

Sociedad Americana de Endoscopia Gastrointestinal seguridad radiológica y fluoroscópica en endoscopia GI

Karl Kwok, MD, FASGE,¹ Nazia Hasan, MD, MPH,² Anna Duloy, MD,³ Faris Murad, MD, FASGE,⁴ Jose Nieto, DO, FASGE,⁵ Lukejohn W. Day, MD, FASGE⁶

Los Ángeles, Fairfield, San Francisco, California; Aurora, Colorado; Freeport, Illinois; Jacksonville, Florida, USA

Una herramienta fundamental de la endoscopia intervencionista son los "rayos X", llamados así en 1895 por el profesor Wilhelm Röntgen en referencia al símbolo matemático de "lo desconocido", en un descubrimiento accidental que le valió el Premio Nobel. En los 125 años posteriores se han desarrollado múltiples aplicaciones comerciales, industriales y médicas de los rayos X. Sin embargo, quizás debido a su amplia disponibilidad y gran utilidad, a menudo se da por sentado el uso adecuado y seguro de la radiación médica. Por ejemplo, en 2007 se realizaron casi 70 millones de tomografía axial computada (TAC) en Estados Unidos, y un estudio demostró una variación de hasta 13 veces en la dosis de radiación de TAC para tipos de estudio idénticos.¹⁻³ Estos y otros datos ponen de manifiesto una alarmante falta de atención a los protocolos de seguridad radiológica, que puede poner en riesgo tanto a los pacientes como a los profesionales. Del mismo modo, se ha demostrado que el uso de la fluoroscopia durante la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE) se ve afectado por la experiencia del médico endoscopista, si participa un aprendiz,^{4,5} la dificultad del procedimiento,⁶ y la anuencia del endoscopista sobre el uso de la fluoroscopia.⁷ Sin embargo, la educación formal en seguridad radiológica durante la formación en endoscopia intervencionista sigue siendo limitada y escasa.⁸

Este documento tiene varios objetivos. En primer lugar, este artículo proporcionará al lector una comprensión práctica de la fluoroscopia (es decir, cómo se genera una imagen fluoroscópica, cómo equilibrar la calidad de la imagen con la dosis de radiación). Esta comprensión es crucial no sólo

para el despliegue seguro de esta modalidad, sino también para la protección a largo plazo de enfermeras, médicos y personal de apoyo en la sala de procedimientos basada en el principio "ALARA" (tan bajo como sea razonablemente posible, por sus siglas en inglés). En segundo lugar, se analizan los conceptos básicos de la protección radiológica, tanto del paciente como del personal. Por último, el artículo describe cómo promover la seguridad radiológica en la práctica clínica diaria, ahora y en el futuro.

CONCEPTOS CLAVE DE LA FLUOROSCOPIA

Los rayos X (radiación) son un tipo de energía que forma parte del espectro electromagnético, que abarca una amplia gama de energía electromagnética, desde las ondas de radio y las señales de televisión hasta la luz visible y radiación ionizante.

Por lo tanto, la exposición a la radiación forma parte de la vida cotidiana, y los seres humanos están constantemente expuestos a la radiación natural (por ejemplo, la radiación del suelo en forma de radón y la radiación cósmica al viajar en avión).⁹

Las radiaciones ionizantes, como la fluoroscopia, se utilizan en la obtención de imágenes médicas debido a su capacidad para penetrar los tejidos y ser captadas por un dispositivo detector (es decir, por un intensificador de imágenes o un detector de pantalla plana). El dispositivo detector convierte la información en una imagen visible para el endoscopista.

En la fluoroscopia a menudo se utiliza un arco en C o una mesa fluoroscópica, donde la corriente que llega al generador de rayos X es regulada entre 25 a 150 kV de pico. Esta



Figura 1. Paneles de control representativos de 4 fabricantes de fluoroscopios diferentes. Obsérvese la falta de estandarización de los controles clave. En el sentido de las agujas del reloj desde la parte superior izquierda: Philips (Ámsterdam, Países Bajos), Siemens Healthineers (Erlangen, Alemania), GE Healthcare (Chicago, Illinois), Omega Medical Imaging (Sanford, Florida, EE.UU.).

electricidad se envía al tubo de rayos X, que convierte la energía en una corriente de electrones disparados contra un blanco de tungsteno. La colisión subsiguiente detiene la corriente de electrones y libera rayos X, dirigidos hacia la parte del cuerpo de interés.^{10,11} Las distintas partes del cuerpo presentan distintos grados de absorción, lo que genera contraste y, por tanto, una imagen. Los rayos X son captados por un intensificador de imagen (o detector de pantalla plana), que aclara la imagen y la transmite a un monitor de televisión o a una pantalla de cristal líquido. Aunque son muchos los factores que influyen en la calidad de la imagen fluoroscópica, en general, una mayor frecuencia de imagen y un mayor aumento suelen producir imágenes de mayor calidad, pero a costa de una mayor dosis de radiación tanto para el paciente como para el personal.

Por último, algunas unidades de endoscopia utilizan un técnico en fluoroscopia, en lugar del médico que realiza la intervención, para el control del pedal fluoroscópico. Aunque existen argumentos que sostienen que uno (u otro) puede optimizar las aplicaciones de fluoroscopia, la cuestión de si es preferible la fluoroscopia con un solo operador o con dos sigue siendo objeto de debate.¹¹⁻¹³ Aunque un ensayo de control aleatorizado de urólogos pediátricos no encontró diferencias entre ambos,¹² dos estudios similares de gastroenterología concluyeron que el tiempo y/o la dosis de fluoroscopia de la CPRE eran significativamente menores cuando el pedal de fluoroscopia estaba controlado por el endoscopista en lugar de por el técnico.^{13,14}

COMPRESIÓN DEL EQUIPO DE FLUOROSCOPIA

A diferencia de un automóvil típico en el que la posición de los pedales principales (pedal del acelerador, pedal del freno, pedal del embrague) evolucionó hasta convertirse en un estándar industrial, no existe una uniformidad equivalente en los distintos equipos de fluoroscopia.

Los reglamentos federales, que establecen normas de seguridad para los productos emisores de radiaciones ionizantes fabricados después de 2006 (21 Código de Regulaciones Federales [CFR] 1020.32), se centran principalmente en diversas características de seguridad, como la distancia fuente-piel, los valores de salida de radiación y una alarma obligatoria de 5 minutos en todos los sistemas de control fluoroscópico.¹⁵ Sin embargo, no existe una guía federal, y por lo tanto no hay uniformidad en la industria, con respecto a la posición de los botones de control o incluso gráficos de iconos estandarizados en los equipos fluoroscópicos (Fig. 1). Este problema se ve agravado por la antigüedad variable de los equipos fluoroscópicos en uso clínico

Por lo tanto, es importante que todos los médicos consulten con su responsable local de seguridad radiológica para conocer cada máquina que pueda utilizarse en su práctica específica. Esto puede ser especialmente importante si un endoscopista realiza procedimientos en varios lugares. Por ejemplo, aunque la mayoría de los sistemas modernos de fluoroscopia son "bajo la mesa" (lo que significa que la fuente de rayos X está debajo de la mesa de fluoroscopia), algunos entornos de práctica todavía pueden tener una configuración

"sobre la mesa", por ejemplo, los arcos en C utilizados por los urólogos. Esta configuración tiene importantes implicaciones para la seguridad del médico y del personal, ya que la dispersión de la radiación es siempre mayor en el lado del tubo de rayos X.¹⁶

La fluoroscopia digital es un avance reciente en el que el intensificador de imágenes se sustituye por un detector de pantalla plana. La fluoroscopia digital puede tener varias ventajas sobre la fluoroscopia analógica, la habilidad de "retener la última imagen" y la fluoroscopia pulsada y la filtración de la radiación "blanda", o fotones, que sólo aumenta la exposición a la radiación, pero no contribuye a una imagen fluoroscópica útil. En un artículo en el que se comparaba la radiografía analógica con la digital, para el mismo campo de visión (aumento), la fluoroscopia digital reducía la dosis de fluoroscopia hasta un $27\% \pm 5\%$ en comparación con la fluoroscopia analógica ($p < 0.1$).¹⁷ Sin embargo, los costos de adquisición de la fluoroscopia digital suelen ser varias veces superiores a los de los sistemas analógicos. Además, es fundamental tener en cuenta que la fluoroscopia digital no es intrínsecamente más segura que la fluoroscopia analógica; de hecho, algunos sistemas digitales producen imágenes con una dosis de radiación más alta en comparación con la fluoroscopia analógica para tipos de examen equivalentes.¹⁸ Por ejemplo, si el endoscopista no es consciente de su entorno, la fluoroscopia digital puede aumentar paradójicamente la radiación administrada debido a las propiedades inherentes de todos los sistemas digitales; es decir, los médicos pueden estar dispuestos a tomar más imágenes fluoroscópicas para seleccionar la "mejor" imagen (sin darse cuenta de la administración de radiación con cada fotografía).

PRINCIPIOS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

Efectos deterministas versus efectos estocásticos de la radiación

Las lesiones por radiación en humanos pueden ser no dependientes de la dosis (estocásticas) o dependientes de la dosis (deterministas). La lesión en ambas situaciones está mediada por la radiación ionizante, que causa daño directo en el ADN o daño indirecto en el ADN por los radicales libres liberados por la radiación ionizante al chocar con el agua circundante.^{19,20} Los efectos estocásticos pueden producirse con cualquier dosis de radiación. El aumento de la dosis de radiación aumenta la probabilidad de que se produzca un efecto, pero no la gravedad del mismo.²¹⁻²⁵ El cáncer es un ejemplo de efecto estocástico; aunque el aumento de la dosis de radiación puede aumentar la probabilidad de cáncer, éste puede seguir produciéndose a dosis bajas de radiación. Por el contrario, los efectos deterministas se producen a una dosis umbral, y su gravedad aumenta con la cantidad de radiación recibida.^{21,22} Estos efectos sólo se producirán si se recibe una dosis umbral de radiación. Algunos ejemplos de efectos

TABLA 1. Dosis absorbida (D) vs dosis equivalente (H)

	SI	Non-SI (USA)
Dosis absorbida (D)	1 Gray (Gy)	100 rad
Dosis equivalente (H)	1 Sievert (Sv)	100 rem
	1 milliSievert (mSv)	100 mrem

SI, Sistema internacional.

deterministas son la caída del cabello, las quemaduras cutáneas, las cataratas y la descamación.

Unidades de medida

Más allá del hecho de que los seres humanos no pueden utilizar sus sentidos normales para detectar la exposición a la radiación, el médico que ejerce puede encontrar los conceptos de seguridad radiológica abstractos e inaccesibles debido a las unidades de medida, a menudo confusas. Existen dos medidas de radiación de interés con las que todos los endoscopistas deberían estar familiarizados: la dosis absorbida (D) y la dosis equivalente (H). La dosis absorbida (D) suele medir los efectos deterministas, mientras que la dosis equivalente (H) suele medir los efectos estocásticos. Además, todos los programas integrales de seguridad radiológica deben tener como objetivo registrar 2 conjuntos de mediciones, 1 para los médicos y enfermeras (a través de la dosis efectiva en mSv) y 1 para el paciente (a través de la dosis absorbida en forma de tiempo de fluoroscopia, dosis cutánea de entrada [mGy], e idealmente producto Kerma aire [Gy cm^2]). Estos principios se resumen en la [Tabla 1](#).

