



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ
MÁSTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Revisión bibliográfica sobre la exposición a radiaciones ionizantes en el embarazo en personal sanitario y sus efectos en la descendencia.

Autor: María Rosario Castán Lagrava

Tutor: Jonatan García Campos

Fecha de entrega: septiembre 2022



AUTORIZACIÓN DEL TUTOR



INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

D. Jonatan García Campos, Tutor/a del Trabajo Fin de Máster, titulado '*Revisión bibliográfica sobre la exposición a radiaciones ionizantes en el embarazo en personal sanitario y sus efectos en la descendencia*' y realizado por el/la estudiante María Rosario Castán Lagrava.

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

Fecha de la autorización: 22/07/2022

Fdo.: Jonatan García Campos
Tutor/a TFM

RESUMEN

Introducción: Las trabajadoras de la salud están expuestas a varios riesgos. En situación de gestación muchos de ellos deben evaluarse con mayor atención por los efectos que pueden provocar en el feto. El uso de la radiación ionizante cada día está más extendido a nivel sanitario tanto en técnicas diagnósticas como en tratamiento. Este trabajo va a considerar la exposición a la radiación ionizante en la trabajadora de salud embarazada. El embarazo puede implicar que situaciones que de forma habitual no suponen un riesgo, se conviertan en situaciones peligrosas para ella o para el feto. Por lo que, para eliminar los posibles riesgos derivados, debemos adecuar las condiciones de seguridad en el trabajo.

Objetivo: Identificar si la exposición en trabajadoras sanitarias embarazadas a las radiaciones ionizantes afecta de forma directa a la evolución de la gestación y/o al desarrollo fetal.

Material y Métodos: Se ha realizado una revisión narrativa de artículos seleccionados de las bases de datos MEDLINE, SCOPUS, EMBASE y COCHRANE, publicados en los últimos 20 años de acuerdo con los objetivos planteados.

Resultados: Se recuperaron un total de 47 artículos en las bases de datos enumeradas, de los que fueron seleccionados 7 para este trabajo. De los estudios seleccionados, 3 eran de casos-control y 4 estudios de cohorte. En 3 estudios evidencian que existe un aumento de riesgo de aborto espontáneo, de forma significativa, tras la exposición ocupacional a radiación ionizante. En 1 refiere que las complicaciones en el parto y el sufrimiento fetal fueron similares al grupo no expuesto. En 2 indican aumento de defectos congénitos en bebés de madres expuestas a radiación, y otro describe una asociación potencial entre la exposición laboral materna preconcepcional a radiación y la aparición de neuroblastoma en la descendencia.

Conclusiones: existen datos de aumento de riesgo de desarrollo de aborto espontáneo y también de forma aislada de cromosomopatía y defectos congénitos en el desarrollo fetal tras la exposición ocupacional materna a radiación ionizante. Por lo que debemos intensificar las medidas en la protección de la trabajadora embarazada cumpliendo la normativa.

ABSTRACT

Introduction: Health workers are exposed to several risks. In a pregnancy situation, many of them should be evaluated more carefully due to the effects they can cause on the fetus. The use of ionizing radiation is becoming more widespread every day at the health level, both in diagnostic techniques and in treatment. This work will consider the exposure to ionizing radiation in the pregnant health worker. Pregnancy can mean that situations that usually do not pose a risk, become dangerous situations for her or for the fetus. Therefore, to eliminate the possible derived risks, we must adapt the safety conditions at work.

Objective: To identify if the exposure of pregnant health workers to ionizing radiation directly affects the evolution of pregnancy and/or fetal development.

Material and Methods: A narrative review of selected articles from the MEDLINE, SCOPUS, EMBASE and COCHRANE databases, published in the last 20 years in accordance with the stated objectives, has been carried out.

Results: A total of 47 articles were retrieved in the listed databases, of which 7 were selected for this work. Of the selected studies, 3 were case-control studies and 4 were cohort studies. Three studies show that there is a significantly increased risk of spontaneous abortion after occupational exposure to ionizing radiation. In 1 it refers that the complications in childbirth and fetal distress were similar to the unexposed group. In 2 they indicate an increase in congenital defects in babies of mothers exposed to radiation, and another describes a potential association between preconception maternal occupational exposure to radiation and the appearance of neuroblastoma in the offspring.

Conclusions: there are data of increased risk of developing spontaneous abortion and also isolated chromosomopathy and congenital defects in fetal development after maternal occupational exposure to ionizing radiation. Therefore, we must intensify measures to protect pregnant workers in compliance with regulations.

Palabras clave:

- *Pregnancy*
- *Radiation-ionizing*
- *Health Personnel*
- *Pregnancy Complications*
- *Occupational Exposure*



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. JUSTIFICACIÓN.....	19
3. OBJETIVOS.....	21
4. MATERIAL Y MÉTODO.....	22
5. RESULTADOS	29
6. DISCUSIÓN.....	41
7. CONCLUSIONES.....	46
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48



INTRODUCCIÓN

El embarazo es el período que transcurre desde que el óvulo fecundado se implanta en el útero hasta el momento del parto, con el nacimiento del bebé (1).

Se trata de un momento importante en la vida de cualquier persona. Es importante tanto para la pareja, en especial para la mujer gestante, como para su futuro hijo, ya que se enfrentan a diversos riesgos que pueden condicionar la evolución normal de la gestación. Aunque hay que destacar, que la mayoría de las gestaciones son embarazos normales, que se desarrollan sin problemas, y no presentan factores desfavorables o patologías maternas que puedan interferir en la normal evolución de la gestación (2,3).

El embarazo debe ser considerado como un momento biológico, natural y cotidiano de la sociedad, y no como una enfermedad, aunque debemos tener en cuenta que se trata de una situación vital que precisa de protección especial en el terreno de la seguridad y salud, por lo tanto, también en el trabajo (4).

La situación de embarazo de una trabajadora puede condicionar que situaciones que habitualmente no suponen un riesgo, se conviertan en peligrosas para la trabajadora embarazada, o para el feto. Por lo que, con la intención de eliminar los peligros y riesgos derivados, es necesario adecuar las condiciones de trabajo (4,5).

Según la EPA (Encuesta de Población Activa), dentro del sector sanitario el porcentaje de mujeres ocupadas es de casi el 80 por ciento, y la gran mayoría de ellas se encuentran en edad fértil (1).

Cuando las condiciones, los procedimientos o las sustancias empleadas en el desempeño del trabajo puedan influir de forma negativa en la salud de la madre gestante o del feto, hablamos de situación de riesgo durante el embarazo (5).

En el artículo 26 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, se recogen los principios de la protección de la maternidad por motivos de exposición a riesgos en el ámbito laboral.

La empresa, según este artículo, está obligada a llevar a cabo medidas preventivas complementarias en el puesto de trabajo para proteger la salud de la trabajadora, y también la de su embarazo (7), garantizando que la trabajadora pueda seguir desempeñando su actividad sin riesgo para ella ni su futuro hijo.

En caso de no poder adaptar el puesto de trabajo, se debe facilitar el cambio de tareas de forma temporal a otras que no condicionen riesgos para su gestación. Si la empresa no puede cumplir estas condiciones, se deberá suspender el contrato de trabajo, percibiendo prestación por riesgo durante el embarazo, regulada por el Real Decreto 295/2009 (7,8).

Según la naturaleza de los factores de riesgo de origen laboral a los que se enfrenta la trabajadora, podemos clasificarlos en: riesgos físicos, riesgos químicos o tóxicos, riesgos biológicos, riesgos psicosociales y riesgos de procedimientos industriales (5, 9-11).

Dentro de los riesgos por exposición a agentes físicos, encontramos la exposición a radiaciones ionizantes (10,12).

Tabla 1. Tipos de radiaciones:

RADIACIONES IONIZANTES	RADIACIONES NO IONIZANTES
Ondulatorias	Infrarrojos
Rayos X	Ultravioletas
Rayos gamma	Visibles
Corpusculares	Radiofrecuencias
Partículas alfa	Microondas
Partículas beta	Láser
Neutrones	

**elaboración propia*

Las radiaciones son fenómenos físicos que consisten en la emisión, propagación y absorción de energía por parte de la materia. Pueden ser radiaciones sonoras o electromagnéticas, cuando son en forma de ondas, o radiaciones corpusculares, cuando son en forma de partículas subatómicas (5, 11,12).

La radiación ionizante es aquella que puede producir ionización de la materia al interaccionar con ella, es decir, si se aplica la energía suficiente puede producir la expulsión de electrones de la órbita atómica, originando iones, partículas con carga eléctrica, y radicales libres, que producen cambios moleculares mediante la ruptura de enlaces químicos provocando daño en las células afectadas.

Las radiaciones no ionizantes, son aquellas en las que no se produce ionización de la materia, ya que la energía de los fotones emitidos no es capaz de modificar los átomos de las materias sobre las que inciden.

En el grupo de las radiaciones ionizantes se engloban los rayos X, los rayos gamma (g), partículas alfa (a), partículas beta (b) y neutrones (12-14).

- Rayos X. Proviene de reacción en las capas electrónicas del átomo. Las fuentes que las utilizan pueden controlar su producción.
- Rayos gamma. Se producen en reacciones de núcleos atómicos inestables. Tienen muy elevado poder de penetración.
- Partículas alfa. Son núcleos de helio. Tienen dos unidades de carga eléctrica positiva y cuatro unidades de masa. Tienen muy escaso poder de penetración.
- Partículas beta. Son electrones que han sido expulsados a gran velocidad. Tienen una masa que es casi nula y posee carga negativa. Su poder de penetración es escaso.
- Neutrones. Forman el núcleo atómico junto a los protones. Son neutros eléctricamente, y su masa es superior a la de los electrones. Poseen una penetración elevada.

En función de la masa y la velocidad de las radiaciones, varía el poder de penetración de la radiación, de modo que, a mayor masa y menor velocidad, menor capacidad de penetración (12,14).

