

Exposición ocupacional a radiación ionizante en profesionales gestantes. Documento de consenso de ACI-SEC/ARC-SEC/SERVEI/SENR/SERAM/GeNI



Maite Velázquez Martín^{a,b,*}, Sara Lojo Lendoiro^c, Nina Soto Flores^d, Elvira Jiménez Gómez^e, José María Abadal Villayandre^f, Tomás Datino^{d,g}, Pedro Navia Álvarez^h, Eva María González Díazⁱ, Núria Bargalló Alabart^j, Teresa Bastante Valiente^k, Dabit Arzamendi Aizpurua^l, Javier Martín Moreiras^{b,m} y Belén Cid Álvarez^{b,n}

^a Servicio de Cardiología, Hospital Universitario 12 de Octubre, Instituto de Investigación Sanitaria Hospital 12 de Octubre (imas12), Madrid, España

^b Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Cardiovasculares (CIBERCV), Instituto de Salud Carlos III, Madrid, España

^c Departamento de Radiología, Sección de Radiología Vascular Intervencionista, Complejo Hospitalario Universitario de Ferrol, Hospital Arquitecto Marcide, Ferrol, A Coruña, España

^d Servicio de Cardiología, Hospital Universitario Quirónsalud Madrid y Complejo Hospitalario Ruber Juan Bravo, Madrid, España

^e Servicio de Radiología, Sección de Neurorradiología Diagnóstica y Terapéutica, Hospital Universitario Reina Sofía, Córdoba, España

^f Radiología Vascular Intervencionista, Hospital Universitario Severo Ochoa, Leganés, Madrid, España

^g Departamento de Medicina, Facultad de Medicina, Salud y Deporte, Universidad Europea de Madrid, Villaviciosa de Odón, Madrid, España

^h Departamento de Neurorradiología Intervencionista, Servicio de Radiología, Hospital Universitario La Paz, Madrid, España

ⁱ Departamento de Neurorradiología Intervencionista, Servicio de Radiología, Hospital Universitario de Cruces, Barakaldo, Vizcaya, España

^j Sección de Neurorradiología, Servicio de Radiodiagnóstico, Centre de Diagnòstic per la Imatge, Hospital Clínic, Universitat de Barcelona, Institut de Recerca Biomèdica August Pi i Sunyer (IDIBAPS), Barcelona, España

^k Servicio de Cardiología, Hospital Universitario de La Princesa, Madrid, España

^l Servicio de Cardiología, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona, España

^m Servicio de Cardiología, Hospital Universitario de Salamanca, Instituto de Investigación Biomédica de Salamanca (IBSAL), Salamanca, España

ⁿ Servicio de Cardiología, Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, A Coruña, España

RESUMEN

La exposición a radiaciones ionizantes subyace en la brecha de género existente en subespecialidades intervencionistas. La creencia de que no es posible continuar trabajando en la sala durante el embarazo es percibida como un impedimento para el desarrollo profesional o para llevar a cabo los deseos genéticos. Muchas profesionales desconocen qué dosis de radiaciones ionizantes son deletéreas para el feto, cuál es la dosis recibida si se mantiene la actividad en la sala durante el embarazo y cuál es la normativa vigente. Desde la Asociación de Cardiología Intervencionista de la Sociedad Española de Cardiología (ACI-SEC), la Asociación del Ritmo Cardíaco de la Sociedad Española de Cardiología (ARC-SEC), la Sociedad Española de Radiología Vascular e Intervencionista (SERVEI), la Sociedad Española de Neurorradiología (SENR), la Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM) y la Sociedad del Grupo Español de Neurorradiología Intervencionista (GeNI) se considera necesario este documento informativo y de consenso, para proporcionar a las profesionales el conocimiento necesario para tomar decisiones plenamente informadas en cuanto a la elección o no de una subespecialidad intervencionista y la decisión de mantener o no una actividad con exposición a radiaciones ionizantes durante el embarazo.

Palabras clave: Radiación ionizante. Radiación ocupacional. Embarazo. Subespecialidad intervencionista. Profesionales mujeres.

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: maitevel05@gmail.com; mariateresa.velazquez@salud.madrid.org (M. Velázquez Martín).

X [@shci_sec">@SERVEISoc@saralojo86@Geni_NRI@ritmo_SEC@SERAM_RX@SENR_ORG">@maitevelazquezm">@shci_sec">@SERVEISoc@saralojo86@Geni_NRI@ritmo_SEC@SERAM_RX@SENR_ORG](mailto:@maitevelazquezm)

Recibido el 10 de marzo de 2025. Aceptado el 8 de mayo de 2025. Online el 26 de mayo de 2025.

Full English text available from: <https://www.recintervcardiol.org/en>.

2604-7306 / © 2025 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Permanyer Publications. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND 4.0.

Occupational exposure to ionizing radiation in pregnant staff. Consensus document of ACI-SEC/ARC-SEC/SERVEI/SENR/SERAM/GeNI

ABSTRACT

The gender gap in interventional subspecialties is largely due to concerns about occupational radiation exposure. The belief that it is not possible to continue working in cath labs during pregnancy is perceived by many female physicians as a barrier to develop their career or fulfill their motherhood wishes. Many physicians are unaware of the doses of ionizing radiation that are harmful for the fetus, which is the dose received by women who continue to work in cath labs throughout their pregnancies, or do not know the existing regulations. The Interventional Cardiology Association of the Spanish Society of Cardiology (ACI-SEC), the Heart Rhythm Association of the Spanish Society of Cardiology (ARC-SEC), the Spanish Society of Vascular and Interventional Radiology (SERVEI), the Spanish Society of Neuroradiology (SENR), the Spanish Society of Medical Radiology (SERAM), and the Society of the Spanish Group of Interventional Neuroradiology (GeNI) consider it necessary to draft this informative document and joint position paper to provide female physicians with the necessary knowledge to make fully informed decisions on whether to choose an interventional subspecialty or work exposed to ionizing radiation during their pregnancy.

Keywords: Ionizing radiation. Occupational radiation. Pregnancy. Interventional subspecialty. Female physicians.

Abreviaturas

CSN: Consejo de Seguridad Nuclear. **EURATOM:** Comunidad Europea de la Energía Atómica. **PR:** protección radiológica. **RD:** real decreto. **RI:** radiación ionizante.

INTRODUCCIÓN

El porcentaje de mujeres en subespecialidades con exposición a radiaciones ionizantes (RI) es significativamente menor que el de varones¹⁻⁵ en una sociedad en la que las mujeres superan ampliamente en número a los varones en las facultades de medicina. Solo son mujeres un 25% de los miembros de la Asociación de Cardiología Intervencionista de la Sociedad Española de Cardiología (ACI-SEC)^{6,7}, un 28% de los miembros de la Sociedad Española de Radiología Vascular e Intervencionista (SERVEI)⁸ y un 34,5% de los profesionales acreditados como especialistas en electrofisiología⁹. Así mismo, existen otras sociedades médicas, como la Sociedad del Grupo Español de Neurorradiología Intervencionista (GeNI), donde el porcentaje de mujeres aún es menor, actualmente del 22%.

Una de las razones que condicionan esta brecha de género es la creencia de que no es compatible la actividad laboral con la exposición a RI durante los embarazos¹⁰⁻¹². Hay un desconocimiento sobre las dosis de RI que tienen efectos deletéreos en el feto, la dosis que recibe una trabajadora embarazada que mantiene su actividad en la sala de fluoroscopia y la normativa vigente en este escenario. Además, no hay homogeneidad en los servicios de prevención de riesgos laborales y protección radiológica (PR) de los diferentes centros sanitarios para emitir recomendaciones sobre la aptitud o no de las mujeres para continuar en un puesto de trabajo con exposición a RI una vez que se declara el embarazo. Así, en algunos centros las gestantes pueden continuar trabajando con exposición a RI, mientras que en otros son apartadas de su puesto laboral. Por otro lado, las mujeres que deciden no trabajar con exposición a RI durante el embarazo y cambiar de puesto laboral en sus departamentos durante la gestación también afrontan problemas, ya que su desarrollo laboral y sus retribuciones se ven modificadas durante ese periodo y, en ocasiones, encuentran poco apoyo para la reincorporación al puesto que desempeñaban previamente a la gestación. La confusión, la falta de información y la ausencia de unanimidad de criterio existentes al tener que determinar la ocupación laboral de las profesionales en este periodo influyen en que descarten formarse en estas subespecialidades y en que su desarrollo profesional se vea mermado o enlentecido.

