

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Radiaciones ionizantes durante el embarazo, los riesgos

José Lattus Olmos*.

RESUMEN

La radiación ionizante (RI) es la energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Estas RI que provienen de fuentes naturales, como el suelo, el agua o la vegetación, y a fuentes artificiales, tales como los rayos X y algunos dispositivos médicos, exponen a todos los seres humanos. Las RI tienen muchas aplicaciones beneficiosas en la medicina, la industria, la agricultura y la investigación. El uso de las RI, cada vez más frecuente, constituye los posibles peligros para la salud si no se utilizan o contienen adecuadamente. Las dosis de radiación que superan determinados niveles pueden tener efectos agudos en la salud, tales como quemaduras cutáneas o síndrome de irradiación aguda. En cambio las dosis bajas de RI pueden aumentar el riesgo de efectos a largo plazo, tales como el cáncer.

Palabras claves: Radiaciones ionizantes, embarazo, riesgos.

SUMMARY

Ionizing radiation (IR) is the energy released by the atoms in the form of electromagnetic waves or particles. This RI They comes from natural sources such as soil, water or vegetation, and artificial sources, tales of how X-rays and some Medical Devices, exposed to all human beings. The RI has many beneficial applications in medicine, industry, agriculture and research. The use of RI, increasingly common, is Potential health hazards if not used properly or contain. Radiation doses exceeding certain levels can have acute health effects Health tales as skin burns or acute radiation syndrome. Change in RI Low doses can increase the Risk of Long-Term Effects one, stories like cancer.

Key words: Ionizing radiation, pregnancy, risks.

* Ginecólogo Obstetra. Profesor Asociado de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. Área Oriente-Peñalolén de Santiago. Servicio de Ginecología y Obstetricia. Hospital Santiago Oriente, Dr. Luis Tisné Brousse.

Correspondencia E mail: doctorjoselattus@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las RI fueron descubiertas por Wilhelm Conrad von Röntgen (Lennep; 27 de marzo de 1845-10 de febrero de 1923) físico alemán, de la Universidad de Wurzburg, quien el 8 de noviembre de 1895 produjo radiación electromagnética en las longitudes de onda correspondiente a los actualmente llamados rayos X, fue Premio Nobel de Física en 1901¹. El Röntgen o roentgen es una antigua unidad utilizada para medir el efecto de las RI, que toma el nombre de su descubridor en el año 1928, y no se utiliza en la actualidad.

Luego del descubrimiento hecho por Roentgen en 1895, los rayos X fueron introducidos con tanta rapidez para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades que casi enseguida comenzaron a encontrarse lesiones debidas a exposición excesiva a la radiación entre los primeros radiólogos, que todavía no eran conscientes de sus riesgos (Brown 1933). Las primeras lesiones fueron sobre todo reacciones cutáneas en las manos de quienes trabajaban con los primeros equipos de radiología, pero ya en el primer decenio se habían comunicado otros tipos de lesiones, incluidos los primeros cánceres atribuidos a la radiación informado por Stone en 1959².

En el curso del siglo transcurrido desde estos primeros hallazgos, el estudio de los efectos biológicos de la RI ha recibido un impulso permanente como consecuencia del uso cada vez mayor de la radiación en medicina, ciencia e industria, así como de las aplicaciones pacíficas y militares de la energía atómica. El resultado es que los efectos biológicos de la radiación se han investigado más a fondo que los de prácticamente cualquier otro agente ambiental. El desarrollo de los conocimientos sobre los efectos de la radiación ha determinado el perfeccionamiento de medidas para proteger la salud humana contra muchos otros peligros medioambientales, además de la radiación³.

Las RI están en todas partes. Llegan desde el espacio exterior en forma de rayos cósmicos. Está en el aire en forma de emisiones del radón radiactivo y su progenie. Los isótopos radiactivos que se originan de forma natural entran y permanecen en todos los seres vivos. Es inevitable. De hecho, todas las especies de este planeta han evolucionado en presencia de las RI. Aunque los seres humanos expuestos a dosis pequeñas de radiación pueden no presentar de inmediato ningún efecto biológico aparente, no hay duda de que la RI, cuando se administra en cantidades suficientes, puede causar daños. El tipo y el grado de estos efectos son bien conocidos^{2,3}.

