Guía de imágenes de fusión para la recanalización endovascular de la enfermedad oclusiva periférica. *J Vasc Surg* 2022;75:610e7.
- 200 Livingstone RS, Chase D, Varghese A, George PV, George OK. Transición del intensificador de imágenes al detector de panel plano en cardiología intervencionista: impacto de la dosis de radiación. *J Med Phys* 2015;40:24e8.
- 201 Bokou C, Schreiner-Karoussou A, Breisch R, Beissel J. Cambio de tecnología de intensificador de imágenes a detector plano para procedimientos de cardiología intervencionista: un punto de vista práctico. *Dosimetría Radiat Prot* 2008;129:83e6.
- 202 Prieto C, Vano E, Fernández JM, Martínez D, Sánchez R. Es necesario evitar aumentos en las dosis a los pacientes al actualizar los sistemas de cardiología intervencionista a detectores planos. *Dosimetría Radiat Prot* 2011;147:83e5.
- 203 Tsapaki V, Kottou S, Kollaros N, Dafnomili P, Koutelou M, Vano E, et al. Comparación de un sistema digital convencional y uno de panel plano en procedimientos de cardiología intervencionista. *Br J Radiol* 2004;77:562e7.
- 204 Wiesinger B, Kirchner S, Blumenstock G, Herz K, Schmehl J, Claussen CD, et al. Diferencia en el producto de área de dosis entre el intensificador de imágenes analógico y el detector de panel plano digital en angiografía periférica y el efecto del IMC. *Rofo* 2013;185:153e9.
- 205 Axelsson B. Optimización en fluoroscopia. *Biomed Imaging Interv J* 2007;3:e47.
- 206 Wiesinger B, Stütz A, Schmehl J, Claussen CD, Wiskirchen J. Comparación de detectores digitales de panel plano y máquinas de angiografía convencionales: evaluación de tasas de detección de stent, puntuaciones de visibilidad y productos de área de dosis. *AJR Am J Roentgenol* 2012;198:946e54.
- 207 Spira D, Kirchner S, Blumenstock G, Herz K, Ketelsen D, Wiskirchen J, et al. Procedimientos angiográficos terapéuticos: diferencias en el producto de dosis-área entre el intensificador de imágenes analógico y el detector digital de panel plano. *Acta Radiol* 2015;57:587e94.
- 208 Kuon E, Weitmann K, Hoffmann W, Dorr M, Reffelmann T, Hummel A, et al. Eficacia de un minicurso sobre técnicas de reducción de radiación en cardiología invasiva: un estudio de campo multicéntrico. *JACC Cardiovasc Interv* 2014;7:382e90.

- 209 Suzuki S, Furui S, Kobayashi I, Yamauchi T, Kohtake H, Takeshita K, et al. Dosis de radiación a pacientes y radiólogos durante la embolización arterial transcáteter: comparación de un sistema de pantalla plana digital y una unidad convencional. *AJR Am J Roentgenol* 2005;185:855e9.
- 210 Chida K, Inaba Y, Saito H, Ishibashi T, Takahashi S, Kohzaki M, et al. Dosis de radiación del sistema de radiología intervencionista mediante un detector de panel plano. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:1680e5.
- 211 Dragusin O, Breisch R, Bokou C, Beissel J. ¿Un detector de panel plano reduce la dosis de radiación del paciente en cardiología intervencionista? *Dosimetría Radiat Prot* 2010;139:266e70.
- 212 Wang J, Blackburn T.J. Tutorial de física para residentes de AAPM/RSNA: intensificadores de imágenes de rayos X para fluoroscopia. *Radiografía* 2000;20:1471e7.
- 213 SUNY Upstate Medical University, Syracuse, Nueva York. Radiología. El intensificador de imágenes (II). Disponible en: <http://www.upstate.edu/radiologia/educacion/rsna/fluoro/iisize.php> [Consultado el 13 de diciembre de 2020].
- 214 Hasegawa K, Umemoto N, Inoue S, Iio Y, Shibata N, Mizutani T, et al. El zoom digital es un método útil, simple y rentable para reducir la exposición a la radiación en la intervención coronaria percutánea. *Cardiovasc Interv Ther* 2020;35:353e60.
- 215 Kato M, Chida K, Yoshida K, Sasaki F, Sasaki M, Oosaka H, et al. Método de reducción de la dosis de radiación de los pacientes considerando el tamaño del campo de visión con un sistema de cine digital de rayos X cargando un detector de panel plano. *Japón J Radiolog Technol* 2011;67:1443e7.
- 216 Chapple CL, Bradley A, Murray M, Orr P, Reay J, Riley P, et al. Cultura de seguridad radiológica en el sector médico del Reino Unido: una estrategia de arriba a abajo. *Dosimetría Radiat Prot* 2016;173:80e6.
- 217 Beathard GA, Urbanes A, Litchfield T. Dosis de radiación asociada con procedimientos intervencionistas de acceso vascular de diálisis en el centro de nefrología intervencionista. *Semin Dial* 2013;26:503e10.
- 218 Hertault A, Rhee R, Antoniou GA, Adam D, Tonda H, Rousseau H, et al. Reducción de la dosis de radiación durante EVAR: resultados de un estudio multicéntrico prospectivo (el Estudio REVAR). *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2018;56:426e33.
- 219 Domingos LF, García EMSN, Castillo DG, Ruiz CF, Fernández IE, Puerta CV. Medidas de radioprotección durante la curva de aprendizaje con quirófanos híbridos. *Ann Vasc Surg* 2018;50:253e8.
- 220 Maurel B, Sobocinski J, Perini P, Guillou M, Midulla M, Azzaoui R, et al. Evaluación de la radiación durante EVAR realizada en un arco en C móvil. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2012;43:16e21.
- 221 Bruschi A, Michelagnoli S, Chisci E, Mazzocchi S, Panci S, Didona A, et al. Un estudio comparativo de la exposición a la radiación de pacientes durante EVAR y Dyna CT en una angiosuite frente a un quirófano. *Dosimetría Radiat Prot* 2015;163:491e8.