Por estos motivos, desde la ACI-SEC, la Asociación del Ritmo Cardíaco de la Sociedad Española de Cardiología (ARC-SEC), la Sociedad Española de Radiología Vascular e Intervencionista (SERVEI), la Sociedad Española de Neurorradiología (SENR), la Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM) y la Sociedad del GeNI se ha considerado necesario elaborar este documento, no solo informativo, sino también de consenso, en el que se abordan cuáles son las dosis de RI que han demostrado efectos deletéreos en el feto, la dosimetría media que recibe una trabajadora que mantiene la actividad en sala durante el embarazo, cuál es la normativa existente al respecto en España y cuál el asesoramiento y la recomendaciones que, de acuerdo con la evidencia científica disponible y la normativa vigente, se consideran razonables para las profesionales expuestas.

El objetivo de este documento es proporcionar a las profesionales el conocimiento necesario para tomar una decisión plenamente informada en cuanto a la elección o no de una subespecialidad intervencionista y la decisión de continuar o no en su puesto laboral durante la gestación.

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE EN EL FETO

La RI interfiere en la multiplicación celular, en especial en los tejidos con alta tasa de replicación¹³. La exposición a RI durante el periodo fetal puede condicionar retraso del crecimiento intrauterino, malformaciones, tumores e incluso la muerte fetal. El riesgo depende de la magnitud y la distribución temporal de la exposición, así como del momento de la gestación en que ocurre. En la tabla 1 se resumen las reacciones tisulares producidas por la RI en el embrión o el feto, según el periodo gestacional, y el valor umbral de radiación.

La exposición a radiación se mide con la magnitud «dosis absorbida» o kerma, definida como la energía de la radiación recibida por un órgano o tejido por unidad de masa, y se mide en miligray (mGy). Una misma dosis de radiación absorbida puede producir un efecto

Tabla 1. Reacción tisular por radiaciones ionizantes en el embrión o el feto según el periodo gestacional y el valor umbral

| Periodo gestacional | Efecto | Umbral estimado de radiación |
|---|---|---|
| Previo a la implantación (0-2 semanas tras la concepción) | Muerte del embrión o ausencia de efecto | 50-100 mGy |
| Organogénesis (2-8 semanas) | Malformaciones congénitas (esqueléticas, ojos, genitales) | 200 mGy |
| | Retraso del crecimiento | 200-250 mGy |
| 8-15 semanas | Discapacidad intelectual grave (riesgo alto de aparición) | 60-310 mGy |
| | Disminución del cociente intelectual | 20 puntos de cociente intelectual/100 mGy |
| | Microcefalia | 200 mGy |
| 16-25 semanas | Discapacidad intelectual grave (riesgo bajo de aparición) | 250-280 mGy |

Adaptada con permiso de Cheney et al.²¹

biológico distinto según el agente ionizante que la emite, y de ahí el término «dosis equivalente», que es la dosis absorbida corregida por un factor de ponderación y se mide en millisievert (mSv). Dado que el factor de ponderación de la radiación para los rayos X es 1, en este caso la dosis absorbida y la dosis equivalente son numéricamente iguales, siendo 1 mGy de dosis absorbida igual a 1 mSv de dosis equivalente¹⁴.

La RI puede causar efectos deletéreos mediante efectos deterministas y estocásticos. Los efectos deterministas tienen dosis umbral, siendo la intensidad proporcional a la magnitud de la radiación. Son constantes y reproducibles, y se relacionan con dosis moderadas-altas, por daño directo de múltiples líneas celulares. Se recomienda usar el término «reacción tisular»¹⁵ al reflejar mejor el mecanismo del daño y la relación dosis-respuesta. Los efectos estocásticos no tienen dosis umbral, se producen por daño aleatorio en el material genético celular y se manifiestan como alteraciones en su crecimiento y multiplicación. Se asume una relación lineal riesgo-exposición sin umbral mínimo, pero existe mayor incertidumbre para esta relación con niveles bajos de dosis ($< 0,1$ Gy)¹⁵. Su gravedad es independiente de la exposición.

Efectos generales de la radiación en el periodo embrionario y fetal

La evidencia de estos efectos en los humanos procede de estudios longitudinales de supervivientes de catástrofes nucleares, de embarazadas expuestas a radiación médica u ocupacional y de estudios de casos y controles en leucemias y tumores infantiles¹⁶. Los únicos estudios experimentales se han realizado en animales¹³. La magnitud de la exposición es el principal determinante del daño. Así, la irradiación a dosis moderadas-altas puede causar abortos, malformaciones, discapacidad intelectual y retraso del crecimiento intrauterino^{17,18}; a dosis bajas, los resultados son inconsistentes. El daño varía según el momento del embarazo. En las primeras semanas de gestación existe mayor radiosensibilidad; cada órgano presenta unas semanas críticas que coinciden con su organogénesis¹⁹. Con la maduración del feto disminuye progresivamente el daño¹⁸. El fraccionamiento de la dosis produce menos daño que una dosis única de la misma intensidad, pero con menor duración^{18,20}.

Riesgo de daños fetales a dosis moderadas

Se consideran moderadas las dosis entre 100 mGy y 1 Gy. Se han registrado principalmente en desastres nucleares y en procedimientos médicos, como radioterapia. Estas dosis no se alcanzan en las salas de trabajo con fluoroscopia. Hasta la cuarta semana, pueden ser letales dosis de 0,1-0,2 Gy^{13,18}. Dosis superiores a 2 Gy en

cualquier etapa del embarazo se relacionan con muerte fetal²¹. Este efecto es un fenómeno de «todo o nada», donde una agresión suficientemente intensa puede producir la muerte del embrión o ser por completo reparada, dada la alta capacidad de reparación y diferenciación de las células pluripotenciales¹⁷. El umbral de aparición de malformaciones se estima entre 1 y 2 Gy¹⁴, destacando las alteraciones del desarrollo encefálico, oculares, musculosqueléticas y genitales. El periodo más sensible corresponde a las semanas 8-25, seguido de las semanas 16-25. Después de la semana 26, la susceptibilidad del feto disminuye mucho^{20,22}. Dosis > 200 mGy se han relacionado con retraso del crecimiento intrauterino, bajo peso al nacer, menor talla y perímetro craneal disminuido²⁰. También se asocia con dosis altas de radiación la discapacidad intelectual¹⁷. El sistema nervioso central es especialmente radiosensible en las semanas 8-25 de embarazo, en concreto en las semanas 8-15, periodo conocido como «ventana de sensibilidad cortical»¹³. Dosis > 100 mGy se relacionan con un descenso del coeficiente intelectual y riesgo de discapacidad intelectual grave. Este efecto se ha atribuido a la muerte celular directa y a alteraciones en la migración neuronal. La elevada plasticidad y redundancia del tejido cerebral podría ser la causa de la ausencia de efectos por debajo de estas dosis. Dosis < 100 mGy no han demostrado asociación con alteraciones fetales ni abortos²³.

Riesgo de daños fetales a dosis bajas

Se consideran dosis bajas aquellas < 100 mSv, especialmente < 50 mSv. Estas se pueden alcanzar en procedimientos terapéuticos, mientras que las exposiciones ocupacionales, habitar regiones con radiación ambiental ubicua o realizar vuelos transoceánicos con frecuencia conllevan dosis cercanas a cero. La aparición de tumores a lo largo de la vida es su principal efecto estocástico, careciendo de unos valores mínimos seguros^{18,24}. Sin embargo, la confirmación de este efecto y la estimación de su magnitud presentan grandes dificultades metodológicas, debido a su baja incidencia y elevada latencia, así como al bajo número de embarazadas irradiadas¹⁵. Por este motivo, los resultados han sido dispares.