Tan baja como sea razonablemente posible

El uso de la fluoroscopia debe guiarse por el principio ALARA, que consiste en utilizar dosis "tan bajas como sea razonablemente posible".^{21,26-28} El objetivo de ALARA es evitar la sobreexposición de los pacientes y trabajadores ocupacionales y minimizar el riesgo de efectos estocásticos y deterministas.^{24,29} El principio ALARA se basa principalmente en el tiempo de radiación, la distancia a la fuente de radiación y el blindaje contra el haz de radiación y la dispersión, pero también incluye otros factores como la modificación del haz (es decir, la ampliación y la colimación), la educación y la concienciación sobre la radiación.^{25,29}

Control automático de luminosidad

La función de control automático de luminosidad (ABC, por sus siglas en inglés) de los sistemas fluoroscópicos mantiene constante la luminosidad general de la imagen. La luminosidad de la imagen viene determinada por la entrada de radiación recibida en el intensificador de imagen. Si la imagen no es lo suficientemente luminosa, el sistema ABC la compensa generando más rayos X o rayos X más penetrantes (es decir, aumentando el Miliamperaje fluoroscópico o el pico

de kV), lo que aumenta la dosis.²¹ Por el contrario, si la imagen es demasiado luminosa, el sistema ABC produce menos rayos X o rayos X menos penetrantes (es decir, disminuye el Miliamperaje fluoroscópico o el pico de kV), lo que disminuye la dosis.

Ampliación

La mayoría de los sistemas de fluoroscopia tienen en promedio de 3 a 5 modos de aumento disponibles. La ampliación se consigue cuando un área de entrada más pequeña se enfoca sobre la misma área de salida en el intensificador de imagen. Esto provoca una disminución de los fotoelectrones que llegan al intensificador de imagen, lo que da lugar a una imagen degradada con menor brillo. Los sistemas ABC compensan esta disminución del brillo aumentando el miliamperaje fluoroscópico, lo que incrementa la dosis de radiación.²¹ De hecho, cuando el campo de visión se reduce en 2 (en terminología coloquial, "se aumenta 1 nivel"), la tasa de dosis aumenta en un factor de 4.³⁰ Por lo tanto, el modo de aumento se asocia a un aumento significativo de la dosis y, en general, la dosis de radiación incrementa a mayor aumento.^{22,31,32} Por lo tanto, para reducir la dosis de radiación, el aumento debe ajustarse al mínimo posible.

Colimación

La colimación moldea el haz de rayos X mediante obturadores radiopacos redondos y rectangulares.¹⁰ El operador debe colimar el haz de rayos X para incluir sólo la zona de interés. Por ejemplo, al colimar la burbuja gástrica, la imagen del sistema biliar suele mejorar con un contraste más nítido de las características anatómicas. Aunque la colimación reduce el brillo de la imagen y el sistema ABC responde aumentando la dosis de exposición cutánea de entrada, el resultado neto es que se irradia menos tejido, se genera menos dispersión y, por lo tanto, la dosis total para los pacientes y el personal sigue siendo muy reducida.³³ En general, la colimación disminuye la dosis para el paciente y el operador en proporción al área del campo de imagen.¹⁰

Ángulo Gantry

La exposición a la radiación también varía en función del ángulo en el que se proyecta el haz de rayos X. Las vistas oblicuas y las angulaciones pronunciadas aumentan la longitud de la trayectoria de la radiación a través del cuerpo, lo que da lugar a un aumento compensatorio de la emisión de radiación, a veces por un factor de 10 o más.²² Las angulaciones de 60 grados triplican la dosis de radiación en comparación con las angulaciones de 30 grados.²¹

REQUISITOS Y DOCUMENTACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LICENCIAS Y LÍMITES DE DOSIS PROFESIONALES

En Estados Unidos no existe un requisito federal uniforme para la formación en seguridad radiológica en las artes curativas. Por ello, cada uno de los 50 estados y el Distrito de Columbia han desarrollado sus propios requisitos de certificación en materia de radiación. Por ejemplo, 9 estados exigen una prueba documentada de formación en seguridad fluoroscópica, mientras que 8 estados no tienen requisitos para ningún operador de rayos X. Sólo 1 estado (California) cuenta con un examen de licencia estatal específico para operadores de fluoroscopia médicos (Permiso de supervisor y operador de fluoroscopia) (Tabla 1 Suplementaria, disponible en línea en www.giejournal.org). No obstante, es importante que los médicos conozcan los límites de dosis de radiación publicados por las autoridades nacionales e internacionales (Organismo Internacional de Energía Atómica y Consejo Nacional de Protección Radiológica). (Tabla 2).

El método más común para adquirir límites de dosis ocupacionales es con un dosímetro. Existen tres tipos de dosímetros en la práctica clínica habitual. El primer tipo es el dosímetro basado en película. Los dosímetros basados en película son muy sensibles a los rayos X; cuanto más oscura sea la película expuesta, mayor será la dosis de radiación recibida. Aunque los dosímetros de película son bastante asequibles, debido a sus propiedades físicas, las placas de película no pueden dejarse en vehículos cerrados y deben devolverse cada mes para evitar que se empañen a causa de factores ambientales (por ejemplo, la temperatura y la humedad). Un tipo de dosímetro más moderno es el dosímetro termoluminiscente, que es una placa que contiene un chip de material radiosensible (fluoruro de litio). Al absorber los rayos X, los electrones de este material se convierten en electrones cargados/excitados. Al volver al laboratorio para su procesamiento, los electrones vuelven a su estado natural y emiten luz. La luz emitida es proporcional a la dosis absorbida.³⁴ El tercer tipo de dosímetro es el de luminiscencia ópticamente estimulada, que es un detector con 3 filtros diferentes de aluminio, estaño y cobre. Cuando se devuelve la placa para su procesamiento, se utilizan varios láseres de diferentes energías para "leer" cada detector; el brillo de la luz resultante es proporcional a la radiación que recibe cada detector. Este diseño del dosímetro es ventajoso porque permite determinar varias proporciones de radiación de baja, media y alta energía a la que está expuesto el usuario, lo que corresponde a radiación "superficial", "ocular" y "profunda", respectivamente.³⁵ La principal desventaja de estos dosímetros es la necesidad de post-procesamiento, por lo que el usuario no puede obtener información en tiempo real. En la actualidad se comercializan dosímetros personales

TABLA 2. Límites anuales de dosis ocupacionales

	Límite de dosis	Notas
Organismo Internacional de la Energía Atómica⁹⁸		
Cuerpo total	20 mSv	Media anual durante 5 años
	50 mSv	En 1 año
Lente ocular	20 mSv	Media anual durante 5 años
	50 mSv	En 1 solo año
Extremidades (manos, pies o piel)	500 mSv/y	
NCRP⁹⁹		
Dosis efectiva corporal total	50 mSv	Por año
Lente ocular	50 mGy	Límites reducidos basados en el Comentario No. 26 del NCRP.
Extremidades (manos, pies o piel)	500 mSv/y	

electrónicos (transistor de efecto de campo semiconductor de óxido metálico). Estos dispositivos se utilizan principalmente para pacientes que reciben radiación corporal total en entornos de oncología radiológica. Estos dispositivos presentan varias ventajas con respecto a los dosímetros de tipo post-procesado, como la posibilidad de ofrecer exposiciones a la dosis en tiempo real, avisar al usuario al instante si se superan los límites de dosis y admitir comunicaciones de campo cercano que permiten la lectura y el restablecimiento automáticos.

Independientemente del tipo de dosímetro utilizado, la posición correcta del detector es fundamental para garantizar datos precisos. El dosímetro debe llevarse a la altura del cuello, fuera del delantal. Esto debe aproximarse a la tiroides y dosis equivalente al lente ocular. Sin embargo, durante procedimientos fluoroscópicos intensos o para personal embarazado, se debe llevar un segundo dosímetro a la altura de la cintura por debajo del delantal de plomo; estos datos se aproximan más a la dosis penetrante en la parte inferior del torso. En esta situación, es fundamental que los dos dosímetros estén codificados por colores para evitar interpretaciones erróneas de los resultados (p. ej., si el dosímetro del cuello se confunde accidentalmente con el dosímetro "bajo el delantal", los resultados podrían interpretarse erróneamente como un plomo inseguro/agrietado).

PROTEGIENDO AL PACIENTE, AL MÉDICO Y AL PERSONAL

Las lesiones orgánicas inducidas por la radiación son una compleja interacción de la dosis de radiación, el tiempo de exposición, la radiosensibilidad de un órgano específico y la susceptibilidad genética de una persona. Para proporcionar

un contexto, es útil estratificar los eventos en efectos deterministas tempranos (días a semanas después de la exposición) y efectos deterministas/estocásticos tardíos (meses a años después de la exposición). Algunos ejemplos de efectos deterministas tempranos son el eritema cutáneo, la esterilidad temporal (que se producen tras una exposición promedio de 2 Gy) y discrasias sanguíneas como la leucopenia (que puede producirse tras una exposición de tan sólo .1 Gy).³⁶ Por su parte, los acontecimientos deterministas y estocásticos tardíos son más difíciles de atribuir a una relación dosis-respuesta en parte debido al tiempo extremadamente largo que transcurre entre la exposición y el efecto. Gran parte de lo que se sabe procede de estudios observacionales de incidentes ocupacionales (mineros del uranio y pintores de esferas de relojes de radio) y de siniestros masivos (Nagasaki y Chernóbil). Algunos ejemplos de efectos deterministas tardíos son la formación de cataratas y la disminución de la fertilidad, mientras que los efectos estocásticos tardíos son el cáncer y los efectos hereditarios (defectos de nacimiento).³⁷ Como se ha mencionado anteriormente, aunque los efectos estocásticos pueden seguir produciéndose a dosis bajas, la probabilidad de efectos estocásticos puede aumentar con el incremento de la dosis, lo cual es importante porque la exposición a la radiación es acumulativa a lo largo de la vida de una persona.

Así, teniendo en cuenta los principios de ALARA, la Comisión Internacional de Protección Radiológica ha estratificado la exposición a la radiación ocupacional de la siguiente manera:

1. Baja: <3 mSv (300 mrem) al año, equivalente al nivel natural de radiación de fondo,
2. Moderado: De 3 a 20 mSv (300-2000 mrem) al año, límite superior anual de exposición profesional para trabajadores de riesgo promediado en 5 años,
3. Alta: >20 a 50 mSv (2000-5000 mrem) por año, límite superior anual de exposición profesional para los trabajadores en riesgo en un año determinado.³⁸

Del mismo modo, el Consejo Nacional de Protección Radiológica ha establecido que el límite anual de dosis profunda equivalente para la exposición ocupacional es de 5000 mrem (50 mSv). La mayoría de los estados han adoptado estos límites de dosis en sus normativas y guías regionales.

La protección radiológica eficaz del paciente y del equipo médico debe ser el objetivo de todo procedimiento fluoroscópico, especialmente porque la dosis más alta para los médicos y el personal de enfermería procede del paciente (en forma de dispersión).³³ Algunos líderes en gastroenterología han adoptado firmemente los principios fundamentales de ALARA, como la documentación de los tiempos de fluoroscopia en los informes de CPRE,⁷ el uso de modalidades alternativas/complementarias como la EUS (ultrasonido endoscópico) y la colangioscopia digital³⁹, e incluso la CPRE sin fluoroscopia.⁴⁰ Sin embargo, en la mayoría de las situaciones clínicas, la CPRE sigue dependiendo en gran medida de la fluoroscopia para fines diagnósticos y terapéuticos.

En la sección restante repasamos las 3 variables de la seguridad radiológica: tiempo, distancia y blindaje. También prestamos especial atención a 4 situaciones especiales: el paciente obeso, el paciente pediátrico, la paciente embarazada y la paciente en edad fértil, y las miembros embarazadas del equipo fluoroscópico.