- 222 Varu VN, Greenberg JL, Lee JT. Eficiencia y seguridad mejoradas para EVAR con la utilización de una sala híbrida. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2013;46:675e9.
- 223 Fossaceca R, Brambilla M, Guzzardi G, Cerini P, Renghi A, Valzano S, et al. El impacto del equipo radiológico en la exposición del paciente a la radiación durante la reparación endovascular del aneurisma aórtico. *Eur Radiol* 2012;22:2424e31.
- 224 Kendrick DE, Miller CP, Moorehead PA, Kim AH, Baele HR, Wong VL, et al. Exposición comparativa a la radiación ocupacional entre sistemas de imágenes fijos y móviles. *J Vasc Surg* 2016;63:190e7.
- 225 Rehman ZU, Choksy S, Howard A, Carter J, Kyriakidis K, Elizabeth D, et al. Comparación de la dosis de radiación del paciente y el uso de contraste durante EVAR en un quirófano vascular híbrido dedicado e imágenes móviles. *Ann Vasc Surg* 2019;61:278e83.
- 226 Hertault A, Bianchini A, Amiot S, Chenorhokian H, Laurent -Daniel F, Chakfé N, et al. Revisión exhaustiva de la literatura sobre los niveles de radiación durante la reparación endovascular de la aorta en laboratorios de cateterismo y quirófanos. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2020;60:374e85.
- 227 Guillou M, Maurel B, Necib H, Vent PA, Costargent A, Chailou P, et al. Comparación de la exposición a la radiación durante el tratamiento endovascular de la enfermedad arterial periférica con flat-
detectores de panel en arco en C móvil versus sistemas fijos. *Ann Vasc Surg* 2018;47:104e13.
- 228 McAnelly SL, Kelleher D, Ibrahim R, Antoniou GA. ¿El uso de una sala híbrida en cirugía vascular produce mejores resultados clínicos y protección radiológica? *Int Angiol* 2017;36:289e92.
- 229 Kaplan DJ, Patel JN, Liporace FA, Yoon RS. Seguridad radiológica intraoperatoria en ortopedia: una revisión del principio ALARA (tan bajo como sea razonablemente posible). *Paciente Saf Surg* 2016;10:27.
- 230 Peach G, Sinha S, Black SA, Morgan RA, Loftus IM, Thompson MM, et al. Las imágenes controladas por el operador reducen significativamente la exposición a la radiación durante la EVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2012;44:395e8.
- 231 Yeo CH, Gordon R, Nusem I. Mejora de la comunicación en el quirófano entre el cirujano ortopédico y el radiólogo. *ANZ J Surg* 2014;84:316e9.
- 232 Agarwal S, Parashar A, Bajaj NS, Khan I, Ahmad I, Heupler FA, et al. Relación de la angulación del haz y la exposición a la radiación en el laboratorio de cateterismo cardíaco. *JACC Cardiovasc Interv* 2014;7:558e66.
- 233 Kirkwood ML, Arbique GM, Guild JB, Timaran C, Chung J, Anderson JA, et al. La educación del cirujano disminuye la dosis de radiación en procedimientos endovasculares complejos y mejora la seguridad del paciente. *J Vasc Surg* 2013;58:715e21.
- 234 Oi I. Inyector de contraste remoto en CPRE para protección contra rayos X exposición. *Endoscopia* 1982;14:180e1.
- 235 Goss JE, Ramo BW, Raff GL, Maddoux GL, Heuser RR, Shadoff N, et al. Inyección eléctrica de medios de contraste durante la angioplastia transluminal percutánea de la arteria coronaria. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1989;16:195e8.
- 236 Santen BC, Kan K, Velthuyse HJM, Julius HW, Kan C. Exposición del radiólogo a radiación dispersa durante la angiografía. *Radiología* 1975;115:447e50.
- 237 Marque N, Jégou A, Varenne O, Salengro E, Allouch P, Margot O, et al. Impacto de un tubo de extensión en la exposición a la radiación del operador durante procedimientos coronarios realizados mediante abordaje radial. *Arch Cardiovasc Dis* 2009;102:749e54.
- 238 Larsen AS, Osteras BH. Aléjese del paciente: reducción de la dosis de radiación al operador mediante el uso sistemático de un inyector automático para medios de contraste en una sala de angiografía intervencionista. *Acta Radiol* 2012;53:330e4.
- 239 Meghzi A, Vano E, Le Heron J, Cheung KY. Funciones y responsabilidades de los físicos médicos en la protección radiológica. *Eur J Radiol* 2010;76:24e7.
- 240 Badawy MK, Deb P, Chan R, Farouque O. Una revisión de las soluciones de protección radiológica para el personal del laboratorio de cateterismo cardíaco. *Corazón Pulmón Circ* 2016;25:961e7.
- 241 Organismo Internacional de Energía Atómica. Disponible en: <https://www.OIEA.org>.
- 242 Mori H, Koshida K, Ishigamori O, Matsubara K. Evaluación de la eficacia de los delantales protectores contra rayos X en campos experimentales y prácticos. *Radiol Phys Technol* 2014;7:158e66.
- 243 Chou LB, Chandran S, Harris AH, Tung J, Butler LM. Aumento de la prevalencia del cáncer de mama entre las cirujanas ortopédicas. *J Women Health (Larchmt)* 2012;21:683e9.
- 244 Valone LC, Chambers M, Lattanza L, James MA. Exposición a la radiación mamaria en cirujanas ortopédicas. *J Bone Joint Surg Am* 2016;98:1808e13.
- 245 Van Nortwick SS, Leonard DA, Finlay AK, Chou L, Valone LC. Métodos para reducir la exposición intraoperatoria a la radiación mamaria de los cirujanos ortopédicos. *J Bone Joint Surg Am* 2021;103:1646e51.
- 246 Livingstone RS, Varghese A, Keshava SN. Un estudio sobre el uso de delantal protector radiológico entre intervencionistas en radiología. *J Clin Imaging Sci* 2018;8:34.
- 247 Klein LW, Miller DL, Balter S, Laskey W, Haines D, Norbush A, et al. Riesgos para la salud ocupacional en el laboratorio de intervención : es hora de un ambiente más seguro. *J Vasc Interv Radiol* 2009;20: 147e52.