El seguimiento hasta 2012 de las cohortes expuestas a los bombardeos nucleares solo encontró un aumento de la mortalidad por tumores sólidos a partir de la edad adulta en hijas de mujeres expuestas a esta radiación, estimándose una dosis media recibida por estas embarazadas de 123 mGy²⁵. Este hallazgo concuerda parcialmente con los estudios realizados en Europa tras el accidente de Chernóbil, que únicamente encontraron un posible incremento de tumores de tiroides en expuestos *in utero* al escape de iodo radiactivo²⁶, sin encontrar un aumento del riesgo de leucemia infantil²⁷. En otros accidentes nucleares, en estudios de poblaciones próximas a instalaciones nucleares o a pruebas de armas nucleares tampoco

Tabla 2. Aumento del riesgo de malformaciones y de cáncer infantil según la dosis recibida

| Dosis recibida por el embrión o feto (mSv) | Ausencia de malformaciones (%) | Ausencia de cáncer infantil (%) | Ausencia de malformaciones o cáncer infantil (%) |
|--|--------------------------------|---------------------------------|--|
| 0 | 96,00 | 99,93 | 95,93 |
| 0,5 | 95,99 | 99,92 | 95,92 |
| 1 | 95,99 | 99,921 | 95,92 |
| 5 | 95,99 | 99,89 | 95,88 |
| 10 | 95,98 | 99,84 | 95,83 |

Adaptada con permiso de Wagner et al³⁰. La tabla se ha elaborado asumiendo un aumento de dosis por encima de la radiación ambiental existente.

se han encontrado cambios en la incidencia de cáncer infantil¹⁵. Los estudios sobre exposiciones ocupacionales no han demostrado un aumento del riesgo de cáncer tras exposiciones *in utero*, tanto en la industria nuclear²⁸ como en radiología médica²⁹.

Con respecto a la exposición de las embarazadas a pruebas radiológicas, la mayor parte de los estudios son de casos y controles. Una de las fuentes principales fue la *Oxford Survey of Childhood Cancer*, de la que surgieron los primeros trabajos que relacionaron la exposición *in utero* con el cáncer infantil²⁴. Esta investigación permitió estimar un primer exceso absoluto de riesgo de mortalidad por cáncer de 500-650/10.000 personas/año/Gy, actualizado a un exceso de riesgo relativo del 51%/10 mGy para la leucemia y del 46%/10 mGy para otros tumores sólidos¹⁶. En 1982 se utilizaron datos de estos estudios para estimar las probabilidades de cáncer infantil y de malformaciones según el nivel de exposición (**tabla 2**). Estos valores, a día de hoy, son los más utilizados³⁰.

Una revisión de los principales estudios encontró una asociación entre irradiación *in utero* y leucemias o tumores sólidos, principalmente en las cohortes de mayor antigüedad³¹. Sin embargo, los estudios de carácter longitudinal en cohortes de embarazadas tras una prueba radiodiagnóstica presentaron resultados no significativos³².

Estudios experimentales en ratones han encontrado un aumento del cáncer de ovario con dosis únicas de 0,25 Gy³³, y de linfoma con dosis únicas de 0,18 Gy³⁴. Otros estudios, sin embargo, no han encontrado ningún cambio en la incidencia con dosis incluso de 2-3 Gy, aunque sí cuando estas dosis se administraban tras el nacimiento³⁵.

NORMATIVAS EUROPEA Y ESPAÑOLA

La exposición de los trabajadores a RI está regulada por organismos nacionales e internacionales. La Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) es un organismo público europeo que coordina los programas de investigación de energía nuclear y elabora normativa según las guías del Organismo Internacional de Energía Atómica, el cual se basa en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Esta última es una organización autónoma compuesta por expertos en radioprotección. La Unión Europea, en el tratado EURATOM, establece la normativa sobre PR exigida a sus Estados miembros, y estos posteriormente la trasponen a sus respectivas legislaciones.

En España, el único organismo competente en materia de seguridad nuclear y PR es el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), ente independiente de la Administración General del Estado, que regula el

funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas, y propone reglamentación y normativa. Sus instrucciones tienen carácter vinculante tras ser publicadas en el Boletín Oficial del Estado.

En 2013, la Comisión Internacional de Protección Radiológica elaboró las guías de PR en cardiología, que adoptó la Directiva 2013/59 EURATOM³⁶. En estas guías y en el artículo 10 de la Directiva del EURATOM se afirma que el embarazo no implica la exclusión de la mujer de su puesto laboral, sino que se deben evaluar cuidadosamente las condiciones de trabajo para garantizar el límite seguro de 1 mSv para el feto durante todo el embarazo. Se establece este límite en 1 mSv porque se considera que la protección del feto debe ser comparable a la de cualquier persona, que no debe recibir más de 1 mSv en 1 año como consecuencia de la actividad derivada de la operación de las instalaciones nucleares y radiactivas. La trasposición de la normativa europea en nuestro país se plasma en forma de reales decretos (RD). Los RD aplicables a la exposición ocupacional de las trabajadoras gestantes son el RD 298/2009³⁷ y el RD 1029/2022³⁸. El primero de ellos incorporó el Anexo VIII, que detalla una lista de agentes a los cuales no podrá haber riesgo de exposición por parte de trabajadoras embarazadas, entre los que figuran las RI. Se especifica que la trabajadora embarazada no podrá realizar actividades que supongan riesgo de exposición a dichos agentes cuando, de acuerdo con las conclusiones obtenidas de la evaluación de riesgos, ello pueda poner en peligro su salud o la del feto. El segundo RD, en su artículo 12, traspone literalmente el artículo 10 de la Directiva EURATOM, estableciendo el mismo límite de 1 mSv durante el embarazo. Este RD deroga los RD previos 783/2001 y 413/1997 sobre protección de trabajadores en riesgo de exposición a RI, así como todas las normas de igual o inferior rango en lo que contradigan o se opongan a lo dispuesto en este RD.

El CSN aprobó en 2016 el documento «Protección de las trabajadoras gestantes expuestas a RI en el ámbito sanitario»³⁹. En él se especifica que, «como norma general, la condición de embarazo de una profesional expuesta no presupone su retirada del trabajo; lo que sí es necesario es revisar las condiciones del mismo para cumplir con la normativa vigente», y que «la trabajadora embarazada no podrá realizar actividades que supongan riesgo de exposición a RI cuando, de acuerdo con las conclusiones obtenidas en una evaluación de riesgos, pueda existir peligro para su seguridad, su salud, la del niño o la del feto». También determina que «desde que una mujer embarazada comunica su estado, la protección del feto debe ser comparable a la del resto de la población. Por ello, la dosis equivalente al feto debe ser tan baja como sea posible (criterios ALARA, *as low as reasonably achievable*)¹³, de forma que sea improbable que exceda 1 mSv, al menos desde la comunicación de su estado hasta el final del embarazo». Esta dosis de 1 mSv se establece para 1 cm de profundidad, pero la profundidad a la que se encuentra el feto es mayor y se produce una atenuación de la dosis por la pared abdominal y el útero. Según algunos modelos, la dosis recibida por el feto es el 0,27% de la medida en el dosímetro de superficie en el primer trimestre, el 0,23% en el segundo y el 0,17% en el tercero. Así, el CSN establece que, en la práctica, el límite durante el embarazo es de 2 mSv en el dosímetro de abdomen, que correspondería a una dosis equivalente recibida por el feto de 1 mSv^{14,40,41}.

MEDIOS DE PROTECCIÓN FRENTE A RADIACIÓN IONIZANTE

La exposición a RI requiere medidas de PR, tanto para el personal sanitario como para los pacientes⁴². Las profesionales gestantes deben implementar medidas extraordinarias.