Tiempo

El factor más importante que influye en la dosis de radiación es el tiempo de fluoroscopia.²⁵ La dosis de radiación es directamente proporcional al tiempo de exposición; por lo tanto, es fundamental comprender las formas en que se puede reducir el tiempo de fluoroscopia.^{21,29} Diversas "buenas prácticas" de reducción del tiempo reducen la dosis efectiva de radiación (Tabla 3).^{29,41} El uso de fluoroscopia pulsada con la frecuencia de impulsos y fotogramas lo más baja posible da lugar a una reducción significativa de la dosis de radiación.^{28,33,42,43} En la fluoroscopia pulsada, el haz de rayos X se enciende y se apaga a una frecuencia de imagen inferior

TABLA 3. "Mejores prácticas" de reducción de tiempo para reducir la dosis efectiva de radiación

Activar la fluoroscopia sólo cuando las imágenes sean necesarias para la atención clínica
Predeterminar el campo de imagen deseado antes de activar la fluoroscopia (para evitar panorámicas innecesarias).
Utilizar golpes intermitentes del pedal de fluoroscopia.
Evitar vistas redundantes
Usar fluoroscopia pulsada, no continua
Utilizar la última imagen retenida
Evite imágenes de posicionamiento innecesarias
Preste atención a las alarmas acústicas (tiempo de fluoroscopia de 5 minutos obligatorio a nivel federal para los equipos fabricados después de 2006).

(es decir, 7,5 o 15 pulsos por segundo) cuando se pisa el pedal, con lo que se administra una dosis total de radiación menor que en la fluoroscopia continua convencional (30 pulsos por segundo).^{31,44} El operador selecciona la frecuencia de pulsación, y la dosis total de radiación es proporcional a la frecuencia de pulsación. Los sistemas configurados a <10 pulso por segundo pueden reducir la exposición hasta en un 90% en comparación con los sistemas sin pulsos.⁴⁵

Otra manera de reducir el tiempo de fluoroscopia, y por tanto la dosis de radiación, es con el método de retener la última imagen en los sistemas de fluoroscopia.^{31,32,42,46} Esta función mantiene la última imagen fluoroscópica en el monitor sin necesidad de fluoroscopia continua (es decir, se muestra en el monitor la imagen de la última vez que se pisó el pedal). Esto puede reducir el tiempo total de fluoroscopia entre un 50% y un 80%.²⁹

Distancia

La cantidad de radiación que recibe una persona depende de su distancia a la fuente de radiación. Aunque la principal fuente de radiación para el paciente procede del tubo de rayos X, la principal fuente de radiación para el personal de endoscopia procede en realidad del paciente debido a la dispersión de la radiación.^{21,25,41} Además, la exposición a la radiación viene determinada por la ley del cuadrado inverso; específicamente, la exposición es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente.^{25,47} Por lo tanto, triplicar la distancia entre la fuente de radiación y un individuo disminuye la exposición en un factor de 9. Por lo tanto, los endoscopistas y el personal deben permanecer lo más lejos posible del haz de radiación para reducir su dosis de radiación.

TABLA 4. Atenuación de la radiación en función del pico de kV y del grosor del plomo^{44,100,101}

Espesor del plomo	Peso aproximado (kg)	60 kV pico	80 kV pico	100 kV pico	120 kV pico
.25 mm	2.7-2.9	95.72	88.05	83.27	79.84
.5 mm	2.9-5.8	99.58	97.45	95.04	93.69
1 mm	5-12	99.99	99.73	99.14	98.91
2 mm	26*	100	99.99	99.95	99.94

Adaptado de las referencias 44, 102 y 103.

*Este valor es extrapolado. No se conoce ningún delantal disponible comercialmente con un grosor de plomo de 2 mm.

Blindaje: equipos de protección individual y blindaje estructural

Los delantales de plomo son la principal prenda de protección contra las radiaciones utilizada por el personal durante la fluoroscopia y están disponibles comercialmente en varias opciones de grosor, incluidos 0.25 mm, 0.35 mm, 0.5 mm y 1 mm. Además del grosor, la matriz particular de los materiales compuestos, que puede variar según el fabricante, también puede alterar los índices de atenuación. En la práctica clínica habitual, un plomo de 0.5 mm puede atenuar más del 90% de la radiación dispersa.⁴⁸ A partir de entonces, el aumento de la atenuación suele compensarse con un notable incremento del peso (Tabla 4).

Hay disponibles varios diseños diferentes, como delantales que sólo cubren la parte delantera, delantales envolventes de doble cara o delantales de 2 piezas. Los delantales de plomo de dos piezas, que constan de un chaleco y un faldón, son preferibles a las opciones de una pieza porque distribuyen el peso de forma más uniforme entre las caderas y los hombros y ofrecen una protección uniforme cuando el endoscopista debe situarse en una posición tangencial a la fuente de radiación para ver los monitores de vídeo y fluoroscopia.^{25,41} Un delantal de plomo envolvente de 0.25 mm de grosor equivalente al plomo también proporciona una equivalencia de plomo de 0.5-mm en la parte delantera del cuerpo.

El uso prolongado de delantales de plomo tradicionales se ha asociado a problemas musculoesqueléticos y fatiga en médicos intervencionistas.^{49,50} El plomo ligero, compuesto o sin plomo (como el bario, el estaño y el antimonio), puede ofrecer a menudo una protección similar a la del plomo puro con aproximadamente un 30% del peso,⁵¹ aunque a un costo más elevado. Dado que un delantal de plomo estándar de 0.5 mm puede pesar hasta 15 libras, el impacto del plomo ligero puede ser significativo. Independientemente del material y el diseño, es fundamental que el delantal de protección se ajuste correctamente en el borde del cuello y la manga. Las aberturas grandes podrían provocar una mayor exposición del tejido mamario, lo que es especialmente importante para

el personal femenino, ya que se ha descrito anteriormente un mayor riesgo de cáncer de mama en las mujeres que realizan fluoroscopias.^{52,53}

Además, los materiales de blindaje del interior de las prendas protectoras pueden sufrir daños tras un uso prolongado, como grietas microscópicas o agujeros que pueden no ser visibles. Por lo tanto, los delantales de plomo requieren una inspección anual (por ejemplo, mediante vigilancia radiográfica) para evaluar si presentan defectos. El cuidado adecuado del delantal de plomo prolonga la vida útil de la prenda; en concreto, el delantal debe manipularse siempre con cuidado y colgarse verticalmente para evitar grietas. Debe evitarse arrojar el delantal en una pila doblada y arrugada.

Aunque los delantales de plomo reducen eficazmente la mayor parte de la radiación dispersa al tronco y la pelvis, otras regiones vulnerables del cuerpo permanecen expuestas y requieren un blindaje específico. La exposición a la radiación de la glándula tiroidea y los ojos puede ser significativa durante la endoscopia guiada por fluoroscopia (mediana de 0.3 mGy, o 0.03 Rad, por CPRE), en particular con sistemas de cobertura sin blindaje.⁵⁴ La dosis máxima anual admisible recomendada para la tiroides es de 300 mSv (30,000 mrem). Se ha demostrado que los protectores de tiroides reducen la dosis efectiva corporal total en un 46% anual.⁵⁵ Aunque es probable que los estudios anteriores subestimaran el riesgo de cáncer de tiroides (debido al arco de varias décadas entre el tiempo de exposición y el desarrollo del cáncer de tiroides), la sensibilización profesional ante esta preocupación es cada vez mayor.⁵⁶ Por ejemplo, ha habido un aumento auto reportado del 44% en el uso del escudo tiroideo entre los endoscopistas intervencionistas desde el año 2000 al 2019.^{8,25} Al igual que el refrán "la mejor cámara es la que te acompaña", el mejor protector de tiroides es el que te acompaña en todo momento. Lo ideal es un protector equivalente a un plomo de 0.5 mm, fijado permanentemente a tu delantal de plomo y bien ajustado.^{57,58}

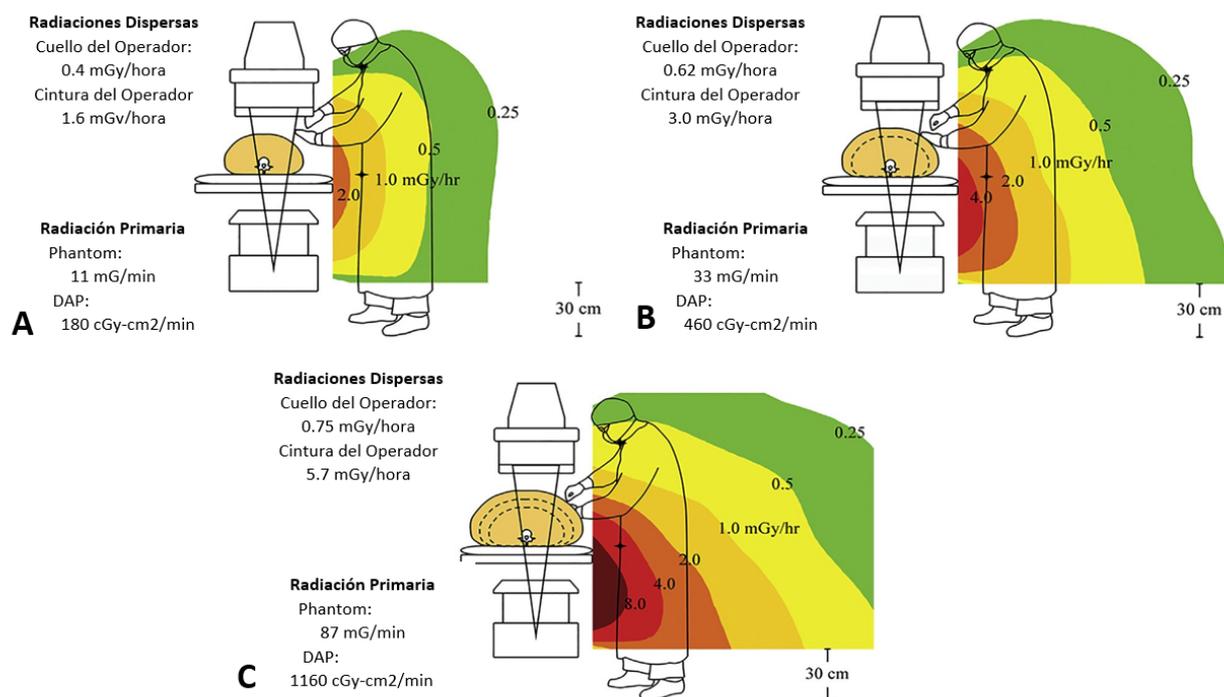


Figura 2. El efecto del aumento del grosor abdominal del paciente en la exposición del operador, con grosores abdominales de 24 cm (A), 29 cm (B) y 34 cm (C). (Reproducido con permiso de Schueler BA, Vireze TJ, Bjarnason H, et al. Una investigación de la exposición del operador en radiología intervencionista. *Radio Gráficos* 2006; 26:1533-41.)