- 248 Livingstone RS, Varghese A. Una herramienta de control de calidad sencilla para evaluar la integridad de delantales equivalentes a plomo. *Indian J Radiol Imaging* 2018;28:258e62.
- 249 Tayebi M, Shooli FS, Saeedi-Moghadam M. Evaluación de las radiaciones dispersas de delantales con y sin plomo en radiología de diagnóstico por MCNPX. *Technol Health Care* 2017;25:513e20.
- 250 Johansen S, Hauge IHR, Hogg P, England A, Lanca L, Gunn C, et al. ¿Son los delantales de antimonio-bismuto tan eficaces como los delantales de caucho con plomo para proporcionar protección contra la radiación dispersa? *J Med Imaging Radiat Sci* 2018;49:201e6.
- 251 Kazempour M, Saeedimoghadam M, Shekoochi Shooli F, Shokrpour N. Evaluación de las propiedades de atenuación de la radiación de varios compuestos sin plomo mediante simulación de Monte Carlo. *J Biomed Phys Eng* 2015;5:67e76.
- 252 Finnerty M, Brennan PC. Delantales protectores en departamentos de imágenes : los valores de equivalencia de plomo indicados por el fabricante requieren validación. *Eur Radiol* 2005;15:1477e84.
- 253 Fakhoury E, Provencher JA, Subramaniam R, Finlay DJ. No todos los delantales ligeros de plomo y los escudos tiroideos son iguales. *J Vasc Surg* 2019;70:246e50.
- 254 Lu H, Boyd C, Dawson J. Delantales de plomo livianos: ¿la ropa nueva del emperador en la sala de angiografía? *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2019;57:730e9.
- 255 Pichler T, Schopf T, Ennemoser O. Ropa de protección radiológica en diagnóstico por rayos X: comparación de equivalentes de atenuación en geometría de haz estrecho y haz ancho inverso. *Rofo* 2011;183:470e6.
- 256 Eder H, Panzer W, Schofer H. ¿Es el equivalente de plomo adecuado para calificar las propiedades de protección de la ropa protectora contra la radiación sin plomo ? *Rofo* 2005;177:399e404.
- 257 Matsuda M, Suzuki T. Evaluación de delantales de plomo y su mantenimiento y gestión en nuestro hospital. *J Anesth* 2016;30:518e21.
- 258 Stam W, Pillay M. Inspección de delantales de plomo: un modelo práctico de rechazo. *Health Phys* 2008;95(Suplemento 2):S133e6.
- 259 Oyar O, Kislalioglu A. ¿Qué protección tienen los delantales de plomo que utilizamos contra la radiación ionizante? *Diagn Interv Radiol* 2012;18:147e52.
- 260 Lambert K, McKeon T. Inspección de delantales de plomo: criterios de rechazo. *Física de la salud* 2001; 80: S67e9.
- 261 Burns KM, Shoag JM, Kahlon SS, Parsons PJ, Bijur PE, Taragin BH, et al. Los delantales de plomo representan un riesgo de exposición al plomo. *J Am Coll Radiol* 2017;14:641e7.
- 262 Ron E, Lubin JH, Shore RE, Mabuchi K, Modan B, Pottern LM, et al. Cáncer de tiroides después de la exposición a radiación externa: un análisis conjunto de siete estudios. *Radiat Res* 1995;141:259e77.
- 263 Whitby M, Martín CJ. Dosis de radiación en las piernas de los radiólogos que realizan procedimientos intervencionistas: ¿son motivo de preocupación? *Br J Radiol* 2003;76:321e7.
- 264 Hammer GP, Scheidemann-Wesp U, Samkange-Zeeb F, Wicke H, Neriishi K, Blettner M. Exposición ocupacional a bajas dosis de radiación ionizante y desarrollo de cataratas: una revisión sistemática de la literatura y perspectivas sobre estudios futuros. *Radiat Environ Biophys* 2013;52:303e19.
- 265 Coppeta L, Pietroustis A, Neri A, Spataro A, De Angelis E, Perrone S, et al. Riesgo de opacidades del cristalino inducidas por la radiación entre cirujanos y personal médico intervencionista. *Radiol Phys Technol* 2019;12:26e9.
- 266 Thome C, Chambers DB, Hooker AM, Thompson JW, Boreham DR. Efectos deterministas en el cristalino del ojo después de la exposición a la radiación ionizante: ¿existe evidencia que respalde una reducción en la dosis umbral? *Física de la Salud* 2018;114:328e43.
- 267 Seals KF, Lee EW, Cagnon CH, Al-Hakim RA, Kee ST. Cataractogénesis inducida por radiación: una revisión crítica de la literatura para el radiólogo intervencionista. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2016;39: 151e60.
- 268 Hamada N, Fujimichi Y. Papel de los mecanismos relacionados con la carcinogénesis en la cataractogénesis y sus implicaciones para la cataractogénesis por radiación ionizante. *Cáncer Lett* 2015;368:262e74.
- 269 Matsubara K, Takei Y, Mori H, Kobayashi I, Noto K, Igarashi T, et al. Un estudio multicéntrico de dosis de radiación a los lentes oculares del personal médico que realiza procedimientos de radiología intervencionista y de imágenes no vasculares en Japón. *Phys Med* 2020;74:83e91.
- 270 Bitarafan Rajabi A, Noohi F, Hashemi H, Haghjoo M, Mirafteb M, Yaghoobi N, et al. Catarata inducida por radiación ionizante en personal de cardiología intervencionista. *Res Cardiovasc Med* 2015;4:e25148.
- 271 Maeder M, Brunner-La Rocca HP, Wolber T, Ammann P, Roelli H, Rohner F, et al. Impacto de una pantalla de vidrio de plomo en la dispersión de la radiación en los ojos y las manos en cardiólogos intervencionistas. *Catéter Cardiovasc Interv* 2006;67:18e23.
- 272 Kirkwood ML, Klein A, Guild J, Arbiq G, Xi Y, Tsai S, et al. Una nueva modificación de las gafas con plomo da como resultado una reducción significativa de la dosis de radiación ocular del operador. *J Vasc Surg* 2020;72:2139e44.