Si bien la RI puede ser perjudicial, también tiene muchas aplicaciones beneficiosas. El uranio radiactivo genera electricidad en centrales nucleares instaladas en muchos países. En medicina, los rayos X permiten obtener radiografías para el diagnóstico de lesiones y

enfermedades internas. Los médicos especializados en medicina nuclear utilizan material radiactivo como trazadores para formar imágenes detalladas de estructuras internas y estudiar el metabolismo. En la actualidad se dispone de radiofármacos terapéuticos para tratar trastornos como el hipertiroidismo y el cáncer. Los médicos utilizan en radioterapia rayos gamma, haces de piones, haces de electrones, neutrones y otros tipos de radiación para tratar el cáncer. Los ingenieros emplean material radiactivo en las operaciones de registro de pozos petrolíferos y para medir la densidad de la humedad en los suelos. Los radiólogos industriales se valen de rayos X en el control de calidad para observar las estructuras internas de aparatos fabricados. Las señales de las salidas de edificios y aviones contienen tritio radiactivo para que brillen en la oscuridad en caso de fallo de la energía eléctrica. Muchos detectores de humos en viviendas y edificios comerciales contienen americio radiactivo⁴.

¿QUÉ ES LA RI?

La RI es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o rayos X) o partículas (partículas alfa y beta o neutrones). La desintegración espontánea de los átomos se denomina radiactividad, y la energía excedente emitida es una forma de radiación ionizante. Los elementos inestables que se desintegran y emiten radiación ionizante se denominan radionúclidos.

Los radionúclidos se caracterizan por el tipo de radiación que emiten, la energía de la radiación y su semivida.

La actividad, utilizada como medida de la cantidad de un radionúclido, se expresa en una unidad llamada *becquerel* (Bq), que corresponde a una desintegración por segundo. La semivida es el tiempo necesario para que la actividad de un radionúclido disminuya por la desintegración a la mitad de su valor inicial. La semivida de un elemento radiactivo es el tiempo que tarda la mitad de sus átomos en desintegrarse, y puede variar desde una fracción de segundo a millones de años (por ejemplo, el yodo 131 tiene una semivida de 8 días mientras que el carbono 14 tiene una semivida de 5.730 años). Antoine Henri Becquerel (París, 15 de diciembre de 1852-Le Croisic, 25 de agosto de 1908) fue un físico francés descubridor de la radiactividad y galardonado con el Premio Nobel de Física del año 1903⁵.

FUENTES DE RADIACIÓN

Las personas están expuestas a la radiación natural a diario. La radiación natural proviene de muchas fuentes,

como los más de 60 materiales radiactivos naturales presentes en el suelo, el agua y el aire. El radón es un gas natural que emana de las rocas y la tierra y es la principal fuente de radiación natural. Diariamente inhalamos e ingerimos radionúclidos presentes en el aire, los alimentos y el agua⁶.

Asimismo, estamos expuestos a la radiación natural de los rayos cósmicos, especialmente a gran altura. Por término medio, el 80% de la dosis anual de radiación de fondo que recibe una persona procede de fuentes de radiaciones naturales, terrestres y cósmicas. Los niveles de la radiación de fondo varían debido a diferencias geológicas. En determinadas zonas la exposición puede ser más de 200 veces mayor que la media mundial.

La radiación a que están expuestos los seres humanos proviene de fuentes artificiales que van desde la generación de energía nuclear hasta el uso médico de la radiación para fines diagnósticos o terapéuticos. Hoy día, las fuentes artificiales más comunes de radiación ionizante son los aparatos de rayos X y otros dispositivos médicos.

TIPOS DE EXPOSICIÓN

La exposición a la radiación puede ser interna o externa, y puede tener lugar por diferentes vías. La exposición interna a la RI se produce cuando un radionúclido es inhalado, ingerido o entra de algún otro modo en el torrente sanguíneo (por ejemplo, inyecciones o heridas). La exposición interna cesa cuando el radionúclido se elimina del cuerpo, ya sea espontáneamente (por ejemplo, en los excrementos) o gracias a un tratamiento.

La contaminación externa se puede producir cuando el material radiactivo presente en el aire (polvo, líquidos, aerosoles) se deposita sobre la piel o la ropa. Generalmente, este tipo de material radiactivo puede eliminarse del organismo por simple lavado.

La exposición a la radiación ionizante también puede resultar de la irradiación externa (por ejemplo, la exposición médica a los rayos X). La irradiación externa es detenida cuando la fuente de radiación está blindada por delantales de plomo por ejemplo, o la persona sale del campo de irradiación.

EFFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LA SALUD

El daño causado por la radiación en los órganos y tejidos depende de la dosis recibida, o dosis absorbida, que se expresa en una unidad llamada *gray* (Gy): dosis absorbida de RI por un determinado material. Este daño que se puede producir por una dosis absorbida, depende del tipo de radiación y de la sensibilidad de los diferentes

órganos y tejidos. Esta unidad se estableció en 1975. Fue nombrada así en honor al físico inglés Louis Harold Gray.