Uso de equipos de protección personal

Los delantales de plomo son una barrera primaria que protege los órganos más sensibles a la radiación. Están diseñados para absorber

y dispersar la radiación, reduciendo significativamente la dosis que recibe el personal. El delantal plomado, compuesto de chaleco y falda, con un espesor de plomo de 0,25 mm, es suficiente durante la gestación, ya que el solapamiento de las 2 capas de la falda en la pared anterior del abdomen confiere una protección equivalente a 0,5 mm, atenuando el 98% de la radiación dispersa (principal fuente de radiación). Según crece el abdomen se debe cambiar a un delantal mayor, para asegurar la doble capa en la pared anterior del abdomen. Existen delantales específicos para embarazadas que añaden a la doble capa de la falda una capa extra en la pared anterior del abdomen. Durante el primer trimestre se pueden adherir internamente a la falda plomada protectores gonadales plomados de 0,5 mm^{14,43,44}. Añadir faldas o delantales adicionales reduciría mínimamente la radiación y podría conllevar problemas musculoesqueléticos. Tanto en la gestación como durante la lactancia se debe asegurar una protección completa de las mamas, al ser un tejido especialmente radiosensible; para ello, se deben utilizar delantales de la talla adecuada a cada trabajadora, evitando áreas descubiertas en la zona axilar que puedan dejar expuestas las mamas.

Capacitación y formación continua en PR

El personal sanitario debe conocer los riesgos y las medidas de protección disponibles. Trabajar lo más alejado posible de la fuente de radiación, elevar la mesa lo máximo y ser lo más eficiente posible con las dosis de radiación emitidas son medidas básicas en cualquier circunstancia. Las trabajadoras gestantes evitarán, si es factible, participar en procedimientos largos, por la exposición a RI y por la bipedestación estática prolongada. Así mismo, dado que el embrión o feto es más radiosensible en las primeras semanas de gestación, es razonable abstenerse de participar en exploraciones con exposición a RI durante el primer trimestre.

El diseño del entorno de trabajo es crítico. Las salas de fluoroscopia deben estar equipadas con barreras plomadas y mamparas protectoras, para minimizar la exposición y reducir la cantidad de radiación dispersa. Son una herramienta de protección indispensable durante el embarazo, pues atenúan el 99% de la radiación dispersa y reducen la exposición a la radiación global en un 50-75%^{43,45,46}.

Por último, la monitorización de la exposición a la radiación es una medida esencial. Los dosímetros personales permiten el seguimiento continuo de la dosis de radiación recibida y registran la exposición acumulada. Controlan que las dosis permanecen dentro de los límites establecidos por la normativa y ayudan a identificar situaciones de riesgo que requieren medidas de corrección. El historial de la exposición acumulada de cada trabajador permite identificar tendencias. En el caso de las embarazadas, existen dosímetros con lectura en tiempo real^{45,47} que permiten confirmar que en ningún caso se supera la dosimetría permitida, tanto a lo largo del mes como de forma puntual. El dosímetro personal se debe cambiar mensualmente y hay que llevarlo en el lugar adecuado; para el dosímetro de abdomen, será debajo del delantal plomado para registrar la dosis equivalente que se recibe debajo de él. Un uso incorrecto del dosímetro impide que los servicios de PR evalúen la dosis que la trabajadora recibe en su trabajo habitual y, en consecuencia, si puede continuar trabajando durante el embarazo o no.

RADIACIÓN DE FONDO, OTRAS RADIACIONES DE LA VIDA DIARIA Y DOSIS OCUPACIONAL

El conocimiento de las dosis recibidas por la población permite poner en perspectiva las dosis ocupacionales. La exposición anual promedio a la radiación de fondo oscila entre 1 y 2,3 mSv¹⁴; esta radiación proviene del radón del aire, la radiación cósmica del espacio y la radiactividad natural del suelo y los materiales de construcción. El

radón es un gas radiactivo que emiten el suelo y las rocas, y representa el 50% de la dosis anual de radiación a la que está expuesta una persona, aproximadamente 1,3 mSv⁴⁸. Materiales radiactivos de la corteza terrestre, como el uranio, el torio y el potasio, representan una exposición anual promedio de 0,5 mSv. La radiación cósmica, de partículas de alta energía del espacio exterior que penetran la atmósfera, supone una exposición promedio anual de alrededor de 0,3 mSv a nivel del mar. En un vuelo de larga duración, la radiación media es de unos 0,003-0,0097 mSv/h⁴⁹. La radiación interna proviene de isótopos radiactivos presentes en los alimentos y el agua, como el potasio-40 y el carbono-14, y genera una dosis promedio de radiación absorbida de 0,3 mSv al año^{50,51}. La radiación de fondo es variable según la zona donde se viva; por ejemplo, en algunos lugares de Galicia se alcanzan 1,45 mSv anuales de radiación ambiental⁵². Considerando estos datos y la información dosimétrica de trabajadoras que han mantenido su actividad en sala durante el embarazo, la dosis ocupacional recibida durante el embarazo puede ser incluso menor que la dosis recibida como consecuencia de la radiación de fondo^{25,27,53,54}. Igualmente, un vuelo transatlántico de ida y vuelta puede exponer a una persona a 0,1 mSv debido a la radiación cósmica a gran altitud. Esta dosis de RI es similar a la de una radiografía de tórax y mayor que las dosis que han recibido la mayoría de las mujeres intervencionistas que han mantenido el trabajo en sala durante todo el embarazo⁴⁵ (figura 1).

Con respecto a las dosis ocupacionales, los informes periódicos que emite el CSN permiten conocer la dosis que reciben los trabajadores expuestos a RI en España. Según estos, en el año 2023 se controlaron dosimétricamente 127.234 trabajadores en España⁵⁵, de los cuales el 96% recibieron < 1 mSv, siendo 0,6 mSv/año la dosis media recibida por los trabajadores de instalaciones de radiodiagnóstico médico. Aun así, para poder tomar una decisión fundamentada es necesario saber qué dosis reciben las mujeres intervencionistas que mantienen su actividad en sala durante la gestación. En la tabla 3 se recogen las dosis comunicadas mediante cuestionarios o entrevistas directas a mujeres que han seguido trabajando en sala durante el embarazo; aunque se trata de una información muy limitada, por el escaso número de trabajadoras embarazadas expuestas, las dosis registradas en los dosímetros de abdomen son < 1 mSv en todos los casos^{12,43,45}.

No obstante, la dosis recibida por una trabajadora depende del número y del tipo de procedimientos realizados, de si es o no la operadora principal, de la masa corporal del paciente, del tiempo de fluoroscopia-cine, de aspectos técnicos del equipo de rayos y de las medidas de radioprotección adoptadas. Por ello, si la trabajadora decide mantener la actividad en sala durante el embarazo, se puede reducir la dosis recibida modificando la actividad habitual, manteniéndola en el mínimo posible, por debajo del máximo permitido por la normativa vigente. Con respecto a las guardias, al tomar la decisión de continuar realizándolas o no durante la gestación, la trabajadora deberá tener en consideración que la mayoría de los procedimientos realizados durante estas serán terapéuticos, y que algunos de ellos se pueden prolongar, conllevando mayor exposición y largo tiempo de bipedestación.