- 273 Primo AJ, Lawdahl RB, Chakraborty DP, Koehler RE. El caso de las gafas/rostros radioprotectores. Implicaciones prácticas y sugerencias. *Invest Radiol* 1987;22:688e92.
- 274 Vano E, González L, Guibalde E, Fernández JM, Ten JI. Exposición a la radiación del personal médico en radiología intervencionista y cardíaca. *Br J Radiol* 1998;71:954e60.
- 275 Wagner LK, Mulhern OR. Guantes quirúrgicos atenuadores de radiación: efectos de la dispersión y la producción secundaria de electrones. *Radiología* 1996;200:45e8.
- 276 Kamusella P, Scheer F, Ludtke CW, Wiggermann P, Wissgott C, Andresen R. Angiografía intervencionista: protección radiológica para el examinador mediante el uso de guantes sin plomo. *J Clin Diagn Res* 2017;11:TC26e9.
- 277 Seto AH, Abu-Fadel MS, Sparling JM, Zacharias SJ, Daly TS, Harrison AT, et al. La guía ecográfica en tiempo real facilita el acceso arterial femoral y reduce las complicaciones vasculares: FAUST (Femoral Arterial Access With Ultrasound Trial). *JACC Cardiovasc Interv* 2010;3:751e8.
- 278 Slattery MM, Goh GS, Power S, Dado MF, McGrath FP, Lee MJ. Comparación de técnicas de punción de la arteria femoral común anterógrada guiada por ecografía y asistida por fluoroscopia. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2015;38:579e82.
- 279 Sobolev M, Slovut DP, Lee Chang A, Shiloh AL, Eisen LA. Cateterismo guiado por ultrasonido de la arteria femoral: una revisión sistemática y metanálisis de ensayos controlados aleatorios. *J Invasive Cardiol* 2015;27:318e23.
- 280 Stone P, Campbell J, Thompson S, Walker J. Un estudio prospectivo y aleatorizado que compara el acceso arterial femoral guiado por ultrasonido versus fluoroscopia en pacientes vasculares no cardíacos. *J Vasc Surg* 2020;72:259e67.
- 281 Finkelstein MM. ¿Es el cáncer de cerebro una enfermedad profesional del automóvil? ¿diólogos? *Can J Cardiol* 1998;14:1385e8.
- 282 Hardell L, Mild KH, Pahlson A, Hallquist A. Radiación ionizante, teléfonos celulares y riesgo de tumores cerebrales. *Eur J Cancer Prev* 2001;10:523e9.
- 283 Kuon E, Birkel J, Schmitt M, Dahm JB. Beneficio de la exposición a la radiación de una tapa de plomo en cardiología invasiva. *Corazón* 2003;89: 1205e10.
- 284 Karadag B, Ikitimur B, Durmaz E, Avci BK, Cakmak HA, Cosansu K, et al. Eficacia de un gorro de plomo en la protección radiológica de la cabeza en el laboratorio de cateterismo cardíaco. *EuroIntervención* 2013;9:754e6.
- 285 Uthoff H, Peña C, West J, Contreras F, Benenati JF, Katzen BT. Evaluación de nuevos dispositivos de protección radiológica livianos y desechables en un entorno de radiología intervencionista: un ensayo controlado aleatorio. *AJR Am J Roentgenol* 2013;200:915e20.
- 286 Uthoff H, Quesada R, Roberts JS, Baumann F, Schernthaner M, Zaremski L, et al. Gorros radioprotectores livianos en el entorno de cardiología intervencionista: un ensayo controlado aleatorio (PROTECT). *EuroIntervención* 2015;11:53e9.
- 287 Chohan MO, Sandoval D, Buchan A, Murray-Krezan C, Taylor CL. Exposición craneal a la radiación durante la angiografía con catéter cerebral. *J Neurointerv Surg* 2014;6:633e6.

- 288 Alazzoni A, Gordon CL, Syed J, Natarajan MK, Rokoss M, Schwalm JD, et al. Ensayo controlado aleatorio de protección radiológica con un escudo de plomo para el paciente y un nuevo gorro quirúrgico sin plomo para operadores que realizan angiografía o intervención coronaria. *Circ Cardiovasc Interv* 2015;8:e002384.
- 289 Mayr NP, Wiesner G, Kretschmer A, Bronner J, Hoedlmoser H, Husser O, et al. Evaluación del nivel de radiación experimentado por los anestesiólogos durante el implante transfemoral de válvula aórtica transcáteter y la protección mediante un casquillo de plomo. *PLoS One* 2019;14: e0210872.
- 290 Fetterly K, Schueler B, Grams M, Sturchio G, Bell M, Gulati R. Dosis de radiación en cabeza y cuello y seguridad radiológica para médicos intervencionistas. *JACC Cardiovasc Interv* 2017;10:520e8.
- 291 Sans Merce M, Korchi AM, Kobzeva L, Dامت J, Erceg G, Marcos González A, et al. El valor de la gorra protectora y las gafas en radiología neurointervencionista. *J Neurointerv Surg* 2016;8: 736e40.
- 292 Kirkwood ML, Arbique GM, Guild JB, Zeng K, Xi Y, Rectenwald J, et al. La dosis de radiación cerebral que reciben los cirujanos vasculares durante las intervenciones guiadas por fluoroscopia no se reduce eficazmente mediante el uso de gorros quirúrgicos equivalentes a plomo. *J Vasc Surg* 2018;68:567e71.
- 293 Fetterly KA, Magnuson DJ, Tannahill GM, Hindal MD, Mathew V. Uso eficaz de protectores contra la radiación para minimizar la dosis del operador durante procedimientos de cardiología invasiva. *JACC Cardiovasc Interv* 2011;4:1133e9.
- 294 Marichal DA, Anwar T, Kirsch D, Clements J, Carlson L, Savage C, et al. Comparación de un sistema de protección radiológica suspendido versus un delantal de plomo estándar para la exposición a la radiación de un intervencionista simulado. *J Vasc Interv Radiol* 2011;22:437e42.