El *sievert* (Sv) es una unidad de dosis de radiación ponderada, también se la denomina dosis efectiva. Es una forma de medir la RI en términos de su potencial para causar daño. El sievert tiene en cuenta el tipo de radiación y la sensibilidad de los tejidos y órganos. El sievert es una unidad muy grande, por lo que resulta más práctico utilizar unidades menores, como el *mili sievert* (mSv) o el *micro sievert* (μSv). Hay 1000 μSv en 1 mSv, y 1000 mSv en 1 Sv. Además de utilizarse para medir la cantidad de radiación (dosis), también es útil para expresar la velocidad a la que se entrega esta dosis (tasa de dosis), por ejemplo en μSv/hora o mSv/año. Se utilizó este nombre en honor al físico sueco Rolf Maximilian Sievert (6 de mayo de 1896 - 3 de octubre de 1966) fue un físico médico cuya mayor contribución a la ciencia fue el estudio de los efectos biológicos de la radiación ionizante.

Más allá de ciertos umbrales, la radiación puede afectar el funcionamiento de órganos y tejidos, y producir efectos agudos tales como enrojecimiento de la piel, caída del cabello, quemaduras por radiación o síndrome de irradiación aguda. Estos efectos son más intensos con dosis más altas y mayores tasas de dosis. Por ejemplo, la dosis liminar, umbral o entrada para el síndrome de irradiación aguda es de aproximadamente 1 Sv (1000 mSv).

Si la dosis es baja o se recibe a lo largo de un periodo amplio (tasa de dosis baja) hay más probabilidades de que las células dañadas se reparen con éxito. Aun así, pueden producirse efectos a largo plazo si el daño celular es reparado, pero incorpora errores, transformando una célula irradiada que todavía conserva su capacidad de división. Esa transformación puede producir cáncer pasados años o incluso decenios. No siempre se producen efectos de este tipo, pero la probabilidad de que ocurran es proporcional a la dosis de radiación. El riesgo es mayor para los niños y adolescentes, ya que son mucho más sensibles que los adultos a la exposición a la radiación.

Los estudios epidemiológicos de poblaciones expuestas a la radiación (sobrevivientes de la bomba atómica o pacientes sometidos a radioterapia) muestran un aumento significativo del riesgo de cáncer con dosis superiores a 100 mSv⁷.

La RI puede producir daños cerebrales en el feto tras la exposición prenatal aguda a dosis superiores a 100 mSv entre las 8 y las 15 semanas de gestación y a 200 mSv entre las semanas 16 y 25. Los estudios en humanos no han demostrado riesgo para el desarrollo del cerebro fetal con la exposición a la radiación antes de la semana 8 o después de la semana 25. Los estudios epidemiológicos indican que el riesgo de cáncer tras la exposición fetal a la radiación es similar al riesgo tras la exposición en la primera infancia⁸.

EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN EN EMERGENCIAS NUCLEARES

En los accidentes ocurridos en plantas de energía nuclear puede liberarse material radiactivo al medio ambiente. Los radionúclidos más preocupantes para la salud humana son el yodo y el cesio. En el manejo y control de esas emergencias es probable que se produzca exposición ocupacional, interna o externa, de los rescatadores, del personal de primeros auxilios y trabajadores de las centrales nucleares. Estas dosis de radiación pueden ser suficientemente altas como para causar efectos agudos, tales como quemaduras en la piel o síndrome de irradiación aguda⁷.

Aquellos que viven muy cerca de centrales nucleares pueden sufrir exposición externa a los radionúclidos presentes en una nube radiactiva o depositada en el suelo. También se pueden contaminar externamente por partículas radiactivas depositadas en la piel o la ropa. Además puede haber exposición interna si los radionúclidos se inhalan, ingieren o introducen en heridas abiertas.

En general no es probable que la población se vea expuesta a dosis suficientemente altas para causar efectos agudos, pero sí a dosis bajas las que podrían aumentar el riesgo de efectos a largo plazo, como el cáncer. El consumo de agua o alimentos contaminados contribuye a la exposición global a la radiación^{2-4,6}.

Si se libera yodo radiactivo en el medio ambiente y penetra en el organismo por inhalación o ingestión, se concentrará en el tiroides aumentando el riesgo de cáncer de tiroides. El riesgo de cáncer de tiroides es mayor en los niños que en los adultos, en particular en los menores de 5 años y en aquellos cuyas dietas son generalmente carentes en yodo.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE LA SALUD EN LAS EMERGENCIAS NUCLEARES

En las grandes emergencias nucleares pueden aplicarse medidas de protección de la salud pública para limitar la exposición a la radiación y sus riesgos para la salud.