DISCUSIÓN

Una de las labores de las sociedades científicas es dar respuesta a los problemas y las preocupaciones de los profesionales a quienes representan, así como favorecer iniciativas que reduzcan el sesgo de género en la actividad laboral. Según se desprende de encuestas y trabajos publicados, la exposición ocupacional a RI es uno de los motivos que condicionan un sesgo de género en subespecialidades como la cardiología intervencionista, la electrofisiología o la radiología intervencionista^{1,56}. La creencia de que las trabajadoras embarazadas no pueden desarrollar una actividad con exposición

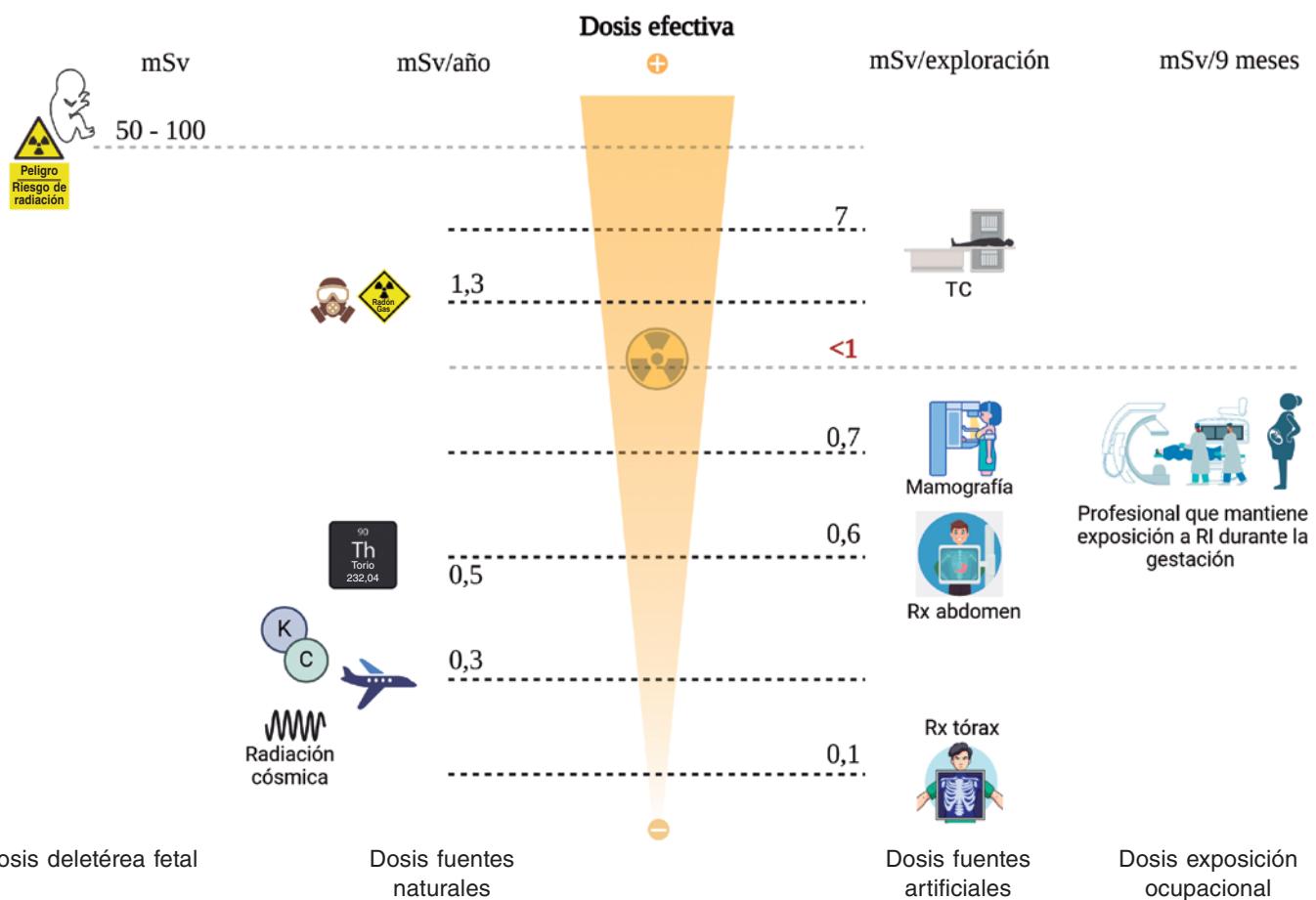


Figura 1. Figura central. Comparación entre dosis de radiación ionizante que producen efectos estocásticos o determinísticos en el feto, dosis secundarias a fuentes de radiación naturales o médicas, y dosis ocupacionales¹⁴. (Creado con BioRender.) RI: radiación ionizante; Rx: rayos X; TC: tomografía computarizada.

Tabla 3. Datos publicados sobre dosis ocupacionales de trabajadoras embarazadas con exposición a radiación ionizante

| País | N.º embarazos/n.º intervencionistas | Protección utilizada | Dosis recibida durante la gestación | Desenlace |
|---------------|--|--|--|--|
| España | 15 embarazos/11 cardiólogas intervencionistas o electrofisiólogas | Chaleco + falda estándar 7/15 Falda extra o protección gonadal adicional 8/15 | Dosis de fondo 8/15 0,2 mSv 2/15 < 1 mSv 3/15 No comunicado 2/15 | 14/15 gestaciones normales, 1/15 insuficiencia placentaria |
| Francia | 8 embarazos/5 cardiólogas intervencionistas o electrofisiólogas | Chaleco + falda estándar 5/8 Pantalla protectora adicional móvil 3/8 | Dosis de fondo 7/8 0,2 mSv 1/8 | 8/8 gestaciones normales |
| Nueva Zelanda | Descritos casos aislados de gestaciones en cardiólogas intervencionistas y electrofisiólogas | Información no disponible en el trabajo | Descripción monitorización mensual con dosímetro de abdomen claramente bajo el límite de dosis | Comunicadas todas las gestaciones normales |
| Australia | 21 embarazos/11 cardiólogas intervencionistas o electrofisiólogas | 2 embarazos estuvieron fuera de la sala durante 6-9 semanas | Descripción monitorización mensual con dosímetro de abdomen claramente bajo el límite de dosis | Comunicados desenlaces comparables a los de la población no expuesta |

ocupacional a RI hace que las profesionales perciban dificultades en estas subespecialidades para conciliar el desarrollo profesional con la maternidad, lo que comporta que ellas mismas se autoexcluyan. Sin embargo, considerando la revisión de las dosis que han demostrado efectos biológicos en el feto^{25-27,53,54}, no existe riesgo de aborto con dosis recibidas < 50 mSv ni riesgo de efectos

deterministas, como malformaciones o discapacidad intelectual, con dosis < 60 mSv^{18,23}. No podemos olvidar que la tasa de aborto espontáneo precoz en los embarazos conocidos por las mujeres es del 10-20%⁵⁷, y se trata de un hecho multifactorial. Igualmente, con respecto a los efectos estocásticos, no hay evidencia de un aumento del riesgo con dosis < 50 mSv^{15,27}.

La exposición ocupacional a RI durante el embarazo está regulada en Europa por directivas que tienen en cuenta las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. En España, la normativa que regula la dosis que puede recibir el feto como consecuencia de la actividad ocupacional de la madre durante el embarazo está recogida en varios RD y ha sido elaborada siguiendo las recomendaciones del CSN³⁷⁻³⁹. El feto es considerado un miembro más de la población general y, al igual que cualquiera, no puede recibir más de 1 mSv/año. Este postulado es uno de los más conservadores, ya que la Comisión Internacional de Protección Radiológica establece este límite de 1 mSv para el feto y el National Council on Radiation Protection and Measurements establece un límite máximo para el feto de 5 mSv⁵⁸. Esto se debe a que los empleadores estadounidenses priorizan los derechos de las trabajadoras embarazadas desde una perspectiva antidiscriminatoria, mientras que las políticas de legislación europea priorizan la seguridad del feto. Australia e Israel también establecen el límite de 1 mSv durante todo el embarazo, mientras que Japón establece un límite máximo de 2 mSv⁴⁵.

Tanto los efectos deterministas como los estocásticos presentan un umbral de aparición varios órdenes de magnitud superiores a las dosis ocupacionales, y están muy alejados de las dosis que han recibido las profesionales que han mantenido la actividad en sala durante el embarazo, ya que en ninguno de los trabajos publicados la dosis recibida ha sido > 1 mSv⁴⁵. En la tabla 2 se muestra el riesgo espontáneo de malformaciones congénitas en recién nacidos (4%) y la probabilidad espontánea de que un niño desarrolle cáncer en la infancia (0,07%). El incremento en la probabilidad de que el feto tenga una malformación al nacer o desarrolle cáncer en la infancia si recibe 1 mSv durante la gestación sería del 0,008% sobre el riesgo espontáneo, es decir, un aumento del riesgo sumamente bajo³⁰.