- 295 Savage C, Seale IVT, Shaw C, Angela B, Marichal D, Rees C. Evaluación de un sistema de protección radiológica personal suspendido versus delantal y escudos convencionales en procedimientos intervencionistas clínicos. *Abierto J Radiol* 2013;3:143e51.
- 296 Haussen DC, Van Der Bom IM, Nogueira RG. Una comparación prospectiva de casos y controles del sistema ZeroGravity versus un delantal de plomo estándar como estrategia de protección radiológica en procedimientos neuroendovasculares. *J Neurointerv Surg* 2016;8:1052e5.
- 297 Pierno J, Hamilton C. SU-EI-35: experiencia con el Traje de Gravedad Cero. *Med Phys* 2012;39:3633.
- 298 Maddler RD, VanOosterhout S, Mulder A, Elmore M, Campbell J, Borgman A, et al. Impacto de la robótica y un traje de plomo suspendido en la exposición a la radiación de los médicos durante la intervención coronaria percutánea. *Cardiovasc Revasc Med* 2017;18:190e6.
- 299 Salcido-Ríos J, McNamara DA, VanOosterhout S, VanLoo L, Redmond M, Parker JL, et al. Traje de plomo suspendido y dosis de radiación médica durante la angiografía coronaria. *Catéter Cardiovasc Interv* 2022;99:981e8.
- 300 Thornton RH, Dauer LT, Altamirano JP, Alvarado KJ, St Germain J, Solomon SB. Comparación de estrategias para la protección ocular del operador en la sala de radiología intervencionista. *J Vasc Interv Radiol* 2010;21:1703e7.
- 301 Vano E, salón SC, Jm FS. Ayudando a saber si estás correctamente protegido mientras trabajas en cardiología intervencionista. *J Radiol Prot* 2020:40.
- 302 Sukupova L, Hlavacek O, Vedlich D. Impacto de la posición de protección contra la radiación montada en el techo en la dosis del médico por radiación dispersa durante los procedimientos intervencionistas. *Radiol Res Pract* 2018;2018:4287973.
- 303 Eder H, Seidenbusch MC, Treitl M, Gilligan P. Un nuevo diseño de un escudo de plomo-acrílico para la reducción de dosis del personal en cateterismo coronario con acceso radial y femoral. *Rofo* 2015;187:915e23.
- 304 Sciahbasi A, Sarandrea A, Rigattieri S, Patrizi R, Cera M, Di Russo C, et al. Escudo protector extendido debajo de la mesa para reducir la dosis de radiación del operador en procedimientos coronarios percutáneos. *Circ Cardiovasc Interv* 2019;12:e007586.
- 305 Jia Q, Chen Z, Jiang X, Zhao Z, Huang M, Li J, et al. La radiación del operador y la eficacia del blindaje de pantalla de plomo suspendida en el techo durante la angiografía coronaria: una visión antropomórfica. *Estudio fantasma utilizando dosímetros en tiempo real. Representante de ciencia* 2017;7: 42077.
- 306 Maddler RD, LaCombe A, VanOosterhout S, Mulder A, Elmore M, Parker JL, et al. Exposición a la radiación entre tecnólogos de exfoliación y enfermeras circuladoras durante el cateterismo cardíaco: el impacto de los protectores de plomo accesorios. *JACC Cardiovasc Interv* 2018;11:206e12.
- 307 Marcusohn E, Postnikov M, Musallam A, Yalonetsky S, Mishra S, Kerner A, et al. Utilidad de los escudos pélvicos de protección contra la radiación durante los procedimientos transfemorales: consideraciones del operador y del paciente. *Am J Cardiol* 2018;122:1098e103.
- 308 King JN, Champlin AM, Kelsey CA, Tripp DA. Uso de un paño quirúrgico protector desechable estéril para reducir la exposición a la radiación de los intervencionistas. *AJR Am J Roentgenol* 2002;178: 153e7.
- 309 Power S, Mirza M, Thakorlal A, Ganai B, Gavagan LD, Dado MF, et al. Eficacia de un escudo absorbente de radiación para reducir la dosis al intervencionista durante procedimientos endovasculares periféricos: un estudio piloto de un solo centro. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2015;38: 573e8.
- 310 Vlastra W, Delewi R, Sjaauw KD, Beijl MA, Claessen BE, Streekstra GJ, et al. Eficacia de la cortina de protección RADPAD para reducir la exposición a la radiación de los operadores en el laboratorio de cateterismo: un ensayo aleatorio controlado de forma simulada. *Circ Cardiovasc Interv* 2017;10:e006058.
- 311 Ordiales JM, Nogales JM, Vano E, López-Mínguez JR, Álvarez FJ, Ramos J, et al. Reducción de dosis ocupacional en el laboratorio de cateterismo cardíaco: un ensayo aleatorizado utilizando un paño protector colocado sobre el paciente. *Dosimetría Radiat Prot* 2017;174:255e61.
- 312 Politi L, Biondi-Zoccai G, Nocetti L, Costi T, Monopoli D, Rossi R, et al. Reducción de la dispersión de la radiación durante la angiografía coronaria percutánea transradial: un ensayo aleatorizado que utiliza un escudo contra la radiación sin plomo. *Catéter Cardiovasc Interv* 2012;79:97e102.
- 313 Simons GR, Orrison Jr WW. El uso de un protector estéril, desechable y absorbente de radiación reduce la exposición ocupacional a la radiación dispersa durante la implantación del dispositivo pectoral. *Estimulación Clin Electrophysiol* 2004;27:726e9.
- 314 Kloeze C, Klompenhouwer EG, Brands PJ, van Sambeek MR, Cuypers PW, Tejjink JA. Elección del editor: el uso de campos quirúrgicos desechables que absorben la radiación da como resultado una reducción significativa de la dosis durante los procedimientos EVAR. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2014;47:268e72.
- 315 Fattal P, Goldstein JA. Un novedoso sistema completo de protección radiológica elimina la exposición de los médicos a la radiación y los delantales plomados. *Catéter Cardiovasc Interv* 2013;82:11e6.
- 316 Iqtidar AF, Jeon C, Rothman R, Snead R, Pyne CT. Reducción de la exposición a la radiación del operador durante el cateterismo transradial y la intervención mediante un simple paño de plomo. *Am Heart J* 2013;165:293e8.