En su fase inicial, ocurridas estas emergencias (primeras horas o días) deben aplicarse medidas protectoras urgentes para prevenir la exposición a la radiación, teniendo en cuenta las dosis previsibles que se pueden haber recibido en el corto plazo (por ejemplo, dosis efectiva en 2-7 días, dosis tiroidea en una semana). Las decisiones se basan en las condiciones de las centrales nucleares, la cantidad de radiactividad real o potencialmente liberada a la atmósfera, las condiciones meteorológicas (por ejemplo, velocidad y dirección del viento, precipitación) y otros factores. Las autoridades locales pueden anunciar medidas urgentes como la evacuación,

el refugio bajo techo o la administración de yodo no radiactivo⁷.

La evacuación de la población debe ser de rigor cuando se utiliza como medida de precaución antes de una emisión a la atmósfera. El refugio bajo techo (por ejemplo, en casas, escuelas o edificios de oficinas) también puede reducir significativamente la exposición al material radiactivo liberado y dispersado.

La administración de yodo no radiactivo puede impedir la captación del yodo radiactivo por el tiroides. La toma de pastillas de yoduro de potasio antes o poco después de la exposición satura el tiroides de yodo y reduce la dosis de yodo radiactivo y el riesgo de cáncer de tiroides. Los comprimidos de yoduro de potasio no protegen de la radiación externa ni de otras sustancias radiactivas distintas del yodo.

Las pastillas de yoduro de potasio deben tomarse solo cuando así lo indiquen las autoridades competentes. Es importante seguir las recomendaciones de dosis, especialmente en los niños. Las embarazadas deben tomar pastillas de yoduro de potasio cuando así lo indiquen las autoridades competentes para proteger tanto su tiroides como el del feto. Cuando esté indicado, las mujeres lactantes también deben tomar pastillas de yoduro de potasio para protegerse a sí mismas y proporcionar al lactante yoduro de potasio con leche materna.

Se pueden tomar medidas con respecto a los alimentos, el agua y la agricultura a fin de reducir la exposición a la radiación durante la fase inicial de una emergencia (por ejemplo, restricción del consumo de agua y de alimentos y lácteos de producción local).

El apoyo psicológico para paliar el estrés agudo tras un accidente nuclear puede acelerar la recuperación y evitar consecuencias a largo plazo, como el trastorno de estrés postraumático u otros trastornos mentales persistentes. Las reacciones pueden ser intensas y prolongadas, y tener un impacto emocional profundo, sobre todo en los niños.

A medida que se vayan acumulando datos sobre la situación medioambiental y humana se pueden adoptar medidas de protección, como la reubicación de la población en viviendas temporales o, a veces, en reasentamientos permanentes. Estas medidas de protección se aplican teniendo en cuenta las dosis que puede recibir la población a largo plazo (por ejemplo, dosis efectiva a lo largo de un año). Deben establecerse programas de control de los alimentos y el agua para fundamentar decisiones a más largo plazo sobre la restricción de alimentos, el consumo de agua y el control del comercio internacional de productos alimentarios.

La fase de recuperación puede durar bastante tiempo. El cese de las medidas de protección debe vincularse a los datos del control medioambiental, de los alimentos y de la salud humana, y basarse en análisis de los riesgos y

beneficios. Deben establecerse programas apropiados de seguimiento a largo plazo para evaluar las consecuencias para la salud pública y la necesidad de medidas posteriores⁶.

REPUESTA DE LA OMS

De conformidad con su Constitución y con el Reglamento Sanitario Internacional (2005), la OMS tiene el mandato de evaluar los riesgos para la salud pública y ofrecer asesoramiento y asistencia técnica en eventos de salud pública, incluidos los relacionados con la radiación. Para llevar a cabo esa labor, la OMS colabora con expertos independientes y otros organismos de las Naciones Unidas.

La labor de la OMS cuenta con el apoyo de una red mundial compuesta por más de 40 instituciones especializadas en medicina de emergencias nucleares. La Red de Preparación y Asistencia Médica para las Situaciones de Emergencia relacionadas con la radiación proporciona asistencia técnica para la preparación y respuesta ante emergencias nucleares^{6,7}.