Tabla 2. Tipos de radiación ionizante por poder de penetración

neutrones
rayos gamma
rayos X
partículas beta
partículas alfa

**elaboración propia*

En función de la dosis de radiación absorbida, el tipo de radiación y la sensibilidad del propio órgano o tejido afectado depende el daño que la radiación provoca en los órganos y tejidos (12-15).

- La dosis absorbida es la energía absorbida por un objeto irradiado, se mide en gray (Gy).
- La dosis equivalente es la dosis absorbida por el individuo considerando el daño o efecto biológico que produce.
- La dosis efectiva es la medida de daño potencial, es la suma de dosis equivalentes medidas en todos los tejidos, se expresa en Sievert (Sv).
- La exposición a la radiación es la medida del grado de ionización en el aire producida por la radiación y determina el campo de radiación. Se expresa en ROENTGEN
- La tasa de dosis indica la velocidad a la cual se recibe la dosis.

Mediante la dosimetría se mide la exposición a radiación ionizante. Indica los equivalentes de dosis que reciben los trabajadores expuestos a los campos de radiación externa (15,16).

El dosímetro individual se usa cuando hay probabilidad de acumular entre 5 o 10 por ciento del equivalente de dosis máximo permitido en todo el cuerpo (16, 17).

En el caso de las mujeres embarazadas, ya que el feto es especialmente vulnerable, deben llevar, además, un dosímetro en el abdomen que intenta controlar la dosis absorbida por el feto (16-18).

En el ámbito sanitario, entendiéndose dentro de este grupo cualquier trabajadora sanitaria, con independencia de su estamento y lugar de trabajo, son varias las circunstancias en las que los profesionales pueden estar en contacto con este tipo de riesgo físico, por lo que desde la prevención de riesgos laborales es un aspecto que se debe tener en cuenta.

Las radiaciones ionizantes se usan en gran variedad de situaciones en el ámbito sanitario, destacando su uso en técnicas de radiodiagnóstico, radioterapia y medicina nuclear.

Mediante el uso externo de radiación, en radiodiagnóstico, podemos ver y valorar en imágenes la anatomía humana; la radioterapia destruye células tumorales a través del uso de altas dosis de radiación; y la medicina nuclear emplea material radiactivo en forma no encapsulada para diagnóstico y tratamiento (14).

Los posibles daños para la salud que pueden provocar las radiaciones ionizantes, son conocidos.

La inducción al cáncer es el principal efecto tardío que se produce por la exposición a la radiación ionizante, pero también otras muchas enfermedades sistémicas se relacionan con el uso de radiación (19-21).

Debido al elevado riesgo al que se exponen los trabajadores al trabajar en este terreno, existe una estricta legislación, destacando el Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (BOE 26.7.01), que resultó modificado por el por el Real Decreto 1439/2010 de 5 de noviembre (BOE 18.11.10) y que derogó al anterior Real Decreto 53/1992.

Es importante e imprescindible la protección de los trabajadores en este aspecto.

Entre las medidas que se llevan a cabo destaca limitar el tiempo de exposición, aumentar la distancia al foco que emite radiación y el uso de protectores con pantallas y/o blindajes (13,17).

Además, como establece la legislación y mediante la norma UNE-73-302:1991, se deben señalar correctamente aquellas zonas que puedan suponer un peligro para las personas y especificar el tipo de zona que se trata: vigilada, controlada, de permanencia limitada, de permanencia reglamentada y de acceso prohibido.

Dentro de la normativa, se especifica que de acuerdo con la dosis efectiva que los trabajadores puedan recibir por año oficial o la dosis equivalente, se clasifican en (22):

Categoría A: la dosis efectiva recibida es mayor a 6 mSv, o la equivalente más de 3/10 de los límites de dosis equivalente en la piel, el cristalino y las extremidades. En esta categoría es imprescindible corroborar el estado de salud de los trabajadores expuestos, realizando controles periódicos, que verifiquen que no se está provocando daño y que siguen siendo aptos para ejercer sus funciones (17, 22,23).

Categoría B: es muy improbable que reciban dosis superiores a las establecidas para la categoría A.

Hay que tener en cuenta los valores límites que se establecen para los trabajadores expuestos, y que se indica en la normativa (22,23):

- El límite de dosis efectiva es 100 mSv para períodos de cinco años consecutivos sujetos a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.
- El límite de dosis equivalente para el cristalino son 150 mSv por año oficial.
- El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos es 500 mSv por año oficial.
- El límite de dosis equivalente para la piel son 500 mSv por año oficial.

Los efectos biológicos que las radiaciones ionizantes pueden ocasionar son producidos por el daño en las células a consecuencia de la interacción de la radiación con la materia, lo que lleva a la modificación o muerte celular, pudiendo afectar el funcionamiento de los órganos y tejidos (24,25).

La exposición a la radiación por encima del umbral determinado producirá la muerte de un número considerable de células, lo que llevará a generar daño en órganos o tejidos afectados y, por consiguiente, en el individuo. Estos son los efectos deterministas, y dependen de la dosis recibida y acumulada, de modo que la gravedad aumenta con la dosis recibida. Para la prevención de los efectos tisulares debe garantizarse que no se superen unos límites establecidos por debajo de la dosis umbral. Pueden ser tanto agudos como tardíos (13,15, 25-28).

Los efectos agudos, se producen de forma precoz debidos a la pérdida de células. Pueden darse en radiaciones globales y parciales. En las globales, a mayor dosis recibida, la sintomatología es más temprana, llamativa y prolongada. Las parciales, se producen generalmente en piel, pelo y gónadas, tienen establecido el nivel de dosis/respuesta (15, 25-27).

En cuanto a los efectos tardíos, son aquellos que no se producen de forma inmediata a la radiación, independientemente que la exposición haya sido prolongada o breve.

Estos efectos se aprecian en los ojos, la piel y en el embrión y feto (15, 25-27).

La teratogénesis es la producción de alteraciones congénitas, estructurales y/o funcionales en el feto en las primeras fases del desarrollo por acción de sustancias externas como la radiación (21,28).

Por otro lado, puede ocurrir que no se produzca un daño mortal sobre la célula, pero sí que se modifique su estructura por el efecto de la radiación, provocando daño al ADN, lo que condiciona el inicio de mecanismos de reparación celular. A estos se les conoce como efectos estocásticos. No son dosis dependiente, se dan al azar, aunque se relaciona su probabilidad de aparición con la dosis recibida (15, 26-27).

Si se produce una reparación celular completa, la célula sobrevive, pero con un daño en su ADN, una mutación que será transmitida a las siguientes células descendientes, lo que puede degenerar en una neoplasia en el tejido u órgano afectado, son los tumores radioinducidos.

Cuando la mutación se produzca en las células que transmiten la información genética a los descendientes, se podría inducir una enfermedad hereditaria.

Para reducir la probabilidad de aparición de los efectos estocásticos, debemos conseguir que se mantengan los niveles de radiación lo más bajos posible (15, 26-28).

En la mujer embarazada, por consiguiente, los efectos de la radiación pueden llevar a producir malformaciones fetales, que dependerán de la dosis recibida en el feto y del momento en el que se encuentre en el desarrollo gestacional. Pueden darse, por ejemplo, a partir 0,3 Gy en la fase de organogénesis malformaciones cerebrales y óseas; con dosis mayores a 0,5 Gy más allá de la semana 8 de gestación puede aparecer retraso intelectual (10, 22, 25).

Según la normativa vigente, en el RD 783/2001, el feto debe ser considerado como un miembro del público, y por ello a efectos de limitación de dosis, una vez se notifica el embarazo, la dosis que puede recibir el feto como consecuencia de la actividad laboral de la madre, es de 1 mSv.

El límite de dosis establecido está muy por debajo del que se necesita para que aparezcan efectos de daño en los tejidos del feto, ya que se necesitan dosis entre 100 y 200 mSv, y con la exposición ocupacional habitual no se producen. Con este límite de dosis se consigue que la probabilidad de que aparezcan efectos estocásticos sea prácticamente nula (22,25).

Para que no suponga un riesgo el desempeño laboral, es necesario establecer una serie de medidas de protección que aseguren el cumplimiento de la normativa vigente.

Por un lado, la trabajadora embarazada debe llevar un dosímetro que valore la dosis recibida en abdomen y por otro, hay que realizar una evaluación meticulosa del puesto de trabajo, tratando de limitar la posibilidad de que ocurran incidentes con dosis altas y que sea improbable que la trabajadora gestante se vea involucrada en ninguna situación laboral de riesgo (22, 29).

Para tratar de reducir y controlar la radiación externa que recibe un trabajador debemos valorar lo siguiente: la distancia, el tiempo y el blindaje (22).

Se debe asegurar que la distancia respecto a la fuente que emite la radiación sea la máxima posible, porque al aumentar la distancia conseguimos disminuir la cantidad de radiación que se recibe.

El tiempo de exposición debe ser el menor posible, ya que la dosis es directamente proporcional.

Y, por último, cuando la combinación de distancia y tiempo no consigue disminuir la radiación a niveles permitidos, se debe interponer entre la fuente y el usuario una barrera de material absorbente (22,23,29).

Para disminuir la contaminación de la radiación se utilizan elementos de contención en la superficie de trabajo, como bandejas o papel plastificado, así como equipos de protección individual, y no se puede olvidar el cumplimiento de la normativa que garantiza la seguridad en el puesto de trabajo (22, 25,29).

El riesgo de exposición a radiaciones ionizantes en personal sanitario gestante depende del tiempo de evolución del embarazo y de la dosis de radiación absorbida. Es mayor el riesgo en las fases iniciales de la gestación, desde la fase preimplantacional, la organogénesis y el periodo fetal más temprano, y algo menores en las siguientes fases del embarazo, siempre sin olvidar que son necesarios en todo momento los métodos de barrera de exposición (22,29).