La formación de cataratas por exposición a radiaciones suele ser un riesgo laboral subestimado. Debido a la radiosensibilidad del ojo, se ha recomendado un límite anual de 15 mSv (1500 mrem) para prevenir la formación de cataratas,⁵⁹ como se confirmó en un estudio de cardiólogos intervencionistas que demostró un riesgo 3 veces mayor de formación de cataratas en comparación con la población general (38% vs 12%; $P = .005$).⁶⁰ A pesar de este riesgo, el uso auto declarado de vidrio con plomo es escaso. Por ejemplo, en una encuesta realizada a más de 150 endoscopistas intervencionistas, incluyendo aquellos en formación, se observó un uso sistemático en tan sólo el 31% de los médicos intervencionistas y el 14% de endoscopistas en formación.⁸ Al igual que ocurre con los delantales de plomo, la mayor protección se obtiene con un espesor de plomo de 0.5-mm (95%).⁵⁶ Aunque existen lentes ligeros, tienen limitaciones significativas, incluida una reducción de hasta el 50% en la protección contra la radiación si el endoscopista se sitúa tangencialmente a la fuente de radiación.⁶¹

Normalmente, los brazos y las piernas no están protegidos de la radiación dispersa durante los procedimientos fluoroscópicos, y un estudio demostró dosis en las piernas del operador de hasta 2,6 mSv (260 mrem) por procedimiento.⁶² Una protección adicional contra el plomo en los hombros (tipo hombreras "guantelete") o en las manos (guantes con

plomo) puede afectar negativamente la capacidad del endoscopista para realizar movimientos motores finos. Por lo tanto, un blindaje estructural (montado en el techo), móvil (escudo de plomo sobre ruedas) y basado en equipos (cortina de plomo) colocado correctamente puede reducir hasta el 90% de la radiación dispersa.^{56,63} En un ensayo aleatorizado, doble ciego, controlado con simulacro, un paño equivalente al plomo alrededor del intensificador de imagen redujo en un 90% la dispersión tanto en los ojos y el cuello del endoscopista y de la enfermera.⁶⁴

Poblaciones de pacientes especiales: pacientes obesos, pacientes pediátricos y mujeres en edad fértil.

Si los demás factores se mantienen constantes, las dosis de radiación son más elevadas para los pacientes obesos que para los pacientes con un índice de masa corporal normal. (Fig. 2A-C). Una constitución corporal más alta atenúa significativamente los haces de radiación y da lugar a una imagen más oscura. Sin duda, el ABC compensará aumentando el pico de kV o mA, lo que genera más dispersión. En un estudio sobre procedimientos de angiografía coronaria, se demostró que los pacientes con obesidad mórbida estaban asociados a una duplicación de las dosis de radiación en comparación con los pacientes con un índice de masa corporal normal y a un aumento de 7 veces de

la dosis de radiación de los médicos debido a una mayor dispersión.⁶⁵ La colimación óptima sólo a la región de interés puede reducir tanto el volumen de tejido del paciente irradiado como la cantidad de dispersión para enfermeras y médicos. En pacientes con obesidad, el blindaje externo adicional también puede ayudar a disminuir los niveles más altos de radiación dispersa.

Los pacientes pediátricos, sobre todo a edades tempranas, tienen un riesgo estocástico (sensibilidad a la inducción de cáncer por radiación) de 3 a 5 veces superior al de los adultos.⁶⁶ Las mejores prácticas incluyen agotar primero todas las opciones de reducción de la radiación y después utilizar de forma agresiva la ley del cuadrado inverso, la fluoroscopia pulsada y la colimación, y considerar el uso de métodos para reducir los movimientos del niño (hasta la anestesia endotraqueal general, si está clínicamente indicada) para minimizar la necesidad de repetir varias veces las imágenes de fluoroscopia.

En el caso de las pacientes en edad fértil, debe considerarse la posibilidad de realizar una prueba de embarazo antes de los procedimientos fluoroscópicos para evaluar el nivel de riesgo y ayudar con un modelo de decisión compartida centrado en el paciente a tomar la decisión de proceder con la CPRE. Los protectores deben colocarse encima del paciente para los sistemas sobre la camilla y debajo del paciente para los sistemas bajo la camilla. La CPRE terapéutica es relativamente segura y eficaz durante el embarazo cuando la realiza un endoscopista con experiencia y es óptima durante el segundo trimestre del embarazo. Varias series de casos no han informado de un aumento de defectos congénitos, partos prematuros o abortos en mujeres embarazadas sometidas a CPRE.⁶⁷⁻⁷⁰ El feto debe protegerse con un delantal de protección radiológica entre el tubo de rayos X y el abdomen de la paciente. Además, la colocación de una cánula biliar con una técnica guiada por un alambre o guía y la confirmación del acceso biliar mediante aspiración biliar pueden reducir aún más la exposición a la radiación.

Embarazo y realización de procedimientos fluoroscópicos

A pesar de los datos que respaldan la seguridad de los procedimientos fluoroscópicos, incluso durante el embarazo, múltiples estudios basados en encuestas en otras subespecialidades intervencionistas basadas en la fluoroscopia (p. ej., cardiología intervencionista, radiología intervencionista, cirugía vascular) han mostrado repetidamente el temor a los riesgos teratogénicos de la radiación.⁷¹⁻⁷³ Estas preocupaciones pueden influir negativamente en las mujeres que, de otro modo, estarían calificadas para seguir una carrera en estas especialidades, mientras que los riesgos para la fertilidad de la exposición a la radiación pueden ser subestimados por los médicos varones. Aunque algunos países internacionales prohíben el uso de la fluoroscopia durante el embarazo,⁷⁴ en los Estados Unidos la

legislación federal protege el derecho de las trabajadoras embarazadas a seguir realizando procedimientos fluoroscópicos y considera que la notificación de embarazo es estrictamente voluntaria.⁷⁵ En el momento de la notificación, se entrega a la trabajadora embarazada un dosímetro fetal que se lleva a la altura del abdomen bajo el delantal de plomo. El responsable de seguridad radiológica controla la lectura mensual de la dosis para garantizar que no se superen los límites reglamentarios de dosis fetal. El informe N° 174 del Consejo Nacional de Protección Radiológica recomienda limitar la exposición ocupacional del feto a menos de 5 mSv (500 mrem) durante todo el embarazo o a 0.5 mSv (50 mrem) por mes.

Riesgos reproductivos y fetales de la radiación: riesgos previos a la concepción

La exposición ocupacional a la radiación puede afectar tanto a la salud reproductiva masculina como a la femenina. Los riesgos de la radiación en la preconcepción se definen como posibles mutaciones genéticas que pueden provocar esterilidad y efectos hereditarios. La mayoría de lo que se conoce sobre los riesgos previos a la concepción se basa en modelos de animales y datos epidemiológicos de los supervivientes de los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki.⁷⁶

Aunque existe una preocupación legítima acerca de que la exposición profesional a la fluoroscopia provoque esterilidad inducida por la radiación y efectos hereditarios, esta preocupación se ve atenuada por nuestros conocimientos actuales sobre radiobiología. La esterilidad, específicamente, es un efecto determinista con dosis umbral de riesgo.

Por lo tanto, en sujetos masculinos, es poco probable que las exposiciones ocupacionales anuales sin protección inferiores a 15 mSv/año (1500 mrem/año) produzcan efectos testiculares de la radiación.⁷⁷ Del mismo modo, en el caso de las mujeres, los estudios epidemiológicos sugieren que es poco probable que las dosis absorbidas acumuladas de 12.000 mGy (1.200 Rad) antes de la pubertad a 2.000 mGy (200 Rad) en mujeres en edad fértil provoquen esterilidad.⁷⁸ Estas dosis están muy por encima de la exposición típica a lo largo de la vida de los intervencionistas que practican la protección estándar.

El riesgo hereditario (definido como la enfermedad genética potencial en la descendencia resultante de mutaciones de células germinales) es técnicamente un efecto determinista. El informe de 2001 de la Comisión Científica de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas estima que el riesgo total de efectos hereditarios en los seres humanos aumenta entre un 0.41% y un 0.46% por cada 1000 mGy (100 Rad) de exposición. Sin embargo, no se ha demostrado que la irradiación previa a la

TABLA 5. Efectos deterministas en cada gestación con dosis límite⁸³

Efecto de la radiación	Gestación (sem)	Dosis umbral (mGy)	Dosis umbral (Rad)
Muerte embrionaria	3-4	100-200	10-20
Malformaciones importantes	4-8	250-500	25-50
Retraso del crecimiento	4-8	200-500	20-50
Retraso irreversible del crecimiento de todo el cuerpo	8-15	250-500	25-50
Discapacidad mental grave	8-15 >16	60-500 >1500	6-50 >150
Microcefalia	8-15	>20,000	>2000
Disminución del cociente intelectual	>16	>100	>10

concepción de las gónadas de cualquiera de los progenitores aumente el cáncer o las malformaciones en los niños.⁷⁹ Así pues, el informe del 2001 de la Comisión Científica de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas declaró que "nunca se ha demostrado que la exposición a las radiaciones cause efectos hereditarios en las poblaciones humanas."⁸⁰ Así pues, los riesgos de esterilidad o de efectos hereditarios parecen ser mínimos para los endoscopistas intervencionistas, especialmente con los protectores gonadales, que reducen las dosis gonadales hasta en un 98%.⁸¹

Riesgos reproductivos y fetales de la radiación: riesgos perinatales

El riesgo perinatal global para el feto viene determinado por el trimestre del embarazo, la dosis de exposición y la dosis real absorbida. Los riesgos deterministas, los asociados a una dosis umbral, son los principales impulsores de los riesgos perinatales y dependen en gran medida de la fase de gestación (Tabla 5).

Existe un riesgo conocido de muerte embrionaria debido a la exposición a la radiación antes de la implantación; sin embargo, no está bien cuantificado. Las tasas subyacentes de aborto espontáneo durante este periodo de tiempo son difíciles de medir, dado que las mujeres no suelen ser conscientes del embarazo en esta fase. Con dosis inferiores a 100 mGy (10 Rad), se cree que la muerte embrionaria de 0 a 8 días antes de la implantación es muy rara.⁸⁰ Tras la implantación, el riesgo de malformación debido a la exposición a la radiación es mayor durante la organogénesis (semanas 2-8) con un umbral de aproximadamente 100 mGy (10 Rad). Entre las 8 y las 15 semanas, los riesgos incluyen retraso del crecimiento, discapacidad mental grave y microcefalia. Después de las 16 semanas, el principal riesgo es la disminución del cociente intelectual.