En Europa, Austria, Hungría, Italia, Portugal y Rumanía no han traspuesto la directiva EURATOM a su normativa y no permiten a las mujeres trabajar en la sala durante el embarazo⁴⁵. Además, en España, los servicios de prevención de riesgos laborales y PR de algunos centros, basándose en el Anexo VIII del RD de 2009³⁷, declaran a la trabajadora «no apta» para continuar en su puesto laboral durante el embarazo. Sin embargo, esta medida no estaría justificada por varios motivos. En primer lugar, porque en el RD de 2009 se especifica que la trabajadora embarazada no podrá realizar actividades que supongan un riesgo de exposición cuando, de acuerdo con las conclusiones obtenidas de la evaluación de riesgos, ello pueda poner en peligro su seguridad o su salud o la del feto, cosa que no ocurre si se respeta el límite de dosis de 1 mSv. En segundo lugar, porque el RD de 2022 establece que las condiciones de trabajo de la embarazada serán tales que la dosis equivalente al feto sea tan baja como sea razonablemente posible, de manera que dicha dosis no exceda de 1 mSv, al menos desde la comunicación de su estado hasta el final del embarazo, lo que implica que es posible continuar trabajando durante el embarazo si no se supera dicho límite. Un tercer motivo sería que, tal como se desprende de la guía de vigilancia de la salud para la prevención de riesgos laborales elaborada por el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, el modo preferente de comunicar los resultados de la vigilancia de la salud, desde una perspectiva de prevención de riesgos laborales, es en forma de recomendaciones preventivas⁵⁹. Este documento solo considera que se debe aplicar la calificación de «no apto» cuando exista una probabilidad alta de daño a la salud del trabajador o de terceros y no sea posible una adaptación del puesto, recomendando en todos los demás supuestos la calificación de «aptó con medidas de adaptación»⁵⁹. Como hemos visto, en el caso de la exposición ocupacional a RI, la probabilidad de daño a la salud de terceros (feto) no es alta, ya que las dosis ocupacionales son < 1 mSv, y además es posible realizar adaptaciones del puesto dotando a la trabajadora de un dosímetro de

abdomen incluso con lectura en tiempo real para monitorizar estrechamente la dosis que recibe, aumentando la protección con un delantal plomado específico para embarazadas o con protectores gonadales, e incluso excluyendo a la embarazada de procedimientos asociados con dosis de RI elevadas, pero manteniendo su actividad habitual en la sala. Por ello, la calificación que se debería dar a las trabajadoras expuestas a RI cuando se quedan embarazadas es «aptó con medidas de adaptación»⁵⁹.

Hay que tener presente, además, que la declaración de «no apto» para el desarrollo de su puesto laboral durante el embarazo aparta a la profesional de su entorno de trabajo habitual e interrumpe los proyectos de trabajo y los procedimientos en los que participa y desarrolla. En ocasiones, además, tras el embarazo y la baja maternal no se les facilita la reincorporación a los proyectos profesionales que desarrollaban en sus departamentos antes de la gestación. Todo ello supone una situación de desigualdad laboral, un enlentecimiento del desarrollo profesional y una pérdida de oportunidades respecto a sus compañeros varones, perjuicio no justificado si nos atenemos a la evidencia científica y a la normativa vigente en nuestro país.

Por ello, deben realizarse más esfuerzos por parte de las sociedades científicas, del CSN y del Ministerio de Sanidad para fomentar la difusión del conocimiento sobre los efectos deletéreos de las RI, las dosis que los producen y las dosis a las que están expuestas las embarazadas con exposición ocupacional. Son necesarias iniciativas dirigidas a reconocer, visibilizar e intentar solventar las dificultades con las que se encuentran estas profesionales, y se requiere implicar a los responsables del Ministerio de Trabajo, del que dependen los servicios de prevención de riesgos laborales, para concienciarles sobre la necesidad de modificar o clarificar la normativa, de manera que no haya dudas sobre la ausencia de impedimentos legales para que la profesional que lo deseé pueda continuar trabajando en sala durante el embarazo, si el departamento de PR lo considera viable basándose en su historial de dosimetrías.

En cualquier caso, en el momento de tomar una decisión en este sentido, hay que tener en cuenta que la información sobre la dosis recibida por las trabajadoras que han mantenido su actividad en sala durante el embarazo procede de un número reducido de hemodinamistas y electrofisiólogas, y que la información se ha obtenido mediante encuestas y datos observacionales. Es también importante destacar que hay pocos estudios sobre la salud de los descendientes de mujeres que han mantenido una actividad con exposición a RI durante el embarazo, y los datos disponibles no son concordantes debido al escaso número de mujeres radiadas y la baja incidencia y la elevada latencia de los efectos. Igualmente, el valor de 1 mSv no debe ser considerado como un límite reglamentario estricto; lo que se debe intentar es que, una vez que la trabajadora ha notificado el embarazo, sus condiciones laborales sean tales que hagan improbable que el feto pueda recibir una dosis > 1 mSv durante el resto del embarazo.

La decisión de mantener la actividad en sala, así como las guardias, durante el embarazo, debe ser tomada libremente por la trabajadora tras consultar con sus profesionales de salud, y basada en información científica, su historial dosimétrico, su estado físico y emocional, y el uso correcto de las medidas de PR. Esta elección puede tener implicaciones tanto físicas (exposición a dosis no deseadas de radiación ionizante o molestias musculoesqueléticas por el uso del delantal plomado) como emocionales. En este sentido, es importante recordar que un 10-20% de los embarazos concluyen en aborto espontáneo, por causas en su mayoría multifactoriales y a menudo desconocidas, no atribuibles necesariamente a la exposición ocupacional a radiación. Esta situación puede dar lugar a un sentimiento de «culpa retrospectiva», al igual que la posible aparición de problemas médicos en el feto o el niño, incluso aunque no exista

evidencia científica que relacione dicha condición con la exposición ocupacional. Por ello, es una realidad que tomar la decisión conlleva una gran carga emocional silenciosa y un importante conflicto interno, debiendo estar libre de presiones externas y acompañarse de un apoyo emocional adecuado para todas las gestantes, sea cual sea su decisión.

Dado que la normativa vigente permite que las trabajadoras gestantes continúen en su puesto siempre que se respeten los límites de dosis, pero también contempla la posibilidad de solicitar una adaptación del puesto sin exposición a radiación, es fundamental preservar la libertad de decisión de cada mujer, evitando que sea apartada de la sala contra su voluntad y garantizando, en todos los casos, un entorno laboral seguro y comprensivo. Para quienes opten por no estar expuestas a radiación durante la gestación, se debe facilitar no solo la adaptación del puesto, sino también la reincorporación plena a su rol y proyectos previos tras la baja maternal, incluyendo la formación en aquellas técnicas que se hayan incorporado durante su ausencia.

Fomentar esta flexibilidad y el apoyo institucional es clave para evitar la discriminación por razón de sexo y para atraer y retener talento femenino en subespecialidades intervencionistas, en las que las mujeres aún son minoría. La radiación ocupacional no se debe percibir como un factor incompatible *per se* con el embarazo, sino como una circunstancia gestionable desde la autonomía, el conocimiento, la seguridad para el feto y el respeto.

CONCLUSIONES

El miedo a los efectos de la RI en el feto es uno de los motivos por los que muchas profesionales desestiman formarse en una subespecialidad intervencionista. Sin embargo, la directiva europea y la legislación vigente en España afirman que el embarazo no implica la exclusión de la embarazada de su puesto laboral, siempre que se proteja al feto igual que a cualquier otra persona y limitando a 1 mSv la dosis máxima que puede recibir durante la gestación como consecuencia de la actividad ocupacional de la madre.