A partir de modelos experimentales en animales, se conoce que dosis equivalentes entre 100 y 200 mSv pueden provocar en la fase preimplantacional, un 1-2% de letalidad. Se sabe que, para la población general en la misma etapa, la incidencia de abortos espontáneos es en torno al 30% (28, 30). Esta fase de la que estamos hablando es una de las más vulnerables, abarca las dos primeras semanas, y va desde la concepción hasta el momento en el que se implanta el embrión en el útero (2).

La siguiente etapa del desarrollo es la organogénesis, que coincide con la tercera a octava semana del desarrollo embrionario. Es la etapa en la que se desarrollan los órganos principales del feto (2). En este caso en modelos experimentales animales, se han descrito malformaciones congénitas espontáneas esqueléticas, oculares, genitales y retraso en crecimiento, siendo en humanos la dosis umbral en la que no se dan estos eventos entre 120 y 200 mSv. En la población general la incidencia de estas anomalías varía entre el 6-7/100 (28-31).

Se trata de las etapas más vulnerables del desarrollo y en la mayoría de los casos la mujer desconoce su estado de embarazo, motivo por el que la exposición accidental puede ser más frecuente y debemos considerar la importancia de las medidas de protección.

Desde la semana 8 a la 15, se da el desarrollo del periodo fetal más temprano, y se ha descrito retraso mental severo con dosis superiores a 120-200mSv. En la población general la incidencia de esta condición de forma espontánea sería en torno a 1/100 (28, 31-36).

A partir del segundo trimestre los riesgos para el feto van disminuyendo. Para el desarrollo de retraso mental son necesarias dosis de 500 mSv (28, 31).

En el tercer trimestre es raro que aparezca desarrollo de retraso mental o malformaciones provocadas por el efecto de la radiación, pero sí puede aumentar la incidencia de cáncer en el periodo de la infancia. Dosis de 20 mSv suponen un riesgo de morir de cáncer estimado en un 1/1000, que equivale al riesgo de morir por causas naturales a los 40 años (9, 28, 31-34).



JUSTIFICACIÓN

Como hemos comentado, dentro del sector sanitario casi el 80 por ciento de los trabajadores son mujeres y la gran mayoría de ellas se encuentran en edad fértil. De ahí la importancia de considerar a este grupo dentro de la prevención de riesgos laborales.

El RD 783/2001 establece que tan pronto la trabajadora notifique su estado de gestación, la protección del feto debe ser comparable a la de los miembros del público, de modo que la dosis equivalente sea razonablemente lo más bajo posible, de forma que el feto no reciba más de 1 mSv, que sería comparable a 2 mSv en abdomen. Motivo por el que se establece la dosis máxima permisible en embarazadas en 1 mSv/gestación.

En las trabajadoras embarazadas debemos prestar atención a las actividades en las que haya un riesgo directo de exposición, bien sea por el uso de fuentes radiactivas o por la presencia de fuentes de radiación naturales. El estado de embarazo no supone la retirada del puesto de trabajo para la trabajadora, ya que el uso de medidas de prevención, como la interposición de barreras de protección adecuadas, la medición continuada mediante dosímetro, son eficaces para controlar el riesgo, realizando una evaluación y revisión de las condiciones del puesto.

El riesgo más relevante para la trabajadora embarazada al estar expuesta a radiación ionizante es provocar daño en su futuro bebé. Los riesgos derivados de la exposición a radiación son afectación del desarrollo fetal por malformaciones, riesgo de cáncer, o abortos.

El objetivo de este trabajo es revisar la bibliografía con relación a la exposición a radiación ionizante y los posibles daños causados en el desarrollo de la gestación, así como las medidas de protección para la trabajadora embarazada.

Una de las causas más frecuentes de ansiedad en trabajadores expuestos a radiación ionizante es el desconocimiento de los riesgos a los que se enfrentan, así como los límites de radiación establecidos en la legislación y los efectos que se pueden provocar como consecuencia de la exposición a nivel laboral, así como las normas básicas de protección y su efectividad.

De modo que para un trabajador que desempeña su tarea profesional en contacto con radiación ionizante, se encuentre o no en situación de embarazo, es importante estar bien informado acerca de todos los aspectos relevantes relacionados con la exposición a la radiación y su protección.



OBJETIVOS

→ **Objetivo principal:**

- Identificar si la exposición a las radiaciones ionizantes en trabajadoras sanitarias embarazadas afecta de forma directa a la evolución de la gestación y/o al desarrollo fetal.

→ **Objetivos secundarios:**

- Revisar los riesgos derivados de la exposición laboral a radiación ionizante en trabajadoras sanitarias embarazadas.
- Revisar los métodos de protección para la prevención de la trabajadora embarazada.



MATERIAL Y MÉTODO

Para la realización de esta revisión narrativa para el trabajo fin de máster de prevención en riesgos laborales, que cuenta con el código de investigación responsable TFM.MPR.JGC.MRCL.220716, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica en las principales bases de datos de buscadores científicos, en base a una pregunta inicial, desarrollada mediante metodología de pregunta PICO.

La pregunta PICO desarrollada fue la siguiente:

“¿En trabajadoras sanitarias embarazadas, la exposición a radiaciones ionizantes afecta de forma directa a la evolución de la gestación y al desarrollo fetal?”

Según la metodología del desarrollo de la pregunta PICO nuestra pregunta quedaría desglosada de la siguiente manera (Tabla 3):

Tabla 3. Desarrollo pregunta PICO

P	Trabajadoras sanitarias embarazadas
I	Exposición a radiaciones ionizantes
C	No exposición a radiación ionizante
O	Afecta a la evolución de la gestación y al desarrollo fetal

Entendiendo por trabajadoras sanitarias todas aquellas mujeres embarazadas que en el desarrollo de su trabajo tengan contacto o relación con radiaciones ionizantes, independientemente de su estamento, o lugar donde realicen su trabajo, incluyendo personal de farmacia, dentistas, veterinarias, personal de centros sanitarios (hospitales, centros de salud, centros de terapia sanitaria...)

La búsqueda bibliográfica se ha llevado a cabo en las principales bases de datos, siendo la base fundamental de los artículos encontrados en Medline, además de en las siguientes bases de datos: SCOPUS, EMBASE y Cochrane Library.

Criterios de inclusión:

Para la búsqueda se han utilizado los siguientes términos Mesh en título, abstract y palabras clave del autor: *pregnancy, pregnant women, radiation-ionizing, health personnel, health professional, pregnancy complications, occupational exposure y maternal exposure.*

Tabla 4. Términos Mesh

<i>pregnancy</i>	<i>health personnel</i>
<i>pregnant women</i>	<i>health professional</i>
<i>radiation-ionizing</i>	<i>pregnancy complications</i>
<i>occupational exposure</i>	<i>maternal exposure</i>

Se filtró la búsqueda cronológicamente para obtener artículos publicados en los últimos 20 años (desde 2001), ya que abarcaba un periodo suficientemente amplio para el tema propuesto.

Criterios de exclusión: Revisiones sistemáticas.

Siguiendo estas premisas se realizó la búsqueda:

- En Medline se realizó la búsqueda por los términos Mesh, título y abstract. Los descriptores utilizados fueron:
("Pregnant Women"[Mesh] OR "Pregnant Women"[TIAB] OR "Pregnant"[TIAB] OR "Pregnancy"[TIAB]) AND ("Health Personnel"[Mesh] OR "Health Personnel"[TIAB] OR "Health professional"[TIAB]) AND ("Radiation, ionizing"[Mesh] OR "Radiation, ionizing"[TIAB] OR "Ionizing Radiation" [TIAB]) AND ("Pregnancy Complications"[Mesh] OR "Pregnancy Complications"[TIAB] OR "Maternal Exposure"[Mesh] OR "Maternal Exposure"[TIAB] OR "Occupational Exposure"[Mesh] OR "Occupational Exposure"[TIAB]).

Obteniendo en dicha búsqueda un total de 26 resultados.

Se realizó una búsqueda acotada en los últimos veinte años, obteniendo de esta forma 17 resultados.

Tras la lectura del título se descartaron 4 artículos. Después de la lectura de título y abstract, se descartaron otros 7 artículos, que no responden la pregunta planteada en el estudio. Finalmente se realizó la lectura completa de 6 artículos, de los cuales 2 quedaron descartados por no cumplir criterios de inclusión o no responder a la pregunta planteada en el trabajo.

- La búsqueda en EMBASE se realizó por términos Mesh, título y abstract.

Los descriptores utilizados fueron:

('pregnant woman':ti,ab,kw OR pregnancy:ti,ab,kw) AND 'ionizing radiation':ti,ab,kw AND 'health care personnel'

De dicha búsqueda se obtuvieron un total de 12 resultados, filtrando en los últimos veinte años, se obtuvieron 11 resultados, de los cuales finalmente sólo un artículo fue seleccionado para lectura completa. Tras la lectura del título se descartaron 8 artículos, por no responder a la pregunta del estudio o por haber sido encontrados en otras bases de datos, y tras la lectura además del abstract se eliminaron 2 artículos más.

- La búsqueda en SCOPUS se realizó por términos Mesh, título y abstract.

Los descriptores utilizados fueron:

(TITLE-ABS-KEY (pregnant AND women) OR TITLE-ABS-KEY (pregnancy) AND TITLE-ABS-KEY (radiation, AND ionizing) OR TITLE-ABS-KEY (ionizing AND radiation) AND TITLE-ABS-KEY (health AND personnel) OR TITLE-ABS-KEY (health AND professional) AND TITLE-ABS-KEY (pregnancy AND complications))

Se obtuvieron un total de 12 resultados, acotando a los últimos veinte años, la búsqueda proporciona 10 resultados que tras la lectura del título se descartaron hasta 9 artículos, por no responder a la pregunta del estudio o por haber sido encontrados en otras bases de datos, quedando para lectura completa uno de los artículos.

- La búsqueda en la Cochrane Library se realizó por términos Mesh.