- 317 Musallam A, Volis I, Dadaev S, Abergel E, Soni A, Yalonetsky S, et al. Un estudio aleatorizado que compara el uso de un escudo de plomo pélvico durante intervenciones transradiales: reducción triple de la radiación para el operador pero exposición doble para el paciente. *Catéter Cardiovasc Interv* 2015;85:1164e70.
- 318 Kim C, Vasaiwala S, Haque F, Pratap K, Vidovich MI. Seguridad radiológica entre becarios de cardiología. *Am J Cardiol* 2010;106:125e8.
- 319 Harris AM, Loomis J, Hopkins M, Bylund J. Evaluación del conocimiento sobre seguridad radiológica entre residentes de urología en los Estados Unidos. *J Endourol* 2019;33:492e7.
- 320 Nugent M, Carmody O, Dudeney S. Conocimientos y prácticas de seguridad radiológica entre los estudiantes de ortopedia irlandeses. *Ir J Med Sci* 2015;184:369e73.
- 321 Khan F, Ul-Abadin Z, Rauf S, Javed A. Conciencia y actitudes entre los estudiantes de cirugía básica con respecto a la radiación en la cirugía de traumatismo ortopédico. *Biomed Imaging Interv J* 2010;6:e25.
- 322 Bhinder J, Fakhoury E, O'Brien-Irr M, Reilly B, Dryjski M, Doslouglu H, et al. Encuesta nacional a residentes de cirugía vascular

- y becarios sobre exposición a la radiación y prácticas de seguridad. *J Vasc Surg* 2022;76:274e9.
- 323 Vlastra W, Claessen BE, Beijk MA, Sjaauw KD, Streekstra GJ, Wykrzykowska JJ, et al. Los becarios en formación de cardiología están expuestos a niveles relativamente altos de radiación en el laboratorio de cateterismo en comparación con el personal de cardiólogos intervencionistas: conocimientos del ensayo RECAP. *Neth Heart J* 2019;27:330e3.
- 324 Fetterly KA, Lennon RJ, Bell MR, Holmes Jr DR, Rihal CS. Determinantes clínicos de la dosis de radiación en procedimientos de intervención coronaria percutánea: influencia del tamaño del paciente, complejidad del procedimiento y médico que lo realiza. *JACC Cardiovasc Interv* 2011;4:336e43.
- 325 Bernardi G, Padovani R, Trianni A, Morocutti G, Spedicato L, Zanuttini D, et al. El efecto de la formación de becarios en cardiología invasiva sobre la exposición radiológica de los pacientes. *Dosimetría Radiat Prot* 2008;128:72e6.
- 326 Malik AT, Rai HH, Lakdawala RH, Noordin S. ¿ La experiencia del cirujano influye en la cantidad de exposición a la radiación durante los procedimientos ortopédicos? Una revisión sistemática. *Orthop Rev (Pavía)* 2019;11:7667.
- 327 Pradella M, Trumm C, Stieltjes B, Boll DT, Zech CJ, Huegli RW. Factores de impacto para la seguridad, el éxito, la duración y la exposición a la radiación en intervenciones guiadas por TC. *Br J Radiol* 2019;92:20180937.
- 328 Nayahangan LJ, Van Herzele I, Konge L, Koncar I, Cieri E, Mansilha A, et al. Lograr un consenso para definir el contenido curricular para la educación basada en simulación en cirugía vascular: una iniciativa de evaluación de necesidades a nivel europeo. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2019;58:284e91.
- 329 Vassileva J, Applegate K, Paulo G, Vano E, Holmberg O. Fortalecimiento de la educación y formación de profesionales de la salud en materia de protección radiológica: conclusiones de una reunión del OIEA. *J Radiol Prot* 2022:42.
- 330 Vano E. Capacitación obligatoria en seguridad radiológica para intervencionistas: la perspectiva europea. *Tech Vasc Interv Radiol* 2010;13:200e3.
- 331 Bartal G, Vano E, Paulo G, Miller DL. Manejo de la dosis de radiación del paciente y del personal en radiología intervencionista: conceptos actuales. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2014;37:289e98.
- 332 Vano E, Rosenstein M, Liniecki J, Rehani MM, Martin CJ, Vetter RJ. Publicación ICRP 113. Educación y capacitación en protección radiológica para procedimientos de diagnóstico e intervención. *Ann ICRP* 2009;39:7e68.
- 333 CIPR. Educación y Capacitación en Protección Radiológica para Procedimientos de Diagnóstico e Intervención. Publicación de la ICRP 113 Ann ICRP 2009;39:7e68.
- 334 Autti T, Autti H, Vehmas T, Laitalainen V, Kivisaari L. El aprendizaje electrónico es una herramienta bien aceptada en la formación complementaria entre los médicos : una experiencia de formación obligatoria en protección radiológica en la atención sanitaria. *Acta Radiol* 2007;48:508e13.
- 335 Blackmon KN, Huda W, Lewis MC, Tipnis S, Mah E, Frey DG. Un sitio web sobre Fundamentos de Física Radiológica para residentes de radiología de diagnóstico. *Acad Radiol* 2013;20:338e44. 336
- van Puyvelde L, Clarijs T, Belmans N, Coeck M. Comparación de la eficacia de los formatos de aprendizaje en protección radiológica. *J Radiol Prot* 2021:41.
- 337 Kuon E, Empen K, Robinson DM, Pfahlberg A, Gefeller O, Dahm JB. Eficiencia de un minicurso en técnicas de reducción de radiación: una iniciativa piloto para fomentar técnicas intervencionistas cardiológicas menos irradiantes (ELICIT). *Corazón* 2005;91:1221e2.
- 338 Kuon E, Weitmann K, Hoffmann W, Dorr M, Hummel A, Riad A, et al. Validación multicéntrica a largo plazo de un minicurso de técnicas de reducción de radiación en el laboratorio de cateterismo. *Am J Cardiol* 2015;115:367e73.