Las dosis que reciben las profesionales que mantienen su actividad con exposición a RI durante el embarazo no superan en ninguno de los estudios publicados el límite de 1 mSv, situándolas en un orden de magnitud 50 o 100 veces inferiores a las que han demostrado efectos deletéreos en el feto. Los dosímetros de abdomen permiten monitorizar estrechamente las dosis que reciben las trabajadoras con exposición ocupacional a RI, asegurando que no se supera el límite establecido por la normativa. Por ello, según el CSN, cualquier trabajadora con exposición ocupacional a RI, con unas condiciones laborales en las que sea improbable que el feto reciba una dosis > 1 mSv, puede sentirse segura en su puesto de trabajo siempre que siga responsablemente las recomendaciones del departamento de PR y utilice de manera adecuada el dosímetro de abdomen.

FINANCIACIÓN

El presente trabajo no ha sido financiado por ninguna organización.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Al no ser un trabajo experimental, sino un artículo de revisión y opinión, no ha sido necesario tener en cuenta las recomendaciones internacionales sobre investigación clínica ni haberlo presentado a los comités éticos de los centros a los que pertenecen los autores. No se ha recogido consentimiento informado por no ser un trabajo

realizado con pacientes. No procede hacer un análisis de posibles sesgos de sexo y género debido a que se centra solo en trabajadoras de sexo femenino y en la exposición ocupacional a RI durante el embarazo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

M. Velázquez Martín, S. Lojo Lendoiro, B. Cid Álvarez y T. Bastante Valiente han contribuido en la concepción y el diseño del trabajo. M. Velázquez Martín, S. Lojo Lendoiro, Nina Soto, T. Bastante Valiente y B. Cid Álvarez han contribuido en la redacción del texto. Todos los autores han hecho una revisión crítica del contenido intelectual y han dado su aprobación final a la versión que se publica. Igualmente, todos los autores aceptan la responsabilidad de todos los aspectos del artículo y se comprometen a investigar y resolver cualquier cuestión relacionada con la exactitud y la veracidad de cualquier parte del trabajo.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

BIBLIOGRAFÍA

- Manzo-Silberman S, Piccaluga E, Radu M, et al. Radiation protection measures and sex distribution in European interventional catheterisation laboratories. *EuroIntervention*. 2020;16:80-82.
- Abdulsalam N, Gillis AM, Rzeszut AK, et al. Gender Differences in the Pursuit of Cardiac Electrophysiology Training in North America. *J Am Coll Cardiol*. 2021;78:898-909.
- Wang TY, Grines C, Ortega R, Dai D, Jacobs AK, Skelding KA, et al. Women in interventional cardiology: Update in percutaneous coronary intervention practice patterns and outcomes of female operators from the National Cardiovascular Data Registry®. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2016;87: 663-668.
- Burgess S, Shaw E, Ellenberger K, Thomas L, Grines C, Zaman S. Women in Medicine: Addressing the Gender Gap in Interventional Cardiology. *J Am Coll Cardiol*. 2018;72:2663-2667.
- Tamirisa KP. Women and cardiac electrophysiology as a career path. *Heart Rhythm Case Rep*. 2023;9:267.
- Cid Álvarez AB. Mujer, cardiología y subespecialidades intervencionistas. *REC: CardioClinics*. 2022;58:70-71.
- Bastante T, Arzamendi D, Martín-Moreiras J, et al. Spanish cardiac catheterization and coronary intervention registry. 33rd official report of the Interventional Cardiology Association of the Spanish Society of Cardiology (1990-2023). *Rev Esp Cardiol*. 2024;77:936-946.
- Lojo Lendoiro S, Moreno Sánchez T. Radiación ocupacional y embarazo: realidad o desinformación. Revisión en la literatura y actualización según guías clínicas vigentes. *Radiología*. 2022;64:128-135.
- Portwood Cl. Reasons and resolutions for gender inequality among cardiologists and cardiology trainees. *Br J Cardiol*. 2023;30:13.
- Capranzano P, Kunadian V, Mauri J, et al. Motivations for and barriers to choosing an interventional cardiology career path: results from the EAPCI Women Committee worldwide survey. *EuroIntervention*. 2016;12:53-59.
- Buchanan G, Ortega R, Chieffo A, Mehran R, Gilard M, Morice MC. Why stronger radiation safety measures are essential for the modern workforce. A perspective from EAPCI Women and Women as One. *EuroIntervention*. 2020;16:24-25.
- Adeliño R, Malaczynska-Rajpold K, Perrotta L, et al. Occupational radiation exposure of electrophysiology staff with reproductive potential and during pregnancy: an EHRA survey. *Europace*. 2023;25:eua216.
- Valentin J. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus): ICRP Publication 90 Approved by the Commission in October 2002. *Ann ICRP*. 2003;33:1-206.
- Saada M, Sanchez-Jimenez E, Roguin A. Risk of ionizing radiation in pregnancy: just a myth or a real concern? *Europace*. 2022;25:270-276.
- National Council on Radiation Protection and Measurements. Report No. 174 - Preconception and Prenatal Radiation Exposure: Health Effects and Protective Guidance (2013). Bethesda, MD: NCRP; January 30, 2018.