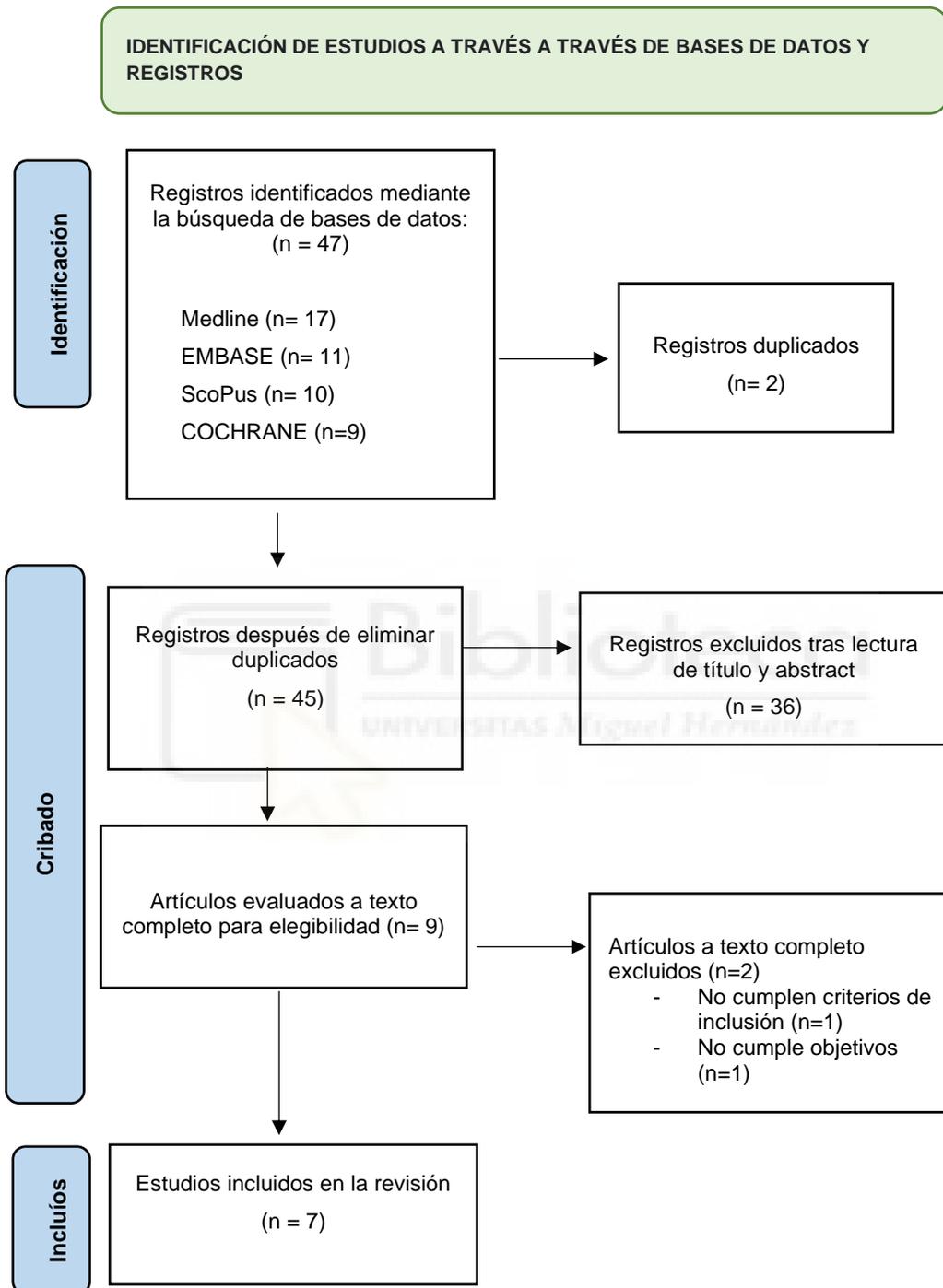
Los descriptores utilizados fueron:

(pregnant woman OR pregnancy) AND (ionizing radiation)

De dicha búsqueda se obtuvieron un total de 9 ensayos que coinciden con "embarazada" en la palabra clave del resumen del título y "radiación ionizante" en la palabra clave del resumen del título, y se buscaron variaciones de palabras. Tras la lectura del título se descartaron 8 artículos por no responder a la pregunta del estudio o por haber sido encontrados en otras bases de datos, quedando un artículo para lectura completa.

- El total de documentos recuperados (47).
- El número de documentos seleccionados tras la lectura del título y resumen, o del texto completo (9).
- El número final de documentos tras descartar duplicados (7).

Los artículos no seleccionados, fueron descartados tras la lectura de título y/o resumen, y en dos casos tras la lectura completa, por no cumplir con los objetivos planteados en esta revisión.



Para el desarrollo de los contenidos generales, se obtuvo información, además de en los buscadores comentados, en la documentación perteneciente a:

- Boletín Oficial del Estado.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Guías NPT (notas técnicas de prevención).
- Ministerio de Trabajo, Inmigraciones y Seguridad Social.
- Sociedad Española de Ginecología y Obstetricia.
- Sociedad Española de Radiología Médica.
- Asociación Española en Medicina del Trabajo.
- Comisión de salud pública consejo interterritorial del sistema nacional de salud.
- Ministerio de Ciencia e Innovación. Instituto de Salud Carlos III.
- Libro Técnicas en Prevención de Riesgos Laborales. Seguridad y Salud en el Trabajo. Autor José María Cortés Díaz. 11a edición. Ed Tebar.

RESULTADOS

Para que el análisis de todos los aspectos de los artículos fuera similar y poder realizar comparación entre ellos, se realizó una lectura sistemática recogiendo de todos ellos los siguientes aspectos (Tabla 5):

Tabla 5. Metodología de lectura

<ul style="list-style-type: none">● Características del estudio<ul style="list-style-type: none">○ título○ autor principal○ año de publicación○ país
<ul style="list-style-type: none">● Objetivo principal del estudio, y secundarios si los hubiera
<ul style="list-style-type: none">● Características de la muestra
<ul style="list-style-type: none">● Metodología empleada
<ul style="list-style-type: none">● Resultados

La descripción de los artículos se ha realizado por año de publicación, del más antiguo al último publicado.

Shuhaiber et al (2002) (37), realizó un estudio prospectivo de casos y controles (Canadá), con el objetivo de examinar los efectos reproductivos asociados a la exposición ocupacional a anestésicos inhalados y/o radiación en mujeres veterinarias.

Pretendían comparar la tasa de las principales malformaciones fetales entre dos grupos de mujeres emparejadas por edad y edad gestacional, y de forma secundaria comparar las tasas de otros resultados adversos (aborto espontáneo, prematuridad, y bajo peso al nacer).

En un grupo estaban expuestas laboralmente a anestésicos inhalados y/o radiación y en el grupo control no se encontraban expuestas a agentes teratógenos conocidos.

Desde enero de 1999 hasta agosto de 2001, hubo 95 participantes por grupo. Los criterios de inclusión fueron embarazo actual o planeándolo, personal veterinario expuesto ocupacionalmente a anestésicos inhalados y/o radiación.

La recogida de datos fue mediante un formulario, incluyendo los datos de cada participante, sus exposiciones ocupacionales, y también sobre el uso de diversas técnicas y equipos de protección. A los 4 meses del parto se recopilaron detalles sobre el resultado del embarazo.

Los datos sugieren que el personal veterinario expuesto a gases inhalados y radiación tiene una tasa similar de efectos reproductivos adversos, incluidos defectos de nacimiento, abortos espontáneos y partos prematuros, en comparación con las mujeres en la población general. La tasa de malformaciones mayores entre los grupos de estudio y control fue no estadísticamente significativa.

Fucic et al (2007) (38), llevó a cabo un estudio mixto prospectivo, de cohorte y casos y controles (Croacia), con los objetivos de investigar si las mujeres jóvenes en el lugar de trabajo con radioisótopos presentan un mayor riesgo de aborto espontáneo en comparación con las que trabajan con fuentes de radiación puras, como los rayos X, y contrastar la frecuencia de aberración cromosómica en mujeres expuestas a radioisótopos y rayos X, y en mujeres que no expuestas ocupacionalmente a cualquier fuente de radiación.

Se estudió durante un periodo de 16 años (1986-2001) a 231 mujeres en edad fértil, profesionales médicas con exposición registrada a rayos X o radioisótopos, con más

de 1 año de antigüedad antes del embarazo y sin exposición a ningún otro tipo de fuente de radiación con fines diagnósticos o terapéuticos, y que no precisaran tratamiento hormonal ni vacunación 6 meses antes del embarazo. De ellas 170 mujeres estuvieron expuestas a rayos X y 61 a radioisótopos.

Para el análisis de la aberración cromosómica se realizó el estudio de casos y control con un grupo control de 53 mujeres que no estaban expuestas ocupacionalmente a ninguna fuente de radiación conocida, ni tampoco expuestas a radiación ionizante diagnóstica o terapéutica en los 6 meses previos, seleccionadas al azar de los mismos hospitales que el grupo de casos, sin enfermedades infecciosas, que no tomaban medicamentos y sin antecedentes de aborto espontáneo antes del empleo.

Se administró un cuestionario estandarizado para investigar los embarazos y sus resultados durante el período de observación. Los datos ocupacionales se recopilaron de los registros históricos del personal de los hospitales y no durante la entrevista para evitar que los entrevistadores conocieran el estado de exposición de las mujeres.

Se realizó la monitorización de las exposiciones ocupacionales de forma regular (dos veces al año) utilizando medidores topográficos, garantizando que los niveles de radiación estimados no superasen el límite de la regulación internacional de 20 mSv por año o 100 mSv en el período de 5 años.

Todos los abortos ocurrieron dentro del primer trimestre del embarazo. Las mujeres expuestas a radioisótopos presentaron mayor riesgo de aborto espontáneo que las mujeres expuestas a rayos X.

La frecuencia media de aberraciones cromosómicas fue significativamente mayor en las mujeres expuestas que en las no expuestas, pero no mostró ninguna diferencia entre las mujeres expuestas a radioisótopos y rayos X.