El riesgo estocástico asociado a la exposición perinatal a la radiación, que no tiene una dosis límite, aumenta el riesgo de cáncer infantil. El aumento estimado del riesgo absoluto de

cáncer infantil es de aproximadamente un 6% por cada 1000 mGy (100 Rad) de exposición fetal a la radiación. Estos riesgos se dan en el contexto de una exposición directa al haz de radiación durante un periodo de tiempo continuo sin llevar equipo de protección individual. Como se ha descrito anteriormente, el endoscopista no está expuesto al haz directo, sino a la radiación dispersa, la mayor parte de la cual es atenuada por un delantal de plomo. Sobre la base de los datos de exposición de los radiólogos intervencionistas, la exposición media de una radióloga intervencionista embarazada durante un embarazo de 40 semanas con doble plomo es de aproximadamente 30 mrem (.3 mSv), muy por debajo del límite de dosis fetal ocupacional de 500 mrem (5 mSv).⁷⁵ Según un modelo conservador del Consejo Nacional de Protección Radiológica, para un feto expuesto a 50 mrem (.5 mSv) en el útero, la probabilidad de nacer vivo sin malformaciones o cáncer se reduce del 95.93% al 95.928%.⁸²

FOMENTO DE LA SEGURIDAD RADIOLÓGICA Y LA CALIDAD EN GI: AHORA Y EN EL FUTURO

La exposición a la radiación médica en Estados Unidos ha aumentado drásticamente en las últimas 3 décadas debido al mayor uso de estudios radiológicos y terapias basadas en la radiación.^{83,84} Además, dependiendo de la complejidad del caso, algunos procedimientos de fluoroscopia intervencionista generan niveles de radiación incluso superiores a los de la TAC abdominal.⁸⁵ Así pues, la capacitación formal en seguridad radiológica y las auditorías de calidad continuas son 2 pilares de la protección radiológica tanto de los pacientes como del personal. Aunque las comunidades de radiología diagnóstica y cardiología intervencionista han implantado programas y directrices de seguridad radiológica en los planes de formación,⁸⁶⁻⁹⁰ actualmente no existe un equivalente para la comunidad de endoscopia intervencionista. En una encuesta reciente entre especialistas en endoscopia terapéutica, el 91.7% de los encuestados creía que la formación formal para manejar el sistema de fluoroscopia de su hospital y reducir la exposición

a la radiación habría sido beneficiosa, pero el 78.6% afirmó que no había recibido dicha formación formal y que no sabía cómo modular los ajustes para reducir las dosis de radiación.⁸ En consecuencia, los especialistas en endoscopia terapéutica desconocen en general los requisitos de su estado para obtener la licencia de fluoroscopia (57.1%).⁸ No se trata simplemente de un problema de los Estados Unidos: una encuesta reciente realizada a 107 médicos británicos especializados en CPRE (58 en formación y 49 especialistas) reveló que menos de la mitad de los encuestados llevaban habitualmente protectores oculares, y casi una cuarta parte de los encuestados en formación no llevaban protectores tiroideos.⁹¹

A pesar del estado rudimentario de la formación en seguridad radiológica de los endoscopistas intervencionistas en Estados Unidos, existe un camino a seguir. Además de este documento, la Sociedad Europea de Endoscopia Gastrointestinal ha publicado directrices para el uso de la fluoroscopia durante los procedimientos endoscópicos.³³ Un estudio también demostró que incluso un breve programa educativo de 20 minutos sobre la minimización de la radiación mediante la optimización de los ajustes de fluoroscopia (frecuencia de imagen, aumento y colimación) dio lugar a una notable disminución de la exposición a la radiación asociada a la CPRE.⁹² Además, la participación en un registro formal como el Registro de Índice de Dosis del Colegio Americano de Radiología (que recopila datos de dosis de radiación de varias instituciones, lo que les permite comparar la utilización de radiación de una instalación con los promedios nacionales) podría ayudar a alentar al endoscopista practicante a ejercer ALARA en los procedimientos de fluoroscopia.^{86,89,93,94} A medida que el campo de la endoscopia siga expandiéndose, es concebible que la gastroenterología intervencionista imite a otras especialidades médicas (por ejemplo, la cardiología intervencionista) en la exigencia de formación y certificación formales en seguridad radiológica.⁹⁵

La disponibilidad generalizada del ultrasonido endoscópico y la colangiopancreatografía por resonancia magnética (CPRM) ha eliminado en gran medida el papel de la CPRE diagnóstica. Resulta emocionante que nueva tecnología que utiliza inteligencia artificial (IA) pueda ayudar a reducir aún más la exposición del paciente y del personal de la sala. En el momento de redactar este documento, existe actualmente en el mercado un sistema de fluoroscopia con IA (FIA) incorporada (*FluoroShield; Omega Medical Imaging, Sanford, Fla, EE.UU.*). El sistema FIA minimiza la exposición a la radiación a través de un colimador secundario ajustando constantemente la orientación de la lámina de fuga del obturador para bloquear la radiación en la zona situada fuera de la región de interés. El colimador secundario reduce la exposición del paciente a la radiación reduciendo aún más la radiación que pasa a través de la abertura del colimador

primario. Las laminillas del obturador del colimador secundario están controladas por un procesador automático de regiones de interés que incluye tecnología de IA. El primer estudio que evaluó esta tecnología demostró que la exposición de los pacientes a la radiación era significativamente menor con el sistema FIA que con el sistema de fluoroscopia convencional. La dispersión de la radiación fue un 59.4% menor en el sistema FIA en comparación con el sistema de fluoroscopia convencional.⁹⁶ Se trata de un importante avance en este campo, y se prevé que otros fabricantes de fluoroscopia lancen su versión de sistemas basados en la tecnología FIA en el futuro

CONCLUSIÓN

Todos los endoscopistas deben estar familiarizados con los principios básicos de la seguridad radiológica, incluidos sus 3 pilares: distancia, tiempo y protección. Para garantizar que todos los endoscopistas intervencionistas reciban una formación completa sobre la importancia de estos factores, debe desarrollarse un plan de estudios de carácter formal para maximizar la seguridad y la calidad de la imagen al tiempo que se minimizan los riesgos de exposición a los rayos X. Debido a la falta de estandarización a nivel normativo y de equipos, la aplicación de las mejores prácticas de seguridad es especialmente crítica para los equipos individuales de endoscopia intervencionista, que deben comprender los factores específicos en juego (es decir, equipos de fluoroscopia, disposición de las instalaciones, etc.) para reducir la dispersión de la radiación y la dosis acumulada. En la actualidad, los endoscopistas también deben reconocer que el 99% de la dispersión puede atenuarse con delantales de última generación, ligeros y equivalentes al plomo, y ayudar a promover el uso de prendas de protección actualizadas y adecuadas para todo el personal que participe en los procedimientos. En este momento, se ha determinado que con la debida protección (incluidos delantales de 2 piezas) y las técnicas adecuadas, las mujeres médicas pueden realizar con seguridad la CPRE durante todo el embarazo, sin evidencia de malformaciones genéticas o riesgos de cáncer para el feto.

A medida que el campo de la endoscopia intervencionista siga avanzando, la ciencia y los conocimientos sobre protección radiológica seguirán evolucionando, como demuestran la colimación mejorada por IA y otros avances científicos. Además, están evolucionando las modalidades que ahorran radiación, como las de los procedimientos de cateterismo endovascular, en los que se están estudiando catéteres de control remoto asistidos magnéticamente con imágenes de resonancia magnética en tiempo real como una ayuda superior para la exploración que no requiere fluoroscopia.⁹⁷ Por lo tanto, es concebible que el uso de la fluoroscopia se reduzca drásticamente en algún momento en

TABLA 6. Las 10 "mejores prácticas" en protección radiológica de pacientes y personal

Distancia	<ul style="list-style-type: none"> • Ley del cuadrado inverso: al alejarse 3 veces de la fuente, la dispersión disminuye 9 veces. Elevar la mesa del paciente LEJOS de la fuente de rayos X y HACIA el intensificador de imagen tiene el mismo efecto.
Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • La fluoroscopia pulsada (por ejemplo, 7.5 cuadros por segundo) y las pulsaciones cortas del pedal de fluoroscopia son pilares para reducir la radiación innecesaria para el paciente y el personal. Por ejemplo, los casos estándar de coledocolitiasis pueden completarse en tan sólo 0.2 minutos del tiempo de la fluoroscopia.
Protección	<ul style="list-style-type: none"> • Los delantales de plomo equivalente de 0.5 mm atenúan más del 95% de la dispersión de la radiación en la mayoría de las situaciones clínicas. • Los diseños de delantal de dos piezas desplazan el 50% del peso a la cadera, reduciendo así el dolor lumbar. • La colimación mejora la calidad de la imagen y reduce la dosis cutánea de entrada al paciente, lo que a su vez reduce la dispersión para los médicos y el personal.
Ángulo Gantry	<ul style="list-style-type: none"> • La colocación perpendicular del haz de rayos X con respecto a un paciente en decúbito prono o supino (es decir, hacia arriba o hacia abajo) siempre da lugar a la dosis de radiación más baja para el paciente y el personal. Una angulación excesiva puede provocar hasta 10 veces más de exposición a la radiación.
Magnificación	<ul style="list-style-type: none"> • Para cada nivel de aumento, las tasas de dosis se incrementan hasta en un factor de 4.
Otras consideraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Documentar en los informes de procedimiento las métricas de dosimetría que son importantes para el personal (mGy, tiempo de fluoroscopia) y los pacientes (Kerma Área de Producto o área de dosis de producto). Se aconseja realizar auditorías periódicas de control de calidad. • La dispersión es SIEMPRE mayor en el lado del tubo de rayos X. Se trata de una consideración importante para los sistemas de sobrecarga (p. ej., procedimientos fuera del centro que utilizan arcos en C del servicio de urología). • Cuide adecuadamente su plomo. Para evitar grietas microscópicas, no tire el plomo en una pila doblada o arrugada después de su uso. Asegúrese de que el plomo se someta a una inspección de seguridad anual (por ejemplo, una inspección radiográfica por parte del responsable de seguridad radiológica).

el futuro, incluso para la endoscopia intervencionista compleja. Hasta entonces, en la [Tabla 6](#) se lista un compendio de las "mejores prácticas" actuales en materia de seguridad radiológica. El objetivo de este artículo es desmitificar la seguridad de la radiación para la comunidad de endoscopia intervencionista, para la protección de todos los que realizan y reciben estos procedimientos que salvan vidas.

REFERENCIAS

1. Raja AS, Ip IK, Sodickson AD, et al. Utilización de la radiología en urgencias: tendencias de las dos últimas décadas. *AJR Am J Roentgenol* 2014; 203:355-60.
2. Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R, et al. Dosis de radiación asociada a los exámenes comunes de tomografía computarizada y el riesgo atribuible de cáncer asociado a lo largo de la vida. *Arch Intern Med* 2009; 169:2078-6.
3. Miles RC, Lee CI, Sun Q, et al. Patrones de vigilancia por imagen avanzada y pruebas de biomarcadores tumorales en suero tras el lanzamiento de la iniciativa Elegir sabiamente. *J Natl Compr Canc Netw* 2019; 17:813-20.
4. Kim E, McLoughlin M, Lam EC, et al. Análisis prospectivo de la duración de la fluoroscopia durante la CPRE: determinantes críticos. *Endosc Gastrointest* 2010; 72:50-7.
5. Uradom LT, Lustberg ME, Darwin PE. Efecto de la formación del médico en el tiempo de fluoroscopia durante la CPRE. *Dig Dis Sci* 2006; 51:909-4.
6. Jorgensen JE, Rubenstein JH, Goodsitt MM, et al. Las dosis de radiación a los pacientes de CPRE son significativamente menores con endoscopistas experimentados. *Endosc Gastrointest* 2010; 72:58-65.
7. Romagnuolo J, Cotton P. Registro de las métricas de fluoroscopia de la CPRE mediante una red multinacional de calidad: establecimiento de puntos de referencia y examen de las mejoras relacionadas con el tiempo. *Am J Gastroenterol* 2013;108: 1224-30.
8. Sethi S, Barakat MT, Friedland S, et al. Formación en radiación, protección radiológica y prácticas de utilización de la fluoroscopia entre endoscopistas terapéuticos estadounidenses. *Dig Dis Sci* 2019; 64:2455-66.
9. Organismo Internacional de la Energía Atómica. La radiación en la vida cotidiana. Disponible en at: <https://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/radlife> . Consultado el 30 de agosto de 2020.
10. Schueler BA. *The AAPM/RSNA tutorial de física para residentes: visión general de la imagen fluoroscópica*. Radiografía 2000; 204:1115-26.
11. Organismo Internacional de Energía Atómica. IAEA Curso de formación sobre protección radiológica para médicos (no radiólogos, no cardiólogos) que utilizan fluoroscopia (NCNR-L04). Disponible en: <https://www.iaea.org/file/2017/training-doctorsalllectureszip>. Consultado el 30 de agosto de 2020.
12. Kokorowski PJ, Chow JS, Cilento BG, et al. Efecto del control de la fluoroscopia por el cirujano frente al tecnólogo en la exposición a la radiación durante la ureteroscopia pediátrica: ensayo aleatorizado. *J Urol Pediatr* 2018; 144:334. e1-8.
13. Norton I, Bell C, Cho S, et al. El procedimiento fluoroscópico reduce significativamente la irradiación durante la CPRE [resumen]. *Endosc Gastrointest* 2018;87: AB48.