- Disponible en: <https://ncrponline.org/shop/reports/report-no-174-preconception-and-prenatal-radiation-exposure-health-effects-and-protective-guidance-2013/>. Consultado 13 Jul 2024.
16. Wakeford R, Bithell JF. A review of the types of childhood cancer associated with a medical X-ray examination of the pregnant mother. *Int J Radiat Biol.* 2021;97:571-592.
 17. National Research Council (US) Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V). Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: Beir V. Washington (DC): National Academies Press (US); 1990.
 18. Brent RL. Saving lives and changing family histories: appropriate counseling of pregnant women and men and women of reproductive age, concerning the risk of diagnostic radiation exposures during and before pregnancy. *Am J Obstet Gynecol.* 2009;200:4-24.
 19. De Santis M, Cesari E, Nobili E, Straface G, Cavaliere AF, Caruso A. Radiation effects on development. *Birth Defects Res C Embryo Today.* 2007;81:177-182.
 20. Valentín J, ed. *Pregnancy and Medical Radiation.* Oxford: Pergamon Press; 2000.
 21. Cheney AE, Vincent LL, McCabe JM, Kearney KE. Pregnancy in the Cardiac Catheterization Laboratory: A Safe and Feasible Endeavor. *Circ Cardiovasc Interv.* 2021;14:e009636.
 22. Ikenoue T, Ikeda T, Ibara S, Otake M, Schull WJ. Effects of environmental factors on perinatal outcome: neurological development in cases of intrauterine growth retardation and school performance of children perinatally exposed to ionizing radiation. *Environ Health Perspect.* 1993;101(Suppl 2):53-57.
 23. Mainprize JG, Yaffe MJ, Chawla T, Glanc P. Effects of ionizing radiation exposure during pregnancy. *Abdom Radiol (NY).* 2023;48:1564-1578.
 24. Stewart A, Webb J, Giles D, Hewitt D. Malignant disease in childhood and diagnostic irradiation in utero. *Lancet.* 1956;268:447.
 25. Sugiyama H, Misumi M, Sakata R, Brenner AV, Utada M, Ozasa K. Mortality among individuals exposed to atomic bomb radiation in utero: 1950-2012. *Eur J Epidemiol.* 2021;36:415-428.
 26. Hatch M, Brenner AV, Cahoon EK, et al. Thyroid Cancer and Benign Nodules After Exposure In Utero to Fallout From Chernobyl. *J Clin Endocrinol Metab.* 2018;104:41-48.
 27. Parkin DM, Clayton D, Black RJ, et al. Childhood leukaemia in Europe after Chernobyl: 5 year follow-up. *Br J Cancer.* 1996;73:1006-1012.
 28. Roman E, Doyle P, Ansell P, Bull D, Beral V. Health of children born to medical radiographers. *Occup Environ Med.* 1996;53:73-79.
 29. Johnson KJ, Alexander BH, Doody MM, et al. Childhood cancer in the offspring born in 1921-1984 to US radiologic technologists. *Br J Cancer.* 2008;99:545-550.
 30. Wagner LK, Hayman LA. Pregnancy and women radiologists. *Radiology.* 1982;145:559-562.
 31. Little MP, Wakeford R, Bouffler SD, et al. Cancer risks among studies of medical diagnostic radiation exposure in early life without quantitative estimates of dose. *Sci Total Environ.* 2022;832:154723.
 32. Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol.* 1997;70:130-139.
 33. Uma Devi P, Hossain M. Induction of solid tumours in the Swiss albino mouse by low-dose foetal irradiation. *Int J Radiat Biol.* 2000;76:95-99.
 34. Benjamin SA, Lee AC, Angleton GM, Saunders WJ, Keefe TJ, Mallinckrodt CH. Mortality in beagles irradiated during prenatal and postnatal development. II. Contribution of benign and malignant neoplasia. *Radiat Res.* 1998;150:330-348.
 35. Ellender M, Harrison JD, Kozlowski R, Szluińska M, Bouffler SD, Cox R. In utero and neonatal sensitivity of ApcMin/+ mice to radiation-induced intestinal neoplasia. *Int J Radiat Biol.* 2006;82:141-151.
 36. Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom. Disponible en: <https://www.boe.es/DOUE/2014/013/L00001-00073.pdf>. Consultado 24 Nov 2024.
 37. Boletín Oficial del Estado. Disposiciones generales. Ministerio de la Presidencia. 7 de marzo de 2009, núm. 57, sec. I. Pág. 23288. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2009/03/07/pdfs/BOE-A-2009-3905.pdf>. Consultado 13 Jul 2024.
 38. Boletín Oficial del Estado. Disposiciones generales. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. 21 de diciembre de 2022, núm. 305, sec. I. Pág. 178672. Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/12/20/1029/dofspa/pdf>. Consultado 24 Nov 2024.
 39. Consejo de Seguridad Nuclear. Protección de las trabajadoras gestantes expuestas a radiaciones ionizantes en el ámbito sanitario. Disponible en: [https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20de%20las%20trabajadoras%20gestantes%20expuestas%20a%20radiaciones%20ionizantes%20en%20el%20C%C3%A1mbito%20sanitario%20\(Actualizaci%C3%B3nB3n%202024\)](https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20de%20las%20trabajadoras%20gestantes%20expuestas%20a%20radiaciones%20ionizantes%20en%20el%20C%C3%A1mbito%20sanitario%20(Actualizaci%C3%B3nB3n%202024)). Consultado 13 Jul 2024.
 40. Consejo de Seguridad Nuclear. Requisitos técnicos-administrativos para los servicios de dosimetría personal. Disponible en: [https://www.csn.es/documents/10182/896572/GS+07-01+Revisi%C3%B3nC3%B3n+1+++Requisitos+t%C3%A9cnico-administrativos+para+los+servicios+de+dosimetr%C3%A9tico+personal+\[Febrero+2006\]/dfe4292b-7792-45fc-ba67-b16302e19c64?version=1.4](https://www.csn.es/documents/10182/896572/GS+07-01+Revisi%C3%B3nC3%B3n+1+++Requisitos+t%C3%A9cnico-administrativos+para+los+servicios+de+dosimetr%C3%A9tico+personal+[Febrero+2006]/dfe4292b-7792-45fc-ba67-b16302e19c64?version=1.4). Consultado 13 Jul 2024.
 41. Damilakis J, Perisinakis K, Theocharopoulos N, et al. Anticipation of Radiation Dose to the Conceptus from Occupational Exposure of Pregnant Staff During Fluoroscopically Guided Electrophysiological Procedures. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2005;16:773-780.
 42. Vu CT, Elder DH. Pregnancy and the Working Interventional Radiologist. *Semin Interv Radiol.* 2013;30:403-407.
 43. Velázquez M, Pombo M, Unzué L, Bastante T, Mejía E, Albarrán A. Radiation Exposure to the Pregnant Interventional Cardiologist. Does It Really Pose a Risk to the Fetus? *Rev Esp Cardiol.* 2017;70:606-608.
 44. Marx MV. Baby on Board: Managing Occupational Radiation Exposure During Pregnancy. *Tech Vasc Interv Radiol.* 2018;21:32-36.
 45. Manzo-Silberman S, Velázquez M, Burgess S, et al. Radiation protection for healthcare professionals working in catheterisation laboratories during pregnancy: a statement of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) in collaboration with the European Heart Rhythm Association (EHRA), the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI), the ESC Regulatory Affairs Committee and Women as One. *EuroIntervention.* 2023;19:53-62.
 46. Miller DL, Vafó E, Bartal G, et al. Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A Joint Guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *Cardiovasc Interv Radiol.* 2010;33:230-239.
 47. Poudel S, Weir L, Dowling D, Medich DC. Changes in Occupational Radiation Exposures after Incorporation of a Real-time Dosimetry System in the Interventional Radiology Suite. *Health Physics.* 2016;111:S166.
 48. Consejo de Seguridad Nuclear. Mapa del potencial de radón en España. Disponible en: <https://www.csn.es/mapa-del-potencial-de-radon-en-espana>. Consultado 13 Oct 2024.
 49. Bottollier-Depois JF, Chau Q, Bouisset P, Kerlau G, Plawinski L, Lebaron-Jacobs L. Assessing exposure to cosmic radiation on board aircraft. *Adv Space Res.* 2003;32:59-66.
 50. Ortega García JA, Ferrís i Tortajada J, Ortí Martín A, et al. Contaminantes medio-ambientales en la alimentación. *An Esp Pediatr.* 2002;56:69-76.
 51. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 22/07/1989. N.º L 211/1. Reglamento (EURATOM) N.º 2218/89 del Consejo de 18 de julio de 1989. Disponible en: <https://www.boe.es/DOUE/1989/211/L00001-00003.pdf>. Consultado 13 Oct 2024.
 52. Consejo de Seguridad Nuclear. Mapa de radiación gamma natural en España (MARNA) MAPA. Disponible en: <https://www.csn.es/mapa-de-radiacion-gamma-natural-marna-mapa>. Consultado 4 Ene 2025.
 53. Hatch M, Brenner A, Bogdanova T, et al. A Screening Study of Thyroid Cancer and Other Thyroid Diseases among Individuals Exposed in Utero to Iodine-131 from Chernobyl Fallout. *J Clin Endocrinol Metab.* 2009;94:899-906.
 54. Stewart A, Barber R. Survey of childhood malignancies. *Public Health Rep.* 1962;77:129-139.
 55. Consejo de Seguridad Nuclear. Informe del Consejo de Seguridad Nuclear al Congreso de los Diputados y al Senado. Año 2023. Disponible en: <https://www.calameo.com/read/006700665a458974bd45d>. Consultado 8 Abr 2025.
 56. Bernelli C, Cerrato E, Ortega R, et al. Gender Issues in Italian Catheterization Laboratories: The Gender-CATH Study. *J Am Heart Assoc.* 2021;10:e017537.
 57. Benson LS, Holt SK, Gore JL, et al. Early Pregnancy Loss Management in the Emergency Department vs Outpatient Setting. *JAMA Network Open.* 2023;6:e232639.
 58. National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP Report No. 174, Preconception and Prenatal Radiation Exposure: Health Effects and Protective Guidance. Bethesda, MD: NCRP; June 1, 2015. Disponible en: <https://ncrponline.org/publications/reports/ngrp-report-174/>. Consultado 13 Jul 2024.
 59. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. Vigilancia de la salud para la prevención de riesgos laborales. Guía básica y general de orientación. Disponible en: <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/guiavigisalud.pdf>. Consultado 19 Jul 2024.