Shirangi et al (2008) (39) publicó un estudio retrospectivo de cohorte (Australia) cuyo objetivo era examinar la relación entre las exposiciones ocupacionales y el aborto espontáneo en mujeres veterinarias.

Se seleccionaron todos los graduados de las facultades de veterinaria australianas entre 1960 y 2000. Entre 1197 mujeres, se excluyeron los embarazos en el momento de la encuesta, los que comenzaron antes de graduarse de la facultad de veterinaria, los embarazos gemelares, aquellos en los que la madre no había trabajado hasta el momento de la concepción y aquellos en los que la madre trabajaba en más empleos; quedando 940 embarazos, en un total de 442 mujeres.

Se realizó una encuesta nacional mediante un cuestionario autoadministrado enviado por correo.

Se evaluó la historia reproductiva, para un máximo de seis embarazos; la historia laboral, evaluando la exposición de cada embarazo desde unos meses antes de la concepción hasta el final de este.

Los resultados reproductivos se evaluaron mediante el uso de información sobre nacimientos vivos, mortinatos, interrupciones (abortos inducidos), abortos espontáneos y defectos de nacimiento. El resultado del aborto espontáneo se definió como la muerte fetal espontánea antes de las 20 semanas de gestación.

De los 940 embarazos, 764 (81,3%) resultaron en nacido vivo, 6 (0,6%) fueron mortinatos, 146 (15,5%) terminaron en espontáneos aborto y 24 (2,6%) fueron interrupciones del embarazo.

En mujeres veterinarias que trabajan en la práctica clínica, el riesgo bruto general de aborto espontáneo fue del 16%. No hubo riesgos excesivos de abortos espontáneos en mujeres que estuvieron expuestas a la radiación, pero sí que la radiación ionizante estaba asociada con mayor riesgo de aborto espontáneo.

Se describió un aumento significativo de aproximadamente dos veces el riesgo de aborto espontáneo en mujeres que habían notificado realizar más de cinco radiografías a la semana, comparando con aquellas que tomaron cinco o menos.

También hubo un riesgo ligeramente significativo de aborto espontáneo cuando se examinó la exposición a los rayos X como una variable continua.

En este estudio se encontró una asociación entre el aborto espontáneo y la exposición a la radiación y los pesticidas.

Una de cada cinco veterinarias usaba soportes de película y pantallas de plomo cuando realizan radiografías (sujetando el animal) como mecanismo de prevención.

Lawson et al (2012) (40) realizó un estudio prospectivo de cohortes (Estados Unidos) cuyo objetivo era investigar la asociación entre la exposición ocupacional autoinformada a medicamentos antineoplásicos, gases anestésicos, medicamentos antivirales, agentes esterilizantes (desinfectantes) y rayos X y el riesgo de aborto espontáneo en enfermeras estadounidenses.

Se investigó una cohorte previa de enfermeras mediante un cuestionario enviado por correo en el que se preguntaba sobre la situación de embarazo desde 1993 y si habían trabajado como enfermeras durante el más reciente de esos embarazos. Esta encuesta fue realizada por 8461 mujeres. Se excluyeron los embarazos que terminaron en aborto inducido, los embarazos ectópicos, el embarazo molar o embarazo múltiple, los mortinatos, definidos como la pérdida del embarazo después de las 20 semanas de gestación, los embarazos informados como no confirmados por prueba diagnóstica, así como aquellos sin datos sobre el año en que terminó el embarazo o la duración de este. También quedaron excluidas aquellas mujeres que indicaron trabajar menos de 1 hora por semana como enfermeras durante el primer trimestre del embarazo o que no proporcionaron información sobre su exposición laboral a los diversos agentes encuestados (trabajo por turnos, gases anestésicos, agentes esterilizantes, medicamentos antineoplásicos, medicamentos antivirales o rayos X). Dejando datos de 7.482 mujeres para el análisis.

Todas las exposiciones ocupacionales se relacionaron con mayor frecuencia en abortos espontáneos, en particular la exposición a fármacos antineoplásicos, con casi el doble de frecuencia en comparación con los nacidos vivos, seguida de la radiación con rayos X.

De modo que concluyen que la exposición a algunos de los agentes comúnmente utilizados por los trabajadores de la salud, incluidos los medicamentos antineoplásicos, los agentes esterilizantes y los rayos X, se asocia con un mayor riesgo de aborto espontáneo.

Lim et al (2015) (41) realizó un estudio de casos y control (Estados Unidos), con el objetivo de investigar si la posible exposición materna a fuentes ocupacionales de radiación ionizante durante el período preconcepcional aumenta el riesgo de tener un feto afectado por defectos congénitos.

Se incluyeron a bebés o fetos que nacieron entre el 1 de octubre de 1997 y el 31 de diciembre de 2009.

Los casos fueron bebés nacidos vivos, muertes fetales de al menos 20 semanas de gestación e interrupciones electivas del embarazo a cualquier edad gestacional.

Los controles fueron bebés nacidos vivos sin defectos de nacimiento importantes, seleccionados al azar de certificados de nacimiento de los mismos hospitales.

Se excluyeron los defectos congénitos que se sabía o se sospechaba fuertemente que habían sido causados por trastornos de un solo gen o anomalías cromosómicas.

El estudio incluyó a 18621 madres de bebés con defectos congénitos y 6820 madres de bebés sin defectos congénitos, de los cuales eran trabajadores de la salud 2453 casos y 938 controles, en torno al 13% del total en cada grupo.

Se realizaron entrevistas telefónicas estandarizadas a las madres, a los 11 meses a partir de la fecha estimada de parto para los casos y 9 meses para los controles.

Se recopilaron datos sobre ocupación materna, considerando aquellas que ocurrieron durante el período crítico de 3 meses antes a 3 meses después de la concepción.

Las madres ocupacionalmente expuestas a radiación ionizante tenían razones de probabilidad significativamente más elevadas para hidrocefalia, anotia/microtia y atresia colónica, que aquellas no expuestas.

Las madres que tenían ocupaciones con posible exposición a radiación tenían un riesgo menor de tener un hijo con anencefalia e hipospadias.

Cuando el análisis por diferentes fuentes de radiación se limitó a defectos congénitos aislados, las razones de probabilidad permanecieron aumentadas, pero no de forma significativa para la fluoroscopia y la radiación de otras ocupaciones.

Cuando observamos los defectos congénitos aislados, observamos razones de probabilidad elevadas de forma significativa para cuatro defectos congénitos: hidrocefalia, anotia/microtia, atresia colónica y onfalocele.

No se observó ninguna asociación entre la posible exposición ocupacional materna a radiación ionizante y todos los defectos de nacimiento en conjunto.

Wiesel et al (2016) (42) publicó un estudio prospectivo de cohorte (Alemania). Se trata de un estudio de factibilidad, que se inició en 2011 y finalizó a fines de 2013, y trataba de abordar las anomalías congénitas en hijos de trabajadores de la salud potencialmente expuestos a la radiación.

En 2011 se publicó un estudio de casos y control que se realizó para investigar la prevalencia de anomalías congénitas en recién nacidos cuyas madres vivían alrededor de una planta de energía nuclear. No se pudo documentar un aumento de las anomalías congénitas en las regiones aledañas a las centrales nucleares, pero inesperadamente, un hallazgo exploratorio indicó un efecto teratogénico en los hijos de madres potencialmente expuestas a radiación ionizante que trabajaban como profesionales médicos y que usaban un dosímetro. Por lo que se plantea este estudio de factibilidad en base a dichos resultados exploratorios.

Se seleccionó a mujeres que trabajan en campos médicos específicos, que potencialmente se exponen a radiación ionizante, comparadas con una muestra control de 88 participantes, basada en la población de madres y bebés no expuestos del registro de nacimiento de la misma zona, que fueron captadas por matronas en los 6 meses previos a dar a luz.

Mediante un cuestionario, se preguntaba sobre un embarazo en curso, si acababan de dar a luz (aborto/interrupción) o si estaban planeando un embarazo, este cuestionario se repetía cada 6 meses, dentro de la duración de 14 meses del estudio.

Las respuestas positivas ingresaron al grupo de estudio y se les enviaba un cuestionario más detallado.

La tasa de participación descendió pasados los 3 meses, por lo que se realizó un análisis detallado de los no respondedores.

Durante el período de estudio de 14 meses quedaron embarazadas 30 participantes de las 183 mujeres.

Se notificó aborto en 3 casos, definido como fin de la gestación más allá de la semana 15.

De los 27 recién nacidos, 8 (30%) fueron diagnosticados con anomalías congénitas: tres defectos cardíacos congénitos, tres anomalías de los riñones (megalouréter, dos casos de reflujo urinario) y tres hernias umbilicales.

Al comparar las madres con la muestra control solo se produjeron diferencias menores, excepto por el aumento de la tasa de anomalías congénitas.

La información sobre la exposición a la radiación ionizante, dosis recibida medida por dosímetros de cuerpo entero, se obtuvo de los datos del Registro de Protección Radiológica. Se realizó una descripción de la dosis media medida adquirida por las mujeres participantes, pero no se planificó ni realizó un análisis detallado de la dosis de radiación. Se tuvieron en cuenta los datos disponibles del dosímetro de cuerpo entero, desde los 12 meses previos, buscando picos y/o dosis acumuladas. El análisis de la dosis medida de radiación del estudio de factibilidad no permitió conclusiones válidas, siendo la cantidad de mediciones válidas de regular a baja.

Los hijos de mujeres que usaban un dosímetro tenían un riesgo elevado de anomalías congénitas.

El porcentaje de bebés diagnosticados con anomalías congénitas se multiplicó por más de cuatro en el expuesto, del 6,2% del grupo vigilancia. Los resultados exploratorios del estudio previo fueron confirmados por los datos del estudio de factibilidad.

Las características paternas en sí mismas, incluida la ocupación, no mostraron un efecto relevante en las anomalías congénitas en general.

Koga et al (2021) (43) publicó un estudio prospectivo de cohorte, multicéntrico a nivel nacional (Japón). Tenía como objetivo investigar la asociación entre la exposición ocupacional de los padres a los agentes médicos y las neoplasias malignas pediátricas en el primer año de vida.