La exposición de un bebé en gestación a la radiación se denomina exposición prenatal a la radiación. Esto puede suceder cuando el abdomen de la madre está expuesto a la radiación originada en una fuente externa a su cuerpo. Asimismo, una mujer embarazada que accidentalmente ingiere o respira materiales radioactivos puede absorber la sustancia en la sangre. Los materiales radioactivos pueden pasar de la sangre de la madre al bebé a través del cordón umbilical o concentrarse en áreas del cuerpo de la madre que están cercanas a la matriz (como la vejiga) y exponer el bebé a la radiación¹⁰.

La posibilidad de que se presenten efectos graves en la salud depende de la edad de gestación del bebé al momento de la exposición y de la cantidad de radiación a la que estuvo expuesto. Los bebés que están en el vientre de la madre son menos sensibles durante algunas fases del embarazo que durante otras. Sin embargo, son particularmente sensibles a la radiación durante su desarrollo temprano, entre las semanas 2 y 15 del embarazo. Las consecuencias para la salud pueden ser graves, aun con dosis de radiación tan bajas que no llegan a enfermar a la madre. Estas consecuencias pueden ser, entre otras, retrasos en el crecimiento, deformidades, funciones cerebrales anormales o cáncer que puede presentarse más adelante en la vida. Sin embargo, debido a que el bebé está resguardado por el abdomen de la madre, la matriz lo protege de fuentes radioactivas externas al cuerpo de la madre. En consecuencia, la dosis de radiación que recibe el bebé en gestación es menor que la dosis que recibe la madre en la mayoría de los incidentes de exposición por radiación¹¹⁻¹³.

Las mujeres embarazadas deben consultar con el médico si tienen alguna inquietud sobre la exposición de sus fetos a la radiación¹⁰.

MAYOR RIESGO DE CÁNCER

La exposición a la radiación intrauterina puede aumentar el riesgo de que la persona desarrolle cáncer más adelante en la vida¹⁰⁻¹³.

Los fetos en desarrollo son especialmente sensibles a los efectos de la radiación que causan cáncer. Sin embargo, el aumento de ese riesgo depende de la cantidad de radiación a la cual estuvo expuesto el feto y a la duración de esa exposición. Por ejemplo, si la dosis de radiación que recibió fue más o menos equivalente a 500 rayos X de pecho tomados al mismo tiempo, el incremento del riesgo de que desarrolle cáncer más adelante en la vida será menor del 2% (por encima del riesgo promedio de desarrollar cáncer durante el transcurso de la vida que es del 40% a 50%).

OTROS RIESGOS

DEBIDO A LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN

Los efectos en la salud por la exposición a la radiación, diferentes al cáncer, no son factibles cuando la dosis que recibió el feto en gestación es muy baja. La mayoría de los investigadores coinciden en que los fetos que han recibido dosis pequeñas de radiación (equivalentes a 500 rayos X de pecho o menos) en cualquier momento del embarazo no tienen un riesgo mayor de sufrir defectos de nacimiento. El único riesgo que aumenta para esos casos es una posibilidad levemente mayor de desarrollar cáncer más adelante en la vida.

Durante las primeras 2 semanas del embarazo, la pre-ocupación más grande por los efectos de la radiación es la muerte del embrión, ya que el embrión está formado solamente por unas pocas células. El daño a una célula puede causar la muerte del embrión aun antes de que la madre sepa que está embarazada. Sin embargo, entre los que sobreviven, pocos tendrán defectos de nacimiento relacionados con la exposición, sin importar la cantidad de radiación a la que estuvieron expuestos¹⁰.

Las dosis grandes de radiación recibidas por el bebé durante las fases más sensibles del desarrollo (entre las semanas 2 y 15 del embarazo) pueden causar defectos de nacimiento, que afectan especialmente al cerebro.

Si el feto en gestación ha estado expuesto a grandes dosis de radiación (por encima de la dosis de 500 rayos X de pecho) durante las fases más sensibles del embarazo (especialmente entre las semanas 8 a 15 del embarazo), las consecuencias a la salud pueden ser graves y el cerebro

puede verse especialmente afectado. En los fetos que estuvieron expuestos a las bombas atómicas arrojadas contra Hiroshima y Nagasaki durante las semanas 8 a la 15 del embarazo se encontró una tasa más alta de daño cerebral, que resultó en un coeficiente intelectual más bajo y hasta retraso mental severo. También sufrieron retrasos en el crecimiento (su estatura era hasta 4% menor que la estatura de la persona promedio) y se les incrementó el riesgo de sufrir otros defectos de nacimiento.

Entre la semana 16 hasta el nacimiento, los efectos en la salud provocados por la radiación (además del cáncer) son poco factibles, a menos que el bebé reciba una dosis extremadamente grande de radiación.