- 339 Azpiri-López JR, Assad-Morell JL, González-González JG, Elizondo-Riojas G, Dávila-Bortoni A, García-Martínez R, et al. Efecto de la formación del médico sobre la dosis de rayos X administrada durante la angioplastia coronaria. *J Cardiol Invasivo* 2013;25:109e13.
- 340 Alahmari MAS, sol ZH. Una revisión sistemática de la eficiencia de la capacitación en protección radiológica para crear conciencia sobre la atención médica. Personal que trabaja en el laboratorio de cateterismo. *Curr Med Imaging Rev* 2015;11:200e6.
- 341 Fetterly KA, Mathew V, Lennon R, Bell MR, Holmes Jr DR, Rihal CS. Reducción de la dosis de radiación en el laboratorio cardiovascular invasivo: implementación de una cultura y filosofía de seguridad radiológica. *JACC Cardiovasc Interv* 2012;5:866e73.
- 342 Hirshfeld Jr JW, Ferrari VA, Bengel FM, Bergersen L, Chambers CE, Einstein AJ, et al. Documento de consenso de expertos de ACC/HRS/NASCI/SCAI/SCCT de 2018 sobre el uso óptimo de la radiación ionizante en imágenes cardiovasculares: mejores prácticas para la seguridad y la eficacia, parte 2: funcionamiento de equipos radiológicos, metodologías de ahorro de dosis, protección del paciente y del personal médico : un informe del Grupo de Trabajo del Colegio Americano de Cardiología sobre vías de decisión por consenso de expertos. *J Am Coll Cardiol* 2018;71:2829e55.
- 343 Giger M. Dosisintensivo Röntgenuntersuchungen: Weiterbildung gemäss Strahlenschutzverordnung. *Schweiz Ärztezeitung* 1998;79: 413e4.
- 344 Fernández Soto JM, Vano E, Guibelalde E. Experiencia española en educación y formación en protección radiológica en medicina. *Dosimetría Radiat Prot* 2011;147:338e42.
- 345 Katz A, Shtub A, Solomonica A, Poliakov A, Roguin A. Entrenamiento con simulador para minimizar la exposición a radiaciones ionizantes en el laboratorio de cateterismo. *Int J Cardiovasc Imaging* 2017;33:303e10.
- 346 Patel AD, Gallagher AG, Nicholson WJ, Cates CU. Curvas de aprendizaje y medidas de confiabilidad para la simulación de realidad virtual en la evaluación del desempeño de la angiografía carotídea. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1796e802.
- 347 Dawson DL, Meyer J, Lee ES, Pevac WC. El entrenamiento con simulación mejora las habilidades de los residentes en procedimientos endovasculares. *J Vasc Surg* 2007;45:149e54.
- 348 Kim AH, Kendrick DE, Moorehead PA, Nagavalli A, Miller CP, Liu NT, et al. La simulación de reparación endovascular de aneurisma puede reducir el tiempo de fluoroscopia y delinear con precisión la zona de sellado proximal. *J Vasc Surg* 2016;64:251e8.
- 349 Vento V, Cerenelli L, Mascoli C, Gallitto E, Ancetti S, Faggioli G, et al. El papel de la simulación para impulsar la curva de aprendizaje en los procedimientos EVAR. *J Surg Educ* 2018;75:534e40.
- 350 Kreiser K, Gehling KG, Ströber L, Zimmer C, Kirschke JS. Entrenamiento por simulación en neuroangiografía: traslado a la realidad. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2020;43:1184e91.
- 351 Rader SB, Jorgensen E, Bech B, Lonn L, Ringsted CV. Uso de curvas de rendimiento para estimar el número de procedimientos necesarios para lograr el dominio de la angiografía coronaria. *Catéter Cardiovasc Interv* 2011;78:387e93.
- 352 Ramjeeawon A, Sharrock AE, Morbi A, Martin G, Riga C, Bicknell C. Uso de entrenamiento de simulación totalmente inmersivo con informe estructurado para mejorar habilidades no técnicas en cirugía endovascular de emergencia. *J Surg Educ* 2020;77:1300e11.
- 353 Papatsoris AG, Shaikh T, Patel D, Bourdouis A, Bach C, Buchholz N, et al. Uso de un simulador de realidad virtual para mejorar las habilidades de acceso renal percutáneo: un estudio prospectivo en estudiantes de urología. *Urol Int* 2012;89:185e90.
- 354 Bott OJ, Dresing K, Wagner M, Raab BW, Teistler M. Informática en radiología: uso de un simulador de fluoroscopia con brazo en C para apoyar la capacitación en radiografía intraoperatoria. *Radiografías* 2011;31: E65e75.
- 355 Faulkner AR, Bourgeois AC, Bradley YC, Hudson KB, Heidel RE, Pasciak AS. El plan de estudios educativo basado en simulación para la punción lumbar guiada por fluoroscopia mejora la confianza del operador y reduce la dosis al paciente. *Acad Radiol* 2015;22:668e73.
- 356 Choi MH, Jung SE, Oh SN, Byun JY. Efectos educativos de la reducción de la radiación durante el examen fluoroscópico del tracto gastrointestinal del adulto. *Acad Radiol* 2018;25:202e8.
- 357 Prenner SB, Wayne DB, Sweis RN, Cohen ER, Feinglass JM, Schimmel DR. La educación basada en simulación conduce a un menor uso de la fluoroscopia en la angiografía coronaria diagnóstica. *Catéter Cardiovasc Interv* 2018;91:1054e9.

- 358 De Ponti R, Marazzi R, Doni LA, Tamborini C, Ghiringhelli S, Salerno-Uriarte JA. El entrenamiento con simulador reduce la exposición a la radiación y mejora el desempeño de los alumnos en la colocación de catéteres electrofisiológicos durante los procedimientos en pacientes. *Ritmo cardíaco* 2012;9:1280e5.
- 359 Popovic B, Pinelli S, Albuissou E, Metzendorf PA, Mourer B, Tran N, et al. El entrenamiento con simulación en angiografía coronaria y su impacto en la conducta de la vida real en el laboratorio de cateterismo. *Am J Cardiol* 2019;123:1208e13.