Las participantes embarazadas y sus parejas se registraron entre enero de 2011 y marzo de 2014. De los 104065 fetos registrados, se incluyeron en el análisis los datos de 92619 niños. Quedaron excluidos los abortos espontáneos o muerte fetal; y aquellos con falta de datos completos.

Mediante cuestionarios autoadministrados, se recopilaron datos sobre el embarazo y de exposición ocupacional dos veces durante el primer y segundo/tercer trimestre de

las mujeres embarazadas y una vez de su pareja. Además, información detallada sobre la madre y el niño durante el primer trimestre, en el momento del parto y al mes y a los 6 meses de edad, y cada 6 meses hasta los 6 años del niño, y dos veces al año a partir de entonces.

La exposición ocupacional de los padres se valoró a tres agentes médicos, radiación ionizante, medicamentos contra el cáncer y anestésicos. Se preguntó por el tiempo diario que manejaban la exposición y durante cuánto tiempo.

De los 2142 niños cuyas madres estuvieron expuestas a la radiación, 3 desarrollaron neuroblastoma.

La tasa de incidencia fue significativamente mayor que la de los niños sin exposición materna.

Los agentes y el momento de la exposición en el útero fueron diferentes entre los tres niños: uno estuvo expuesto a radiación y medicamentos contra el cáncer durante el primer y segundo/tercer trimestre y anestésicos durante el primer trimestre; otro a los tres agentes durante el segundo/tercer trimestre; el otro a la irradiación solamente durante el segundo/tercer trimestre.

Los niños que estuvieron expuestos a medicamentos contra el cáncer o anestésicos, pero no a la radiación, no desarrollaron un neuroblastoma posterior, lo que sugiere que la radiación era un requisito para el desarrollo del neuroblastoma.

No se observaron asociaciones entre exposición paterna y neoplasias en la descendencia. Los efectos de la exposición paterna fueron menos concluyentes porque no se obtuvieron datos de exposición paterna para casi la mitad de los padres.

Este estudio demostró, por primera vez, una asociación potencial entre la exposición laboral materna y la aparición de neuroblastoma en la descendencia. Pero no puede determinar si la radiación sola o en combinación con otros agentes se asoció realmente con el neuroblastoma infantil porque estos agentes médicos se manejaron, a menudo, a la vez, aunque los datos sugieren influencia de la radiación en el desarrollo del neuroblastoma.

Las principales características de los resultados se muestran en la siguiente tabla (tabla 6).

AUTORES	AÑO/ PAÍS	OBJETIVO	DISEÑO	MUESTRA	RESULTADO	LIMITACIONES
Shuhaiber et al (37)	2002 Canadá	Examinar los efectos reproductivos asociados con la exposición ocupacional a anestésicos inhalados y/o radiación entre el personal veterinario femenino	Estudio de casos y control	92 mujeres veterinarias embarazadas o planeando embarazo y con exposición a anestésicos y radiación y un grupo control no expuesto	Las tasas de complicaciones del parto y el sufrimiento fetal fueron similares en ambos grupos. La tasa de malformaciones mayores entre los grupos de estudio y control fue no estadísticamente significativa	Disminución de la exposición tras el diagnóstico de embarazo por parte de las participantes. Escasa potencia por el tamaño muestral
Fucic et al (38)	2007 Croacia	Investigar si las mujeres jóvenes que trabajan con radioisótopos presentan un mayor riesgo de aborto espontáneo en comparación con las que trabajan con rayos X, y contrastar la frecuencia de aberración cromosómica en mujeres expuestas a radioisótopos y rayos X y las no expuestas ocupacionalmente	Estudio de casos y control	231 mujeres en edad fértil, que trabajan en hospitales públicos y están expuestas ocupacionalmente a radiación ionizante (radioisótopos y rayos X), y un grupo control de 53 mujeres no expuestas ocupacionalmente	Las mujeres expuestas a radioisótopos presentan mayor riesgo de aborto espontáneo que las mujeres expuestas a rayos X. La frecuencia media de aberraciones cromosómicas es significativamente mayor en las expuestas que en las no expuestas, pero sin diferencia entre las mujeres expuestas a radioisótopos y rayos X	No se cuantificó el nivel de exposición
Shirangi et al (39)	2008 Australia	Examinar la relación entre las exposiciones ocupacionales y el aborto espontáneo en mujeres veterinarias	Estudio de cohorte retrospectivo	Graduados de las facultades de veterinaria australianas, activos laboralmente y embarazo en el periodo de estudio – 442 mujeres con 940 embarazos	Se encontró que la radiación ionizante estaba asociada con un mayor riesgo de aborto espontáneo (también los pesticidas)	Sesgo de selección, baja tasa respuesta de los participantes.

AUTORES	AÑO/ PAÍS	OBJETIVO	DISEÑO	MUESTRA	RESULTADO	LIMITACIONES
Lawson et al (40)	2012 Estados Unidos	Investigar la asociación entre la exposición ocupacional autoinformada a medicamentos antineoplásicos, gases anestésicos, medicamentos antivirales, agentes esterilizantes y rayos X con el riesgo de aborto espontáneo en enfermeras	Estudio de cohorte prospectivo	7482 mujeres de 25 a 42 años, en situación de embarazo coincidiendo con exposición ocupacional a radiación y otros agentes	La exposición a algunos de los agentes, los rayos X, se asocia con un mayor riesgo de aborto espontáneo	Solo cuantifica la exposición a radiación autoinformada, no la real, y no especifica el uso de protección correcta
Lim et al (41)	2015 Estados Unidos	Investigar si la exposición materna a fuentes ocupacionales de radiación ionizante durante el período periconcepcional aumenta el riesgo de tener defectos congénitos	Estudio de casos y controles	2453 madres de bebés con defectos congénitos trabajadoras sanitarias y 938 madre en el grupo control	Las madres expuestas ocupacionalmente a radiación ionizante tenían significativamente más riesgo de presentar bebés con estos defectos congénitos (hidrocefalia, anotia/microtia y atresia colónica). No se observó ninguna asociación entre la exposición ocupacional materna a radiación ionizante y todos los defectos de nacimiento en conjunto	No se cuantifica grado de exposición ocupacional. Pese al tamaño muestral, presenta bajo poder estadístico para los defectos congénitos raros.

AUTORES	AÑO/ PAÍS	OBJETIVO	DISEÑO	MUESTRA	RESULTADO	LIMITACIONES
Wiesel et al (42)	2016 Alemania	Estudio de factibilidad, para abordar las anomalías congénitas en hijos de trabajadores de la salud potencialmente expuestos a la radiación	Estudio prospectivo de cohorte	183 mujeres que trabajan en campos médicos específicos, que potencialmente se exponen a radiación ionizante y en situación de embarazo, y un grupo control de 88 madres no expuestas	Aumento de anomalías congénitas en los bebés de madres que trabajan con radiación ionizante en un lugar de trabajo médico, frente a las no expuestas	Baja tasa de participación. Se realizó la descripción de la dosis media adquirida pero no se analizó detalladamente la dosis de radiación
Koga et al (43)	2021 Japón	Investigar la asociación entre la exposición ocupacional de los padres a los agentes médicos y las neoplasias malignas pediátricas en el primer año de vida	Estudio prospectivo de cohortes multicéntrico	92619 niños inscritos previamente por sus padres mientras se encontraban en situación de embarazo	Se demostró una asociación potencial entre la exposición laboral materna y la aparición de neuroblastoma en la descendencia. Pero no se pudo determinar si fue la radiación sola o en combinación con otros agentes se asoció con el neuroblastoma infantil.	No concluyente. No se detalló la exposición. Baja tasa de eventos (solo 3 niños desarrollaron la enfermedad a estudio) pese al tamaño muestral

DISCUSIÓN

Los estudios seleccionados, fueron tres estudios de casos-control y cuatro estudios de cohorte.

Solo unas pocas publicaciones abordan el tema de los trabajadores de la salud y la radiación en relación con afectación en la descendencia. Hasta hace poco, los estudios que buscaban efectos teratogénicos en humanos expuestos a radiación ionizante en áreas de trabajo definidas no dieron como resultado asociaciones significativas.

Tras la revisión de todos los artículos, se concluye, en tres de ellos (38, 39, 40), que existe un aumento de riesgo de aborto espontáneo, de forma significativa, tras la exposición ocupacional a radiación ionizante.

En el trabajo de Shuhaiber et al (37), el más antiguo, indica que las complicaciones en el parto y el sufrimiento fetal fueron similares al grupo no expuesto, aunque la tasa de malformaciones mayores entre los grupos de estudio y control fue no estadísticamente significativa.

En el artículo de Fucic et al (38) se analiza también la exposición a radioisótopos y concluye que las mujeres expuestas a radioisótopos presentan mayor riesgo de aborto espontáneo que las mujeres expuestas a rayos X, además la frecuencia media de anomalías cromosómicas es significativamente mayor en las madres expuestas a radiación sin diferencia entre expuestas a radioisótopos y rayos X.

En los trabajos de Lim et al (41) y Wiesel et al (42), concluyen un aumento de defectos congénitos en bebés de madres expuestas a radiación.

Y el último y más reciente, el trabajo de Koga et al (43), describió una asociación potencial entre la exposición laboral materna preconcepcional a radiación y la aparición de neuroblastoma en la descendencia, aunque no se pudo determinar si fue la radiación sola o en combinación con otros agentes lo que se asoció con el desarrollo de neuroblastoma infantil. En estudios anteriores se había demostrado la

posible asociación de la exposición intrauterina a la radiación ionizante con la leucemia, pero no con el neuroblastoma y el tumor cerebral (43-45).

Aunque es bien sabido que una dosis aguda de radiación ionizante es un peligro reproductivo, los riesgos reproductivos asociados con la exposición ocupacional a los rayos X durante el embarazo no están bien definidos debido a la limitación de estudios al respecto por consideraciones éticas al tratarse de un periodo vulnerable (44, 46-48).