Entre la semana 16 a la 25 del embarazo pueden presentarse consecuencias a la salud similares a las descritas para la semana 8 a la 15, pero solamente cuando las dosis son extremadamente grandes (más de unos 5.000 rayos X de pecho recibidos al mismo tiempo). Si recibe esta dosis, la madre puede mostrar los signos de síndrome agudo por radiaciones, conocido a veces como enfermedad por radiación.

Después de la semana 26 del embarazo, la sensibilidad del feto en gestación a la radiación es parecida a la de un recién nacido.

En la semana 26 del embarazo, el feto está completamente desarrollado aunque todavía no ha terminado del todo su crecimiento. Los fetos en gestación expuestos a la radiación intrauterina durante esta fase del embarazo no son más sensibles a los efectos de la radiación que los recién nacidos. Esto quiere decir que no es probable que se presenten defectos de nacimiento y solamente hay un leve incremento en el riesgo de desarrollar cáncer más adelante en la vida¹⁴.

Hay que enfatizar otra vez, que es importante que las mujeres que están preocupadas por la exposición de sus embarazos a la radiación deban consultar con el médico.

Pregunta

¿Qué riesgos suponen para el feto las exploraciones radiológicas realizadas a la madre durante el embarazo?

Respuesta

Las exploraciones radiológicas que se realizan durante el embarazo, la mayoría de las veces de manera inadvertida sin que la mujer sepa aún que está embarazada, originan un alto grado de ansiedad debido a la asociación generalizada entre el término «radiación» y peligro, en este caso para el feto. Según los datos de algunos estudios, tanto la embarazada como el profesional sanitario tienden a sobrestimar este riesgo, lo que en ocasiones lleva a la interrupción del embarazo¹⁰.

Es indudable que las radiaciones ionizantes, entre las que se encuentran los rayos X utilizados en las explora-

ciones radiológicas convencionales, son potencialmente peligrosas. La energía depositada por la radiación en los tejidos humanos produce ionización de sus átomos y moléculas, así como cambios estructurales en las células que pueden tener efectos perjudiciales. Estos efectos pueden ser somáticos, si sólo afectan a la salud del individuo irradiado, o hereditarios, si afectan a su descendencia. Actualmente la unidad de medida de la dosis absorbida (medida de la energía depositada por unidad de masa que sirve para calibrar el posible efecto biológico) es el gray (Gy) y el mili gray (mGy); 1 Gy equivale a 1.000 mGy o 100 rads. El efecto biológico depende también del tipo de radiación, y para valorarlo se utiliza la dosis equivalente, cuya unidad de medida es el sievert (Sv) y el mili sievert (mSv). En el caso de los rayos X, 1 Gy de dosis absorbida por órgano es 1 Sv de dosis equivalentes^{4,6}.

La información disponible sobre los daños producidos por la radiación en la descendencia procede sobre todo de estudios en animales y del seguimiento de personas expuestas a las bombas atómicas en Japón o al accidente en la planta nuclear de Chernobil. La exposición intrauterina por encima del umbral de riesgo puede tener diversos efectos: pérdida del embarazo (aborto o muerte fetal intrauterina), malformaciones congénitas, anomalías del desarrollo (retraso del crecimiento y retraso mental) y cáncer. Todos menos el último son fenómenos que están relacionados con la dosis recibida (existe una dosis umbral por debajo de la cual estas anomalías no se producen y la gravedad del efecto depende de la dosis recibida) y el período gestacional en que ocurre la exposición.

En los primeros 14 días posconcepción el efecto más probable es el fallo en la implantación del embrión o un aborto prematuro, o que la exposición no tenga ninguna consecuencia. Esto no quiere decir que las malformaciones no puedan producirse, sino que, si las anomalías citogenéticas y las malformaciones se producen, tienen una alta incidencia de mortalidad. Esta asunción se basa en estudios en animales, ya que no hay estudios realizados en humanos que lo corroboren. No obstante, la duración del proceso biológico (proliferación celular y diferenciación) del período de preimplantación es similar, aunque no estrictamente extrapolable, en los mamíferos (5 días en el ratón, 7 en la rata y 8 en humanos). Las malformaciones observadas en estos estudios en animales se han limitado a un pequeño número de anomalías (exencefalia, polidactilia o gastrosquisis) que también se producen espontáneamente en las especies estudiadas y se han atribuido más a un efecto epigenético (predisposición genética) que a un clásico efecto teratógeno^{3,4}. A partir de estos estudios en animales se ha estimado que la dosis mínima letal para embriones humanos es de 10 rad (0,1 Gy)³. No obstante, según la

revisión de Lowe⁵ no se observó un incremento de la tasa de muertes fetales tras la explosión nuclear en Japón o tras el accidente de Chernobyl^{7,13,14}.