- 360 Chaer RA, Derubertis BG, Lin SC, Bush HL, Karwowski JK, Birk D, et al. La simulación mejora el desempeño de los residentes en la intervención con catéter: resultados de un estudio controlado y aleatorizado. *Ann Surg* 2006;244:343e52.
- 361 Maertens H, Aggarwal R, Moreels N, Vermassen F, Van Herzele I. Un programa de capacitación curricular endovascular gradual basado en la competencia (PROSPECT) mejora el rendimiento operativo en la vida real: un ensayo controlado aleatorio. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2017;54:387e96.
- 362 Desender LM, Van Herzele I, Lachat ML, Rancic Z, Duchateau J, Rudarakanchana N, et al. Ensayo específico del paciente antes de EVAR: influencia en el desempeño operativo técnico y no técnico. *Un ensayo controlado aleatorio. Ann Surg* 2016;264:703e9.
- 363 Tam MD, Latham TR, Lewis M, Khanna K, Zaman A, Parker M, et al. Un estudio piloto que evalúa el impacto de los modelos impresos en 3D de aneurismas aórticos en las decisiones de manejo en la planificación de EVAR. *Vasc Endovascular Surg* 2016;50:4e9.
- 364 Nielsen CA, Lonn L, Konge L, Taudorf M. Ensayo específico del paciente con realidad virtual basado en simulación antes de los procedimientos endovasculares: una revisión sistemática. *Diagnóstico (Basilea)* 2020;10:500.
- 365 OMS/OIEA. Llamado a la acción de Bonn 2012. Diez acciones para mejorar la protección radiológica en la medicina en la próxima década. OMS; 2014. Disponible en: <https://www.who.int/publications/m/item/bonn-call-for-action>.
- 366 Smith IR, Foster KA, Brighthouse RD, Cameron J, Rivers JT. El papel de la retroalimentación cuantitativa en la reducción de la radiación de la angiografía coronaria. *Int J Qual Health Care* 2011;23:342e8. 367 de Ruitter QM, Moll FL, van Herwaarden JA. Estado actual de los sistemas de seguimiento y navegación robótica para su aplicación en la reparación endovascular de aneurismas aórticos. *J Vasc Surg* 2015;61: 256e64.
- 368 Tystad Lund K, Tangen GA, Manstad-Hulaas F. Navegación electromagnética versus fluoroscopia en procedimientos endovasculares aórticos: un estudio fantasma. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2017;12: 51e7.
- 369 Condino S, Calabro EM, Alberti A, Parrini S, Cioni R, Berchiolli RN, et al. Seguimiento simultáneo de catéteres y guías: comparación con la guía fluoroscópica estándar para la canulación arterial. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2014;47:53e60.
- 370 Jansen M, Khandige A, Kobeiter H, Vonken EJ, Hazenberg C, van Herwaarden J. Visualización tridimensional de guías y catéteres endovasculares basada en luz láser en lugar de fluoroscopia con tecnología Fiber Optic RealShape: resultados preclínicos. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2020;60:135e43.
- 371 West K, Al-Nimer S, Goel VR, Yanof JH, Hanlon AT, Weunski CJ, et al. Guía, navegación y control holográficos tridimensionales (3D-GNC) para el posicionamiento de endoinjertos en aorta porcina: comparación de viabilidad con la fluoroscopia de rayos X bidimensional. *J Endovasc Ther* 2021;28:796e803.
- 372 Schwein A, Kramer B, Chinnadurai P, Virmani N, Walker S, O'Malley M, et al. El seguimiento electromagnético de catéteres robóticos flexibles permite la "navegación asistida" y aporta automatización a la navegación endovascular en un estudio in vitro. *J Vasc Surg* 2018;67:1274e81.
- 373 van Herwaarden JA, Jansen MM, Vonken EPA, Bloemert-Tuin T, Bullens RWM, de Borst GJ, et al. Primero en el estudio de viabilidad clínica en humanos de la navegación endovascular con tecnología Fiber Optic RealShape (FORS). *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2021;61:317e25.
- 374 Panuccio G, Torrealba J, Rohlfes F, Heidemann F, Wessels B, Kolbel T. Tecnología Fiber Optic RealShape (FORS) para navegación endovascular en embarcaciones tortuosas severas. *J Endovasc Ther* 2022. doi: 10.1177/15266028211070969 [Publicación electrónica antes de la impresión].
- 375 Riga CV, Cheshire Nueva Jersey, Hamady MS, Bicknell CD. El papel de los catéteres endovasculares robóticos en la endoprótesis vascular fenestrada. *J Vasc Surg* 2010;51:810e9.
- 376 Cochennec F, Kobeiter H, Gohel M, Marzelle J, Desgranges P, Allaire E, et al. Viabilidad y seguridad de la canulación de vasos diana renales y viscerales mediante catéteres dirigibles robóticamente durante procedimientos aórticos endovasculares complejos. *J Endovasc Ther* 2015;22:187e93.
- 377 Ambrosini P, Ruijters D, Niessen WJ, Moelker A, van Walsum T. Segmentación de catéteres totalmente automática y en tiempo real en fluoroscopia de rayos X. En: Descoteaux M, Maier-Hein L, Franz A, Jannin P, Collins D, Duchesne S, editores. *Computación de imágenes médicas e intervención asistida por computadora MICCAI 2017. Apuntes de conferencias en informática vol. 10434. Cham: Springer; 2017. pág. 577e85.*
- 378 Zhou YJ, Xie XL, Zhou XH, Liu SQ, Bian GB, Hou ZG. Redes recurrentes de atención piramidal para segmentación y seguimiento de guías en tiempo real en fluoroscopia de rayos X intraoperatoria. *Gráfico de imágenes Comput Med* 2020;83:101734.
- 379 Bang JY, Hough M, Hawes RH, Varadarajulu S. Uso de inteligencia artificial para reducir la exposición a la radiación en procedimientos endoscópicos guiados por fluoroscopia. *Am J Gastroenterol* 2020;115:555e61.
- 380 Abdelhalim MA, Patel A, Moquet J, Saha P, Smith A, Badie C, et al. Mayor incidencia de aberraciones cromosómicas en operadores que realizan un gran volumen de procedimientos endovasculares. *Circulación* 2022;145:1808e10.