Después del diagnóstico de embarazo, gran número de las mujeres que de forma habitual trabajaban con radiografías, abandonaron por completo su realización, y el número de mujeres que tomaban 10 o más radiografías por semana disminuyó drásticamente (de 15 mujeres antes del embarazo a 5 mujeres tras conocer su estado de gestación) (37).

Queda patente la preocupación entre las mujeres expuestas ocupacionalmente con respecto a su riesgo de exposición, sabiendo que una gran proporción de estas trabajadoras informó del uso del equipo de protección.

Una limitación importante es que no se recopiló información sobre las medidas para controlar las exposiciones (40-43), como el uso de guantes, respiradores, delantales de plomo, ventilación o sistemas de evacuación; así como tampoco se recopilaron datos sobre los tipos de agentes que se utilizaban, las formas de administración o las fuentes y dosis de radiación recibida (37,39-41,43).

A nivel metodológico también existen limitaciones, ya que el registro de la exposición a radiación en casi todos los estudios (37, 39-41, 43) fue autoinformada, salvo en los estudios de Fucic et al (38) y Wiesel et al (42). No se realizaron comprobaciones de dichas exposiciones ni tampoco se cuantificaron las dosis. En los casos en los que informaron del uso de dosímetros, las participantes desconocían las últimas mediciones de radiación (40, 42).

En cuanto a las medidas de protección contra la radiación, la restricción manual fue la más frecuente, generalmente involucrando a la participante misma y a otro empleado, en el caso de las veterinarias al trabajar con animales, también indicaron el uso de tranquilizantes para facilitar la sujeción del animal (37). El uso de delantales de plomo era generalizado, pero no todas las mujeres informaron del uso de guantes de plomo y

collares tiroideos como medida de precaución. Aunque la mayoría de las mujeres monitorearon su exposición a la radiación mediante dosímetros, como hemos dicho, muy pocas participantes eran conscientes de la última lectura de éstos (40).

El cáncer es raro en la infancia, pero es una enfermedad grave que pone en peligro la vida (45, 49). Aunque la etiología del cáncer infantil sigue siendo incierta, varios estudios (43, 45, 50) han sugerido que la exposición de los padres a diversos factores ambientales juega un papel en el desarrollo de cánceres en la descendencia.

La característica de las mujeres expuestas que tienen parejas más expuestas necesita una valoración añadida. En varios estudios (42, 43, 50) se menciona la exposición paterna como elemento a tener en cuenta y que merece especial mención. Uno de los estudios revisados (43) intenta describir el riesgo en aquellos embarazos en los que también el padre se encuentra expuesto a nivel laboral a radiación, pero no mostraron un efecto relevante en las anomalías congénitas en general, aunque sería necesario realizar un diseño de estudio específico para poder valorarlo.

El Real Decreto 783/2001 por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, es el que regula la protección de las mujeres gestantes trabajadoras que se encuentran expuestas a radiación ionizante. Es en el Artículo 10 "Protección especial durante el embarazo y la lactancia" y el Artículo 21 de este Reglamento donde se aborda a la trabajadora gestante expuesta. El Real Decreto 298/2009, de 6 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, en relación con la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de la trabajadora embarazada, que haya dado a luz o en período de lactancia.

Los principios de protección de los trabajadores se basarán en (5, 7, 13, 22):

La revisión de las condiciones de trabajo para determinar la magnitud y naturaleza del riesgo radiológico.

Se debe clasificar por zonas señalizadas específicamente los lugares de trabajo.

Para poder determinar estas áreas se deben tener en cuenta la evaluación de las dosis recibidas previstas al año, así como el riesgo de dispersión de la contaminación y la cuantificación de las exposiciones potenciales.

Los trabajadores expuestos a radiación, en función de sus condiciones laborales, deben clasificarse en categorías. Para cada zona y categoría laboral se han de aplicar las normas y medidas de vigilancia específicas, incluida si fuera necesaria la vigilancia individual. Si existe riesgo de exposición externa será obligatorio el uso de dosímetros individuales.

Todos los trabajadores deben cumplir con vigilancia sanitaria periódica que determine su estado de salud.

Las medidas en general a adoptar por la embarazada cuando existe riesgo de radiación externa y/o contaminación por radiación son: (22,29)

- Llevar siempre puesto el dosímetro individual y además el dosímetro sobre el abdomen, y comprobar los niveles de forma periódica.
- Mantenerse detrás de las barreras de protección (estructurales o mamparas). Realizar el disparo a la máxima distancia posible. Salir de la sala mientras se realiza una exploración, a no ser que sea imprescindible, en cuyo caso se deberá utilizar un delantal plomado y permanecer a la máxima distancia posible.
- Utilizar blindaje y delantal plomado.
- Cuando exista riesgo de contaminación deberá utilizar ropa específica y guantes desechables. Se deberá ventilar correctamente la sala y monitorizar manos y ropas antes de salir de la instalación, así como revisar los niveles diarios de contaminación externa.

Según el consejo de seguridad nuclear y el protocolo de protección de trabajadoras gestantes expuestas a radiación ionizante, las trabajadoras embarazadas no deberían estar expuestas a radiación si no existen barreras estructurales que limiten la exposición (22, 29).



CONCLUSIONES

Tras la revisión bibliográfica realizada para el trabajo, se puede concluir que existen datos de aumento de riesgo de desarrollar aborto espontáneo y también, de forma aislada, de cromosomopatía y defectos congénitos en la descendencia tras la exposición de la trabajadora embarazada a radiación ionizante.

Los riesgos derivados de la exposición a radiación ionizante en la embarazada son principalmente de afectación al feto, y los principales factores a tener en cuenta son la edad gestacional, la dosis absorbida por la trabajadora y su distribución en el tiempo.

Toda mujer expuesta a radiación ionizante debe comunicar cuanto antes su embarazo al responsable del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales que le corresponda. La situación de gestación de inicio no presupone que la mujer deba ser retirada del puesto de trabajo, pero sí es necesario evaluar y revisar las condiciones para que sean adecuadas a su nueva realidad.

En cualquier puesto, las condiciones laborales deben asegurar que la dosis recibida por el feto no sea mayor de 1 mSv.

De forma periódica, con control de dosímetro individual colocado a nivel de abdomen, se deberá evaluar el nivel de radiación que recibe la embarazada a lo largo de toda la gestación. En el caso de que no se garantice el nivel de radiación recibido, será necesario modificar sus condiciones de trabajo si suponen un riesgo.

La trabajadora embarazada debe estar completamente informada de los riesgos que pueden existir en el desempeño de su trabajo, debe conocer correctamente las medidas de protección y de los límites de dosis que puede recibir, hay que facilitar asistencia y asesoramiento siempre que lo necesite y adaptado a cada periodo gestacional.

Una trabajadora gestante, según la normativa, puede sentirse segura, siempre que en su puesto de trabajo mantenga unas condiciones laborales que garanticen que la dosis de radiación que el feto pueda recibir no sea superior a 1 mSv desde que el embarazo se notifica.

Se pueden plantear estudios futuros que evalúen de forma más detallada la exposición a la radiación, con medición de las dosis, control de correctas medidas de protección, y su relación con la afectación a la trabajadora gestante. Sería interesante evaluar también las medidas de protección en aquellas mujeres en edad fértil, que desconocen todavía su posible estado de embarazo, ya que el momento de mayor riesgo para el feto son las primeras semanas de gestación y es cuando la paciente desconoce su estado y puede descuidar su protección.

Sería recomendable insistir de forma más periódica en la información y formación de los trabajadores a través, por ejemplo, de técnicos en prevención de riesgos laborales que puedan informar y asesorar a los trabajadores sobre los riesgos a los que se exponen con los procedimientos habituales de su práctica diaria, pero también para aquellos procedimientos menos frecuentes y donde la exposición sea inevitable.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Orientaciones para la valoración del riesgo laboral y la incapacidad temporal durante el embarazo [Internet]. Recuperado a partir de:
<https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/C9671206-3074-43BE-812D-2B916897788B/151842/SEGOEmbarazo1.pdf>
2. Serrano, M.A. Huertas M.A. y Domínguez Ramos, E. Medicina materno fetal. Fisiología obstétrica. Crecimiento fetal normal. Características del feto a término; En ajo M, Carlos J, Mercé LT, De E. Fundamentos de obstetricia (SEGO). Madrid: Grupo Ene Publicidad; 2007.
3. Figà-Talamanca I. Occupational risk factors and reproductive health of women. Occupational Medicine 2006; 56:521–531 doi:10.1093/occmed/kql114
4. Alex MR. Occupational hazards for pregnant nurses. Am J Nurs. 2011 Jan;111(1):28-37; quiz 38-9. doi: 10.1097/01.NAJ.0000393056.01687.40. PMID: 21191230.
5. Catálogo de Publicaciones - Directrices para la evaluación de riesgos y protección de la maternidad en el trabajo - Año 2011 - Portal INSST - INSST [Internet]. Portal INSST. [cited 2022 Jul 19]. Recuperado a partir de:
<https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/directrices-para-la-evaluacion-de-riesgos-y-proteccion-de-la-maternidad-en-el-trabajo>
6. Bomben A. Presentación de la Publicación 84 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica “Embarazo e Irradiación Médica”, (ICRP-84) [Internet]. 2001 [cited 2022 Jul 19]. Recuperado a partir de: shorturl.at/klnsX
7. BOE.es - BOE-A-1995-24292 Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. [Internet]. www.boe.es. Recuperado a partir de:
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>
8. BOE.es - BOE-A-2009-3905 Real Decreto 298/2009, de 6 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, en relación con la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de la trabajadora embarazada, que haya dado a luz o en período de lactancia. [Internet]. [Www.boe.es](http://www.boe.es). 2021. Recuperado a partir de:
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-3905>