14. Kakodkar S, Haider A, Zamfirova I, et al. Reducción de la exposición a la radiación con fluoroscopia controlada por el endoscopista durante la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE). *Am J Gastroenterol* 2016;111: S175.
15. Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos. Normas de desempeño para productos emisores de radiación ionizante. Disponible en: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?frZ1020.32>. Consultado el 30 de agosto de 2020.
16. Harris AM. Exposición a la radiación del urólogo utilizando una fuente de radiación por encima de la camilla en comparación con una fuente de radiación por debajo de la camilla en la práctica de la urología contemporánea. *Urología* 2018; 114:45-8.
17. Srinivas Y, Wilson DL. Evaluación de la calidad de imagen de la ampliación digital de pantalla plana e intensificador de imagen en fluoroscopia de rayos X. *Med Phys* 2002; 29:1611-21.
18. Mahesh M. The AAPM/RSNA tutorial de física para el residentes de fluoroscopia: aspectos relacionados con la exposición del paciente a la radiación. *Radiografía* 2001; 21:1033-45.
19. Hall E. Física y química de la absorción de radiaciones. En: Hall EJ, Giaccia AJ, eds. *Radiobiología para el radiólogo*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012. p. 3-11.
20. Hall E. Cell survival curves. In: Hall EJ, Giaccia AJ, eds. *Radiobiología para el radiólogo*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012. p. 35-53.
21. Kerrigan K. Fluoroscopia: protección y seguridad radiológicas. Sociedad Americana de Tecnólogos Radiológicos. Disponible en: <http://asrt.mycrowdwisdom.com/diweb/catalog/item/id/48783>. Accessed September 24, 2020.
22. Miller DL, Balter S, Schueler BA, et al. Gestión clínica de radiación para procedimientos intervencionistas guiados fluoroscópicamente. *Radiología* 2010; 257:321-32.
23. Travis E. *Introducción a la radiobiología médica*. 2nd ed. St Louis, MO: Mosby Inc; 2000.
24. Brusin JH. Protección radiológica. *Radiol Tecnol* 2007; 78:378-92; quiz 393-5.
25. Campbell N, Sparrow K, Fortier M, et al. Prácticas de seguridad y protección radiológica para el endoscopista durante la CPRE. *Endoscopia Gastrointestinal* 2002; 55:552-7.
26. Liao C, Thosani N, Kothari S, et al. La exposición de los pacientes a la radiación durante la CPRE es significativamente mayor con endoscopistas de bajo volumen. *Endoscopia Gastrointestinal* 2015; 81:391-8.
27. Uradomo LT, Goldberg EM, Darwin PE. Fluoroscopia de tiempo limitado para reducir la exposición a la radiación durante la CPRE: un ensayo prospectivo aleatorizado. *Endoscopia Gastrointestinal* 2007; 66:84-9.
28. Churrango G, Deutsch JK, Dineen HS, et al. Minimizar la exposición a la radiación durante la CPRE evitando la fluoroscopia en tiempo real o continua. *J Clin Gastroenterol* 2015;49: e96-100.
29. Papp J. *Gestión de la calidad en las ciencias de la imagen*. 2ª edición. St Louis, MO: Mosby Inc; 2002.
30. Organismo Internacional de Energía Atómica. Afiche 10 Perlas: Protección radiológica de los pacientes en fluoroscopia. Disponible en: <https://www.iaea.org/resources/rpop/resources/posters-and-leaflets>. Consultado el 4 de abril de 2021.
31. Carlton RR, Adler AM. *Principios de la imagen radiográfica: Un arte y una ciencia*. 4ª edición. Clifton, NY: Thomson Delmar Learning; 2006.
32. Sherer MAS, Visconti PJ, Ritenour ER, et al. Diseño de equipos de protección radiológica. En: Sherer MAS, et al, ed. *Protección radiológica en radiografía médica*. Maryland Heights, MO: Elsevier; 2004. p. 228-65.
33. Dumonceau JM, Garcia-Fernandez FJ, Verdun FR, et al. *Protección radiológica en endoscopia digestiva: Guía de la Sociedad Europea de Endoscopia Digestiva (ESGE)*. *Endoscopia* 2012; 44:408-21.
34. Bushong S. Gestión de las dosis de radiación ocupacional. En: Carlyle BS, ed. *Ciencia Radiológica para Tecnólogos*. St Louis, MO: Elsevier Mosby; 2013. p. 581-98.
35. Sherer MAS, Visconti PJ, Ritenour ER, et al. Control de la radiación. En: *Protección radiológica en radiografía médica* MAS Sherer, et al, eds. Maryland Heights, MO: Elsevier, p. 83-105.
36. Sherer MAS, Visconti PJ, Ritenour ER, et al. Early efectos deterministas de la radiación en los sistemas orgánicos. In: Sherer MAS, et al, ed. *Protección Radiológica en Radiografía Médica*. Maryland Heights, MO: Elsevier; 2004. p. 157-77.
37. Sherer MAS, Visconti PJ, Ritenour ER, et al. Efectos tardíos deterministas y estocásticos de la radiación en los sistemas orgánicos. En: Sherer MAS, et al, ed. *Protección Radiológica en Radiografía Médica*. Maryland Heights, MO: Elsevier; 2004. p. 178-203.
38. Fazel R, Krumholz HM, Wang Y, et al. Exposición a dosis bajas de radiaciones ionizantes procedentes de procedimientos médicos de diagnóstico por imagen. *N Engl J Med* 2009; 361:849-57.
39. Ofosu A, Ramai D, Sunkara T, et al. El papel emergente del tratamiento endoscópico sin radiación de los trastornos del tracto biliar. *Ann Gastroenterol* 2018; 31:1-5.
40. Binmoeller KF, Nett A. CPRE: ¿ha llegado la hora de quitarse el plomo? *Endoscopia Gastrointestinal* 2017; 86:1066-9.
41. ASGE Comité de Tecnología; Pedrosa MC, Farraye F, Shergill AK, et al. Minimizar los riesgos ocupacionales en endoscopia: equipo de protección personal, seguridad radiológica y ergonomía. *Endoscopia Gastrointestinal* 2010; 72:227-35.
42. Chaffins JA. Protección radiológica y procedimientos en el quirófano. *Tecnología Radiológica* 2008; 79:415-28.
43. Taylor AJ. Impacto de la imagen digital localizada en la fluoroscopia gastrointestinal. *AJR Am J Roentgenol* 1999; 173:1065-9.
44. Sherer MAS, Visconti PJ, Ritenour ER, et al. Gestión de la dosis de radiación del personal de imagen durante los procedimientos de diagnóstico por rayos X. En: Sherer MAS, et

- al, ed. Protección Radiológica en Radiografía Médica. Maryland Heights, MO: Elsevier; 2004. p. 306-36.
45. Seeram E, Travis EL. Protección Radiológica. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins; 1997.
 46. Stueve D. Gestión de la dosis de radiación pediátrica mediante los sistemas de fluoroscopia Philips DoseWise: imagen perfecta, sentido perfecto. *Pediatr Radiol* 2006;(Suppl 2):216-20.
 47. Bushong SC. Energía electromagnética. En: Carlyle BS, ed. Ciencia Radiológica para Tecnólogos. St Louis, MO: Elsevier Mosby; 2013. p. 44-59.
 48. Kicken PJ, Bos AJ. Eficacia de los delantales de plomo en radiología vascular: resultados de las mediciones clínicas. *Radiología* 1995; 197:473-8.
 49. Klein LW, Miller DL, Balter S, et al. Riesgos laborales en el laboratorio intervencionista: es hora de un entorno más seguro. *Radiología* 2009; 250:538-44.
 50. Alexandre D, Prieto M, Beaumont F, et al. Uso de delantales de plomo en quirófanos: lesiones ergonómicas evidenciadas por termografía infrarroja. *J Surg Res* 2017; 209:227-33.
 51. Yaffe MJ, Mawdsley GE, Lilley M, et al. Materiales compuestos para la protección contra los rayos X. *Salud Física* 1991; 60:661-4.
 52. Consejo Nacional de Protección Radiológica y Medidas. Gestión de dosis de radiación para procedimientos médicos intervencionistas guiados por fluoroscopia (Informe 168). Bethesda, MD: Consejo Nacional de Protección Radiológica; 2012. Disponible en: <https://ncrponline.org/publications/reports/ncrp-report-168/> Consultado el 30 de junio de 2021
 53. Chou LB, Cox CA, Tung JJ, et al. Prevalencia del cáncer en mujeres cirujanas ortopédicas en Estados Unidos. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92: 240-4.
 54. Buls N, Pages, Mana F, et al. Exposición del paciente y del personal durante la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica. *Br J Radiol* 2002;75: 435-43.
 55. Niklason LT, Marx MV, Chan HP. Radiólogos intervencionistas: dosis de radiación ocupacional y riesgos. *Radiología* 1993; 187:729-33.
 56. Schueler BA. Protección del operador: cómo y por qué. *Tecnología Vasc Interv Radiol* 2010; 13:167-71.
 57. Lee SY, Min E, Bae J, et al. Tipos y disposición de los protectores tiroideos para reducir la exposición de los cirujanos a la radiación ionizante durante el uso intraoperatorio de la fluoroscopia con arco en C. *Columna vertebral (Phila PA 1976)* 2013;38: 2108-12.
 58. Amis ES, Butler PF, Applegate KE, et al. El Colegio Americano de Radiología publica un libro sobre la dosis de radiación en medicina. *J Am Coll Radiol* 2007;4: 272-84.
 59. Consejo Nacional de Protección Radiológica y Medidas. Recomendaciones sobre los límites de exposición a las radiaciones ionizantes (Informe 91). Bethesda, MD: Consejo Nacional de Protección Radiológica; 1988. Disponible en: <https://ncrponline.org/publications/reports/ncrp-reports-8199/>. Consultado el 30 de junio de 2021.
 60. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, et al. Riesgo de cataratas por radiación en personal de cardiología intervencionista. *Radiat Res* 2010; 174:490-5.
 61. Nicholson R. Nota técnica: la relación entre la posición del televisor y la eficacia y comodidad de las gafas protectoras en los procedimientos fluoroscópicos. *Br J Radiol* 1995; 68:1021-4.
 62. Whitby M, Martin CJ. Dosis de radiación en las piernas de los radiólogos que realizan procedimientos intervencionistas: ¿son motivo de preocupación? *Br J Radiol* 2003; 76:321-7.
 63. Johlin FC, Pelsang RE. Estudio Phantom para determinar la exposición a la radiación del personal médico que participa en la fluoroscopia de la CPRE y su reducción mediante modificaciones del equipo y del comportamiento. *Am J Gastroenterol* 2002; 97:893-7.
 64. Muniraj T, Aslanian HR, Laine L, et al. Ensayo doble ciego, aleatorizado y controlado con simulacro sobre el efecto de un paño atenuador de la radiación en la exposición a la radiación del personal de endoscopia durante la CPRE. *Am J Gastroenterol* 2015; 110:690-6.
 65. Yanch JC, Behrman RH, Hendricks MJ, et al. Aumento de la dosis de radiación en pacientes obesos y con sobrepeso en exámenes radiográficos. *Radiología* 2009; 252:128-39.
 66. Kleinerman R. Riesgos de cáncer tras la exposición a radiaciones diagnósticas y terapéuticas en niños. *Radiol Pediatr* 2006; 36:121-5.
 67. Lee JJ, Lee SK, Kim SH, et al. Eficacia y seguridad de los procedimientos endoscópicos pancreatocobiliares durante el embarazo. *Gut Liver* 2015; 9:672-8.
 68. Magno-Pereira V, Moutinho-Ribeiro P, Macedo G. Desmitificando la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE) durante el embarazo. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 2017; 219:35-9.
 69. Azab M, Bharadwaj S, Jayaraj M, et al. Seguridad de la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE) en el embarazo: revisión sistemática y metaanálisis. *Saudi J Gastroenterol* 2019; 25:341-54.
 70. Tham TCK, Vandervoort J, Wong RCK, et al. Seguridad de la CPRE en el embarazo. *Am J Gastroenterol* 2003; 98:308-11.
 71. Krueger KJ, Hoffman BJ. Exposición a la radiación durante la fluoroscopia gastroenterológica: evaluación del riesgo para las trabajadoras embarazadas. *Am J Gastroenterol* 1992; 87:429-31.
 72. Ratnapalan S, Bona N, Chandra K, et al. Percepciones de los médicos sobre el riesgo teratogénico asociado a la radiografía y la TC durante el embarazo temprano. *AJR Am J Roentgenol* 2004; 182:1107-9.
 73. Poppas A, Cummings J, Dorbala S, et al. Resultados de la encuesta: una década de cambio en la vida profesional en cardiología: informe de 2008 del consejo de mujeres en cardiología del ACC. *J Am Coll Cardiol* 2008; 52:2215-26.
 74. Best PJM, Skelding KA, Mehran R, et al. Documento de consenso del SCAI sobre la exposición a la radiación ocupacional del cardiólogo embarazado y el personal técnico. *EuroIntervention* 2011; 6:866-74.