Durante la fase de organogénesis (de la segunda a la octava semanas posconcepción) el embrión es más sensible a los efectos teratógenos. La dosis estimada en humanos a partir de la cual podrían producirse malformaciones en los órganos fetales es de 0,1 Gy (100 mGy), pudiendo ocurrir malformaciones francas a partir de 0,2 Gy (200 mGy)³. Se han descrito anomalías esqueléticas, hipoplasia de genitales y anomalías oculares (cataratas, degeneración retiniana, atrofia óptica) con exposiciones superiores a 1 Gy. No obstante, la anomalía más característica es la microcefalia, con o sin retraso mental. El sistema nervioso central (SNC) es especialmente radiosensible entre las 8 y 15 semanas, cuando presenta una importante actividad mitótica y proliferativa, y la dosis umbral en este período para producir microcefalia se estima en 20 Gy o más, y en 0,06-0,31 Gy para el retraso mental⁶. Los datos procedentes de los supervivientes de la bomba atómica indican que durante este período el riesgo de retraso mental grave por encima de la exposición a 0,1 Gy es del 40% por cada gray. No se notificaron casos de retraso mental en exposiciones inferiores a 1 Gy ocurridas antes de las 8 semanas o después de las 25. Otros autores tampoco observaron casos de retraso mental con exposiciones intrauterinas de 0,5 Gy⁷.

A partir del período fetal disminuye la sensibilidad al efecto teratógeno, pero el SNC continúa siendo sensible y el retraso del crecimiento que se puede producir en este período es más difícil de recuperar en el posparto³. Los efectos de la radiación observados entre las semanas 16 y 25 son similares a los detectados entre las semanas 8 y 15, pero se necesitan exposiciones más altas para que se produzcan. Con las mismas dosis el porcentaje de retraso mental baja al 9%. Después de las 25 semanas el SNC es relativamente más radiorresistente y las malformaciones y anomalías funcionales son improbables.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la exposición a la radiación procedente de los accidentes nucleares se produce a dosis altas y de manera incontrolada a diversos isótopos radiactivos. En cambio, la mayoría de las técnicas de radiodiagnóstico exponen al feto a dosis bajas, generalmente inferiores a 0,05 Gy. Por ejemplo, una radiografía de tórax, de columna cervical o torácica, o de extremidades, expone al feto a menos de 0,01 mGy. Sólo si el feto está situado dentro del campo de la exploración radiológica, como serían las exploraciones del abdomen, de la pelvis o de la columna lumbar, se expone directamente al haz de la radiación y las dosis recibidas son más altas. Aun así generalmente están por debajo de los límites considerados de riesgo. La dosis fetal media absorbida en una radiografía materna de abdomen se sitúa en unos 2,9 mGy, y en una de columna lumbar, en 4,2 mGy⁷.

Se han publicado pocos estudios que evalúen el riesgo de las exploraciones radiológicas y la mayoría indica que no hay un incremento del mismo. En el seguimiento de una cohorte de 62 mujeres expuestas a técnicas de radiodiagnóstico, la tasa de abortos, muerte fetal intrauterina, nacidos vivos, peso al nacer, defectos congénitos mayores y muertes neonatales fue similar a la del grupo control de mujeres no expuestas a teratógenos. La dosis de radiación fetal fue de 0,01 a 47,92 mGy. El término medio de la exposición fue a las 7,2 semanas. En el grupo expuesto, 6 mujeres interrumpieron de manera voluntaria el embarazo, 5 por miedo a los posibles efectos de la radiación ($p=0,036$)⁹. Tampoco se observó un incremento del riesgo fetal en 3 pequeños estudios realizados en mujeres que se encontraban en su segundo y tercer trimestre de embarazo y a quienes se había efectuado una colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (ERCP). La dosis fetal de radiación procedente de la fluoroscopia se situó entre 1 y 3,1 mGy^{18,19,20}.

Por último, en cuanto al posible incremento del riesgo de cáncer en los niños expuestos intraútero a las radiaciones, se considera que es un fenómeno estocástico (al azar) y que no hay una dosis umbral, aunque a medida que aumenta la dosis equivalente se incrementa la probabilidad de que aparezca este efecto². Estudios epidemiológicos realizados tras el accidente de la central nuclear de Chernobyl indican un incremento pequeño, pero significativo, del riesgo de leucemia en los niños de algunos países de Europa. El incremento del riesgo en la cohorte con exposición intrauterina fue de un exceso de 11 casos en Grecia y de 11,4 en Alemania. No obstante, ha de tenerse en cuenta la incidencia de la leucemia en la cohorte no expuesta, que fue de 2,79/105 en Grecia y de 2,54/105 en Alemania, por lo que este exceso de riesgo en términos absolutos es muy pequeño.