9. Grupo sanitario de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo (AEEMT). Guía Clínica-laboral para la prevención de riesgos durante el embarazo, parto reciente y lactancia en el ámbito sanitario. 2008;115.
10. De Inclusión M, Social S, Migraciones Y, De España G, De S, De E, et al. GUÍA DE AYUDA PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO LABORAL DURANTE EL EMBARAZO Tercera edición SEGURIDAD SOCIAL [Internet]. Recuperado a partir de: shorturl.at/eORV1
11. Marx MV. Baby on Board: Managing Occupational Radiation Exposure During Pregnancy. Tech Vasc Interv Radiol. 2018 Mar;21(1):32-36. doi: 10.1053/j.tvir.2017.12.007. Epub 2017 Dec 19. PMID: 29471998
12. Cortés Díaz J.M. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales. Seguridad en el Trabajo. 11ª edición. EDITORIAL TÉBAR, S.L., Madrid, año 2018. ISBN: 978-84-7360-626-4
13. Protocolos de vigilancia sanitaria específica radiaciones ionizantes Comisión de Salud Pública Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud [Internet]. Recuperado a partir de: <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/radiacio.pdf>
14. UNSCEAR, Badel AE, Rico-Mesa JS, Gaviria MC, Arango-Isaza D, Hernández Chica CA, et al. Clasificación de radiaciones ionizantes: Naturaleza de la radiación. Rev Colomb Cardiol. 2019;149(3):1–10.
15. Tema 7: aspectos generales de la interacción de la radiación con el medio biológico. Curso de SUPERVISORES de instalaciones radiactivas (IR) MÓDULO BÁSICO. CSN-2013 TEMA 7: ASPECTOS GENERALES - [PDF Document] [Internet]. fdocuments.es. [cited 2022 Jul 19]. Recuperado a partir de: shorturl.at/gstx7
16. Pascual A, Ingeniero B, Químico T, Gadea E, Licenciado C, Químicas C. NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección [Internet]. Recuperado a partir de: https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_614.pdf/ef28c36c-66d4-4bc9-a5cb-451c705927a9.
17. BOE.es - BOE-A-2001-14555 Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones

- ionizantes. [Internet]. www.boe.es. Recuperado a partir de:
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2001-14555>.
18. Embarazo y Lactancia en [Internet]. [cited 2022 Jul 19]. Recuperado a partir de:
https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/C9671206-3074-43BE-812D-2B916897788B/151679/ICIII_GuiaRiesgosEmbLact1.pdf.
 19. Schüz J, Deltour I, Krestinina LY, et al. In utero exposure to radiation and haematological malignancies: pooled analysis of Southern Urals cohorts. *Br J Cancer*. 2017;116(1):126-133. doi:10.1038/bjc.2016.373.
 20. Linet MS, Kim KP, Rajaraman P. Children's exposure to diagnostic medical radiation and cancer risk: epidemiologic and dosimetric considerations. *Pediatr Radiol*. 2009;39 Suppl 1(Suppl 1): S4-S26. doi:10.1007/s00247-008-1026-3.
 21. Mattsson S, Leide-Svegborn S, Andersson M. X-ray and molecular imaging during pregnancy and breastfeeding-when should we be worried? *Radiat Prot Dosimetry*. 2021;195(3-4):339-348. doi:10.1093/rpd/ncab041.
 22. BOE.es - BOE-A-2010-17709 Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio. [Internet]. [Www.boe.es](http://www.boe.es). 2022 [cited 2022 Jul 19]. Recuperado a partir de:
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-17709>
 23. BOE.es - BOE-A-1997-1853 Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. [Internet]. www.boe.es. Recuperado a partir de:
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-1853>
 24. Molyneux M.K. The physical environment. En *Occupational Health Practice*. 2ª Ed. By R.S.F. Schilling; 1981. Pág. 403-451
 25. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Aspectos Generales De La Interacción De La Radiacion Con El Medio Ambiente. Curso Superv Instal Radiact [Internet]. 2013;7(IR_SP_BA-TX-T07):29.
 26. Wunderle K, Gill AS. Radiation-related injuries and their management: an update. *Semin Intervent Radiol*. 2015;32(2):156-162. doi:10.1055/s-0035-1549446
 27. Cheek SK, Chiang VL. Adverse Radiation Effects. *Prog Neurol Surg*. 2019; 34:138-148. doi:10.1159/000493058.

28. Shaw P, Duncan A, Vouyouka A, Ozsvath K. Radiation exposure and pregnancy. *J Vasc Surg.* 2011;53(1 Suppl):28S-34S. doi: 10.1016/j.jvs.2010.05.140.
29. Protección de las trabajadoras gestantes - CSN [Internet]. www.csn.es. Recuperado a partir de: <https://www.csn.es/proteccion-radiologica/trabajadores/trabajadoras-gestantes>
30. Guilbaud L, Beghin D, Dhombres F, et al. Pregnancy outcome after first trimester exposure to ionizing radiations. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2019; 232:18-21. doi: 10.1016/j.ejogrb.2018.11.001.
31. Doses to the embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother. A report of The International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP.* 2001;31(1-3):19-515. doi:10.1016/S0146-6453(01)00022-7.
32. Hood J. The pregnant health care worker--an evidence-based approach to job assignment and reassignment. *AAOHN J.* 2008;56(8):329-333. doi:10.3928/08910162-20080801-08.
33. Applegate KE, Findlay Ú, Fraser L, Kinsella Y, Ainsbury L, Bouffler S. Radiation exposures in pregnancy, health effects and risks to the embryo/foetus-information to inform the medical management of the pregnant patient. *J Radiol Prot.* 2021;41(4):10.1088/1361-6498/ac1c95. Published 2021 Nov 15. doi:10.1088/1361-6498/ac1c95;
34. Olson, RA, Caon, J., Tyldesley, S. et al. Encuesta nacional de las opiniones de los proveedores de atención médica sobre el riesgo de exposición inadvertida de pacientes embarazadas a la radiación ionizante en los departamentos de radioterapia de Canadá. *J Radiat Oncol* 1, 81–85 (2012). <https://doi.org/10.1007/s13566-011-0001-z>
35. Wang RR, Kumar AH, Tanaka P, Macario A. Occupational Radiation Exposure of Anesthesia Providers: A Summary of Key Learning Points and Resident-Led Radiation Safety Projects. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* 2017;21(2):165-171. doi:10.1177/1089253217692110
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 [Internet]. Available from: <https://www.boe.es/doue/2014/013/L00001-00073.pdf>
37. Shuhaiber S, Einarson A, Radde IC, Sarkar M, Koren G. A prospective-controlled study of pregnant veterinary staff exposed to inhaled anesthetics and x-rays. *Int J Occup Med Environ Health*. 2002;15(4):363-373.
 38. Fucic A, Merlo DF, Ceppi M, Lucas JN. Spontaneous abortions in female populations occupationally exposed to ionizing radiation. *Int Arch Occup Environ Health*. 2008;81(7):873-879. doi:10.1007/s00420-007-0281-1.
 39. Shirangi A, Fritschi L, Holman CD. Maternal occupational exposures and risk of spontaneous abortion in veterinary practice. *Occup Environ Med*. 2008;65(11):719-725. doi:10.1136/oem.2007.035246.
 40. Lawson CC, Rocheleau CM, Whelan EA, et al. Occupational exposures among nurses and risk of spontaneous abortion. *Am J Obstet Gynecol*. 2012;206(4):327.e1-327.e3278. doi: 10.1016/j.ajog.2011.12.030
 41. Lim H, Agopian AJ, Whitehead LW, et al. Maternal occupational exposure to ionizing radiation and major structural birth defects. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol*. 2015;103(4):243-254. doi:10.1002/bdra.23340.
 42. Wiesel A, Stolz G, Queisser-Wahrendorf A. Evidence for a teratogenic risk in the offspring of health personnel exposed to ionizing radiation?! *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol*. 2016;106(6):475-479. doi:10.1002/bdra.23532.
 43. Koga Y, Sanefuji M, Toya S, et al. Infantile neuroblastoma and maternal occupational exposure to medical agents [published online ahead of print, 2021 Jul 9]. *Pediatr Res*. 2021;10.1038/s41390-021-01634-z. doi:10.1038/s41390-021-01634-z.
 44. Warembourg C, Cordier S, Garlantézec R. An update systematic review of fetal death, congenital anomalies, and fertility disorders among health care workers. *Am J Ind Med*. 2017;60(6):578-590. doi:10.1002/ajim.22711.

45. Linet MS, Kim KP, Rajaraman P. Children's exposure to diagnostic medical radiation and cancer risk: epidemiologic and dosimetric considerations. *Pediatr Radiol.* 2009;39 Suppl 1(Suppl 1): S4-S26. doi:10.1007/s00247-008-1026-3
46. Economides S, Boziari A, Vogiatzi S, Hourdakos KJ, Kamenopoulou V, Dimitriou P. Prevention of and response to inadvertent exposure of embryo/fetus to ionizing radiation, due to medical exposure of the mother. The Greek regulatory authority initiatives. *Phys Med.* 2014;30(2):155-159. doi: 10.1016/j.ejmp.2013.04.005
47. Ghatan CE, Fassiotto M, Jacobsen JP, Sze DY, Kothary N. Occupational Radiation Exposure during Pregnancy: A Survey of Attitudes and Practices among Interventional Radiologists. *J Vasc Interv Radiol.* 2016;27(7):1013-1020.e3. doi: 10.1016/j.jvir.2016.03.040
48. Markou P. [Fetus radiation doses from nuclear medicine and radiology diagnostic procedures. Potential risks and radiation protection instructions]. *Hell J Nucl Med.* 2007 Jan-Apr;10(1):48-55. Greek, Modern. PMID: 17450255
49. 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 Jan;200(1):4-24. doi: 10.1016/j.ajog.2008.06.032. PMID: 19121655.
50. Bross ID, Natarajan N. Risk of leukemia in susceptible children exposed to preconception, in utero and postnatal radiation. *Prev Med.* 1974 Sep;3(3):361-9. doi: 10.1016/0091-7435(74)90048-6. PMID: 4415641