75. Vu CT, Elder DH. El embarazo y el radiólogo intervencionista en activo. *Semin Intervent Radiol* 2013; 30:403-7.
76. Bushong S. Stochastic effects of radiation. In: Carlyle BS, ed. *Ciencia radiológica para tecnólogos*. St Louis, MO: Elsevier Mosby; 2013. p. 518-36.
77. Recomendaciones de 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Publicación 103 de la CIPR. *Ann ICRP* 2007;37: 1-332.
78. Hall E. Respuesta clínica a los tejidos normales. En: Hall EJ, Giaccia AJ, eds. *Radiobiology for the Radiologist*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012. p. 327-55.
79. Comisión Internacional de Protección Radiológica. Embarazo y radiación médica. *Ann ICRP* 2000; 30:1-43.
80. UNSCEAR. Los efectos hereditarios de las radiaciones. Informe a la Asamblea General con anexo científico. Viena: Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas; 2001. Disponible en: <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2001.html>. Consultado el 30 de junio de 2021.
81. Theocharopoulos N, Damilakis J, Perisinakis K, et al. Exposición ocupacional en el laboratorio de electrofisiología: cuantificación y minimización de la carga de radiación. *Br J Radiol* 2006; 79:644-51.
82. Marx MV, Niklason L, Mauger EA. Exposición a la radiación ocupacional de los radiólogos intervencionistas: un estudio prospectivo. *J Vasc Interv Radiol* 1992; 3:597-606.
83. Berrington de Gonzalez A, Mahesh M, Kim KP, et al. Riesgos de cáncer proyectados a partir de tomografías computarizadas realizadas en Estados Unidos en 2007. *Arch Intern Med* 2009; 169:2071-7.
84. Mettler FA, Bhargavan M, Faulkner K, et al. Estudios radiológicos y de medicina nuclear en los Estados Unidos y en todo el mundo: frecuencia, dosis de radiación y comparación con otras fuentes de radiación-1950-2007. *Radiología* 2009; 253:520-31.
85. Larkin CJ, Workman A, Wright RE. Dosis de radiación a pacientes durante la CPRE. *Endoscopia Gastrointestinal* 2001; 53:161-4.
86. Bhargavan-Chatfield M, Morin RL. Registro del índice de dosis de tomografía computarizada del ACR: actualización de 5 millones de exámenes. *J Am Coll Radiol* 2013; 10:980-3.
87. Bruner A, Sutker W, Maxwell G. Minimización de la exposición de los pacientes a las radiaciones ionizantes de las tomografías computarizadas. *Proc (Bayl Univ Med Cent)* 2009; 22:119-23.
88. Chintapalli KN, Montgomery RS, Hatab M, et al. Gestión de la dosis de radiación: parte 1, minimización de la dosis de radiación en procedimientos guiados por TC. *AJR Am J Roentgenol* 2012;198: W347-51.
89. Little BP, Duong P-A, Knighton J, et al. Un programa integral de reducción de dosis de TC utilizando el registro de índices de dosis ACR. *J Am Coll Radiol* 2015; 12:1257-65.
90. Jacobs AK, Babb JD, Hirshfeld JW, et al. Grupo de trabajo 3: formación en cateterismo cardíaco diagnóstico e intervencionista avalada por la Sociedad de Angiografía e Intervenciones Cardiovasculares. *J Am Coll Cardiol* 2008; 51:355-61.
91. Siau K, Webster G, Wright M, et al. Actitudes ante la seguridad de la radiación y la interpretación del colangiograma en la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE): una encuesta en el Reino Unido. *Frontline Gastroenterol*. Epub 2020 Dec 11.
92. Barakat MT, Thosani NC, Huang RJ, et al. Efectos de un breve programa educativo sobre la optimización de la fluoroscopia para minimizar la exposición a la radiación durante la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica. *Clin Gastroenterol Hepatol* 2018; 16:550-7.
93. Adler DG, Lieb JG, Cohen J, et al. Indicadores de calidad para la CPRE. *Gastrointest Endosc* 2015; 81:54-66.
94. Garg M, Patel P, Blackwood M, et al. Protección del umbral de radiación ocular basada en el tiempo de fluoroscopia durante la CPRE. *Am J Gastroenterol* 2017; 112:716-21.
95. Cote GA, Imler TD, Xu H, et al. Un menor volumen de proveedores se asocia a mayores tasas de fracaso de la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica. *Med Care* 2013; 51:1040-7.
96. Bang JY, Hough M, Hawes RH, et al. Uso de inteligencia artificial para reducir la exposición a la radiación en procedimientos endoscópicos guiados por fluoroscopia. *Am J Gastroenterol* 2020; 115:555-61.
97. Losey AD, Lillaney P, Martin AJ, et al. Catéter endovascular asistido magnéticamente por control remoto para RM intervencionista: navegación in vitro a 1,5 T frente a fluoroscopia de rayos X. *Radiología* 2014;271: 862-9.
98. Organismo Internacional de Energía Atómica. Protección radiológica ocupacional: guía general de seguridad. En: *Dosis Límite*. Viena: Organismo Internacional de Energía Atómica; 2018, p. 335.
99. Schueler BA. Seguridad radiológica para el personal de las salas de fluoroscopia. 2011. Disponible en <https://www.aapm.org/meetings/amos2/pdf/59-1725124323-282.pdf> Consultado el 26 de diciembre de 2020.
100. McCaffrey JP, Shen H, Downton B, et al. Atenuación de las radiaciones por materiales con y sin plomo utilizados en prendas de protección contra las radiaciones. *Med Phys* 2007; 34:530-7.
101. Livingstone RS, Varghese A. Una sencilla herramienta de control de calidad para evaluar la integridad de los delantales equivalentes al plomo. *Indian J Radiol Imagagenologia* 2018;28: 258-62.

Abreviaturas: ABC, control automático del brillo; IA, inteligencia artificial; IAF, fluoroscopia incorporada por inteligencia artificial; ALARA, tan bajo como sea razonablemente alcanzable.

DIVULGACIÓN: *Los siguientes autores revelaron relaciones financieras: K. Kwok, A. Duloy: Compensación por alimentos y bebidas de Boston Scientific Corporation. N. Hasan: Compensación por alimentos y bebidas de Boston Scientific Corporation, Gilead Sciences, Inc, Pfizer Inc, Salix Pharmaceuticals, Shionogi Inc, Merck Sharp & Dohme Corporation, Janssen Biotech, Inc, y AbbVie, Inc. F. Murad: Honorarios de Aries Pharmaceuticals, Inc; remuneración por alimentos y bebidas de Endogastric Solutions, Inc, Aries Pharmaceuticals, Inc, Olympus Corporation of the Americas, Salix Pharmaceuticals, AbbVie, Inc, y Janssen Biotech, Inc. J. Nieto: Consultor de Boston Scientific Corporation y AbbVie, Inc; compensación por viajes de Boston Scientific Corporation y AbbVie, Inc; honorarios de ERBE USA Inc; compensación por comidas y bebidas de Boston Scientific Corporation, AbbVie, Inc, Olympus America Inc, Lumendi LLC, Salix Pharmaceuticals, ERBE USA Inc, Endo Pharmaceuticals Inc, Takeda Pharmaceuticals USA, Inc, Janssen Biotech, Inc, Intercept Pharmaceuticals, Inc, Daiichi Sankyo Inc, Merck Sharp & Dohme Corporation, Apollo Endosurgery US Inc, y Braintree. Laboratorios, Inc. L. Day: Stockholder in 3T Biosciences and Pfizer; expert witness for Boehringer Ingelheim.*

Recibido el 28 de mayo de 2021. Aceptado el 28 de mayo de 2021.

Afiliaciones actuales: Departamento de Medicina, División de Gastroenterología, Kaiser Permanente, Los Ángeles Medical Center, Los Ángeles, California, EE.UU. (1), Departamento de Medicina, División de Gastroenterología, NorthBay Healthcare, Fairfield, California, EE.UU. (2), Departamento de Medicina, División de Gastroenterología, Universidad de Colorado, Anschutz Medical Campus, Aurora, Colorado, EE.UU. (3), Departamento de Gastroenterología, FHN Memorial Hospital, Freeport, Illinois, EE.UU. (4), Departamento de Gastroenterología, Borland Groover Clinic, Jacksonville, Florida, EE.UU. (5), Departamento de Medicina, División de Gastroenterología, Universidad de California, San Francisco y Zuckerberg San Francisco General Hospital, San Francisco, California, EE.UU. (6).

Un agradecimiento especial a Hernando González M.D., Cadman Leggett M.D., Olaya Brewer Gutierrez M.D., Francisco Ramirez M.D., Luis Lara M.D., Félix Téllez Avila M.D. que contribuyeron en la traducción de este documento.

Lea hoy los artículos de prensa en línea
Escanee el código QR o visite www.giejournal.org

Endoscopia Gastrointestinal se publica ahora en línea antes de su aparición en la edición impresa de la revista. Estos artículos están disponibles en el sitio web de *Endoscopia Gastrointestinal*, www.giejournal.org, haciendo clic en el enlace "*Articles in Press*", así como en el sitio web *ScienceDirect de Elsevier*, www.sciencedirect.com. Los artículos en prensa representan el texto final editado de artículos aceptados para su publicación, pero cuya aparición en la revista impresa aún no está prevista. Se consideran publicados oficialmente a partir de la fecha de publicación en la web, lo que significa que los lectores pueden acceder a la información y los autores citar la investigación meses antes de su disponibilidad en versión impresa. Para citar Artículos en prensa, incluya el título de la revista, el año y el identificador de objeto digital (DOI) del artículo, que se encuentra en la nota a pie de página del artículo. Visite *Endoscopia Gastrointestinal* en línea hoy mismo para leer Artículos en prensa y mantenerse al día de las últimas investigaciones en el campo de la endoscopia gastrointestinal.



TABLA 1 SUPLEMENTARIA. Requisitos estatales para obtener la licencia de fluoroscopia, a partir del 19 de diciembre de 2020

Estado	Requisitos de educación de los médicos	Requisitos de examen para los médicos *	Requisitos para la licencia de fluoroscopia médica	Regulación del Estado †	Sitio web
Alabama	Formación específica en fluoroscopia en programas de formación ACGME (al menos 4-8 h)	No	No hay licencia para operadores de equipos de rayos x	AAC 420-3-26-.06	http://www.alabamaadministrativecode.state.al.us/JCARR/JCARR-AUG-14/HLTH%20420-3-26-.06.pdf
Alaska	Formación específica en fluoroscopia (mínimo 10 horas)	No		7 AAC 18.420	https://casetext.com/regulation/alaska-administrative-code/title-7-health-and-social-services/part-2-public-health/chapter-18-radiation-sources-and-radiation-protection/article-4-use-of-radiation-sources-in-the-healing-arts/section-7-aac-18420-instruction-of-medical-radiation-device-operators
"	"	"	"	Proyecto de Ley 29, Capítulo 89, artículo 1, Sec 08.89.100(b)(1)	https://www.akleg.gov/basis/Bill/Text/29?HsidZHB0029A
Arizona	•	No	•	9 AAC 7 R9-7-603	https://apps.azsos.gov/public_services/Title_09/9-07.pdf
Arkansas	6 h de formación continua al año	No	•	ACA §17-106-111	https://www.sos.arkansas.gov/uploads/rulesRegs/Arkansas%20Register/2004/jun_20_04/007.14.04-001.pdf
"	"	"	"	"	https://www.healthy.arkansas.gov/programs-services/topics/frequentlyasked-questions-radiologic-tech
California	10 créditos CE cada 2 años; 4 de 10 créditos en seguridad radiológica para usos clínicos de la fluoroscopia	Si	Sí; permiso de supervisor y operador de California	17 CCR 30403(b)	https://www.cdph.ca.gov/Programs/CEH/D/RESEM/Pages/RHB.aspx
Colorado	Por escrito, documentación de la formación adecuada	No	•	CCR 1007-1, part 2, part 6	https://www.colorado.gov/pacific/sites/default/files/HM_xray-interoperation-of-fluoroscopy-equipment.Pdf
Connecticut	•	No	•	•	https://www.cga.ct.gov/current/pub/chap_370.htm
Delaware	•	No	•	Código Administrativo de Delaware, Título 16, 4465 5.13.1.1	https://regulations.delaware.gov/AdminCode/title16/Department%20of%20Health%20and%20Social%20Services/Division%20of%20Public%20Health/Health%20Systems%20Protection%20(HSP)/4465.shtml
Distrito de Columbia	•	No	No hay licencia para operadores de equipos de rayos x	•	https://dchealth.dc.gov/service/physician-licensing
Florida	•	No	•	Título XXXII 468.301-302	http://www.floridahealth.gov/environmental-health/radiationcontrol/radtech/radtech-faq.html
Georgia	•	No	No hay licencia para operadores de equipos de rayos x	•	https://medicalboard.georgia.gov/initial-physician-licensure
Hawái	•	No	•	•	https://cca.hawaii.gov/pvl/boards/medical/application_publication/

(continúa en la página siguiente)

TABLA 1 SUPLEMENTARIA. Continuación

Estado	Requisitos de educación de los médicos	Requisitos de examen para los médicos *	Requisitos para la licencia de fluoroscopia médica	Regulación del Estado †	Sitio web
Idaho	•	No	No hay licencia para operadores de equipos de rayos x		https://bom.idaho.gov/BOMPortal/BoardAdditional.aspx?Board=BOM&BureauLinkID=930
Illinois	•	No		420 ILCS 40/5	https://www.ilga.gov/legislation/ilcs/fulltext.asp?DocName=042000400K5
Indiana	•	No	•	410 IAC 5.2-2-1	http://ai.org/isdh/files/radiology_rule.pdf
Iowa	n/a	No	•	IAC Cap. 41 Apéndice C	https://idph.iowa.gov/radiologicalhealth/healing-arts
Kansas	•	No	•	•	https://www.kdheks.gov/radiation/10cfrpart36.html
Kentucky	•	No	•	•	https://kbml.ky.gov/physician/Pages/Apply-For-License.aspx
Louisiana	•	No	•	LA Rev Stat § 37:3213b	https://www.isrtbe.org/wp-content/uploads/CHAPTER-45-LRS-37-3200-3221-8-1-20142.pdf
Maine	•	No	•	MRS Titulo 32, Ch 103 x9854.2	https://www.mainelegislature.org/legis/statutes/32/title32ch103.pdf
Maryland	4 h de formación inicial; 1 h de formación Cada 24 meses	No	•	COMAR F.5(n)(2)	https://mde.maryland.gov/programs/Air/RadiologicalHealth/Documents/www.mde.state.md.us/assets/document/air/RH_comar/regs_final_new.pdf
Massachusetts	Capacitación sobre la seguridad en fluoroscopia	No	•	105 CMR 120.405	https://casetext.com/regulation/code-of-massachusetts-regulations/department-105-cmr-department-of-public-health/title-105-cmr-120000-the-control-of-radiation/recordkeeping-requirements/section-120405-fluoroscopic-x-ray-systems
Michigan	•	No	•	•	https://www.michigan.gov/leo/0,5863,7-336-94422_11407_35791-46761-,00.html
Minnesota	•	No	•	Reglas Administrativas de Minnesota 4732.0825	https://www.revisor.mn.gov/rules/4732.0825/
"	"	"	"	"	https://www.health.state.mn.us/communities/environment/radiation/docs/xray/4732info/influorooop.pdf
Mississippi	•	No	•	•	https://www.msbl.ms.gov/sites/default/files/07-2017Administrative%20Code.pdf
Missouri	•	No	No hay licencia para operadores de equipos de rayos x	•	https://health.mo.gov/safety/radprotection/pdf/xray-operatorrequirements.pdf
Montana	•	No	•	•	http://boards.bsd.dli.mt.gov/Portals/133/Documents/med/CHECKLISTS/MED-PHYS-APP_License-App-Checklist.pdf?ver=2018-06-21-094617-420
Nebraska	•	No	•	Nebraska Revisado Estatuto 38-1915	(continúa en la página siguiente)

TABLA SUPLEMENTARIA. Continuación

Estado	Requisitos de educación de los médicos	Requisitos de examen para los médicos *	Requisitos para la licencia de fluoroscopia médica	Regulación del Estado †	Sitio web
Nevada	•	No	•	NRS 653.640	https://www.leg.state.nv.us/NRS/NRS-653.html
New Hampshire	•	No	•	Título XXX Capítulo 328-J:25	http://www.gencourt.state.nh.us/rsa/html/XXX/328-J/328-J-mrg.htm
New Jersey	•	No	•	•	https://www.state.nj.us/dep/rpp/tec/index.htm
Nuevo México	•	No	•	NM Código R § 20.3.20.100	http://164.64.110.134/parts/title20/20.003.0020.html
Nueva York	•	No	•	•	https://www.health.ny.gov/environmental/radiological/faq/radhlthtech.htm
Carolina del Norte	•	No	No hay licencia para operadores de equipos de rayos x	•	https://www.ncleg.gov/BillLookup/2013/S390 (no update after first read)
"	"	"	"	"	https://webservices.ncleg.gov/ViewBillDocument/2013/3435/0/DRH30339-LUfq-68 (no update after first read)
Dakota del Norte	•	No	•	ND Cent Código § 43-62-03	https://www.legis.nd.gov/cencode/t43c62.pdf
Ohio	•	No	•	Código Revisado de Ohio § 4773.02	https://codes.ohio.gov/orc/4773.02
Oklahoma	•	No	No hay licencia para operadores de equipos de rayos x	•	https://pay.apps.ok.gov/medlic/licensing/app/menu.php
Oregón	Todos los operadores necesitan formación adecuada en fluoroscopia; los no radiólogos necesitan colaboración con físico médico o radiólogo para programa de educación y auditorías anuales auditorías de calidad	No	•	OAR 333-106-0205(2)-(4)	https://secure.sos.state.or.us/oard/viewSingleRule.action?ruleVrsnRsnZ273498
Pennsylvania	Formación en fluoroscopia; educación continua cada 2 años (procedimientos alto riesgo); cada 4 años (procedimientos bajo riesgo) ‡	No	•	25 PA Code § 221.16	http://www.pacodeandbulletin.gov/Display/pacode?fileZ/secure/pacode/data/025/chapter221/s221.16.html&dZreduce
Rhode Island	•	No	•	•	https://health.ri.gov/licenses/detail.php?idZ200
Carolina del Sur	•	No	•	Carolina del Sur Código 44-74-40	https://www.scstatehouse.gov/code/t44c074.php
Dakota del Sur	•	No	No licencia de operadores de equipos de rayos X	•	http://www.sdbmoe.gov/
Tennessee	•	No	•	Tennessee Público Capítulo 1029 (Proyecto de Ley del Senado 899), Sección 1, (d)(1)	https://www.tn.gov/content/dam/tn/health/documents/pc1029.pdf

(continúa en la página siguiente)

TABLA 1 SUPLEMENTARIA. Continuación

Estado	Requisitos de educación de los médicos	Requisitos de examen para los médicos *	Requisitos para obtener la licencia de fluoroscopia médica	Regulación del Estado †	Sitio web
Texas	Mandatory requirements for radiation safety awareness training indefinitely suspended (as of 1/13/2015)	No	•	TAC 289.227	https://www.dshs.texas.gov/radiation/laws-rules.aspx
Utah	•	No	•	UT Código § 58-54-102	https://le.utah.gov/xcode/Title58/Chapter54/C58-54_1800010118000101.pdf
Vermont	•	No	•	•	https://www.healthvermont.gov/sites/default/files/documents/pdf/BMP_Board%20Rules%20Effective%202017.pdf
Virginia	•	No	•		https://www.dhp.virginia.gov/medicine/medicine_forms.htm#MedicineandSurgery
Washington	•	No	•		https://wmc.wa.gov/licensing/applications-and-forms/physician-md-application
West Virginia	•	No	•		https://wvbom.wv.gov/practitioners/MD/index.asp
Wisconsin	•	No	•	Wis. Stat. § 462.02(2)(a)	https://docs.legis.wisconsin.gov/statutes/statutes/462
Wyoming	•	No	•		https://radiology.wyo.gov/

CE, Educación continua; h, hora(s); n/a, no se aplica; y, año(s).

Igual que la línea anterior (Alaska, Arkansas, Minnesota, Carolina del Norte)

*Algunos estados pueden aceptar los exámenes ARRT (Registro Americano de Tecnólogos Radiológicos).

†Es importante que el lector confirme a la junta médica de su respectivo estado para obtener información actualizada. Asimismo, la 110ª sesión del Congreso de EE.UU. aprobó una resolución de la Cámara de Representantes

" La Ley de Mejoras de Medicare para Pacientes y Proveedores de 2008" (H.R. 6331), que establece un requisito de acreditación para los servicios avanzados de diagnóstico por servicios de imagenología <https://www.congress.gov/bil/110thcongress/housebill/6331>

‡Procedimiento de alto riesgo = cualquier procedimiento que pueda dar lugar a una dosis cutánea superior a 200 rad (2 Gy); de bajo riesgo = cualquier procedimiento radiográfico que el resultado no sea tales dosis.

• = Sin data