Estudios de casos y controles publicados en las décadas de 1950 y 1970 notificaron un posible incremento del 40% del riesgo de leucemia en los niños de mujeres a las que se hicieron exploraciones radiológicas durante el embarazo. Estos resultados se han criticado por la baja calidad y los defectos metodológicos de los estudios. Estudios más recientes y mejor diseñados no han corroborado esta asociación. Así lo manifiestan los autores de una revisión narrativa de 9 estudios de casos y controles de calidad aceptable. En los estudios que evaluaron el riesgo de leucemia, la *Odds ratio* (OR) fue de 0,8 a 1,8 (intervalo de confianza [IC] del 95%, 0,5-3,6) para la exposición a exploraciones radiológicas en general y de 0,7 a 3,4 (IC del 95%, 0,4-12,9) para las pélvicas. El riesgo de tumores del SNC para cualquier exploración y para las abdominales (OR =0,78; IC del 95%, 0,44-1,36, y OR =1,5; IC del 95%, 0,5-4,2, respectivamente), y el de cualquier tipo de cáncer (OR =0,92-1,2; IC del 95%, 0,47-2,4, y OR =1,4; IC del 95%, 0,8-2,5, res-

pectivamente) tampoco fueron significativamente más elevados.

Según la Comisión Internacional de Protección Radiológica, una estimación conservadora del riesgo total de inducción de cáncer o leucemia infantiles a una dosis de 100 mGy es de aproximadamente uno en 170. Sin que medie exposición a las radiaciones (aparte del fondo natural de radiación), el riesgo durante toda la vida de presentar cáncer es aproximadamente de 1 en 3, y para cánceres mortales ese riesgo se cifra en torno a 1 en 5. Como se ha señalado más arriba, las malformaciones debidas a las radiaciones probablemente no ocurren a dosis menores de 100-200 mGy¹⁵.

CONCLUSIÓN

Las RI, entre las que se encuentran los rayos X, por su propio mecanismo de acción son potencialmente peligrosas para el feto. Por ello se ha de hacer una estricta valoración del beneficio y el riesgo antes de realizar una exploración radiológica a una mujer embarazada, y tener en cuenta que las lesiones producidas por la radiación

dependen de la dosis y de la edad de gestación en que se produce la exposición. Si bien puede haber variaciones según el período gestacional, se considera que el riesgo absoluto para el feto (incluida la inducción de cáncer) con dosis que no superan los 100 mGy (0,1 Gy) es muy pequeño, e insignificante con dosis inferiores a 50 mGy. La mayoría de las exploraciones radiológicas con fines diagnósticos exponen al feto a una dosis de radiación inferior a 50 mGy (0,05 Gy), en particular las que se efectúan en áreas diferentes del abdomen o la pelvis, pero incluso éstas suelen exponer al feto a dosis inferiores a las consideradas de riesgo¹⁹.

Por tanto, hay que transmitir un mensaje tranquilizador a la embarazada a la que de manera inadvertida se ha realizado una exploración radiológica. Sólo cuando se le han efectuado varias exploraciones radiológicas en las que el feto ha estado expuesto directamente al haz de la radiación, o en situaciones concretas de fluoroscopia o radioterapia en que pueden superarse estas dosis, es necesario calcularlas para evaluar los posibles riesgos y la actitud a tomar. En cualquier caso, las dosis fetales inferiores a 100 mGy (mSv) no deberían considerarse una razón para la interrupción el embarazo²⁰.

BIBLIOGRAFÍA

1. WILHELM CONRAD VON RÖNTGEN «Über eine neue Art von Strahlen. Vorläufige Mitteilung.» En: Aus den Sitzungsberichten der Würzburger Physik.-medic. *Gesellschaft Würzburg* 137-147, 1895.
2. OMS. Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección. Nota descriptiva. Abril de 2016.
3. Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR). 1982. Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. Informe remitido a la Asamblea General, con Anexos. Nueva York: Naciones Unidas.
4. STANNARD, JN. 1988. Radioactivity and Health: A History. U.S. Dept. of Energy Report, DOE/RL/01830-T59. Washington, DC: National Technical Information Services, U.S. Dept. of Energy.
5. ANTOINE H. BECQUEREL. On radioactivity, a new property of matter. Nobel Lecture. The Official Web Site of the Nobel Prize.
6. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP. 1991; 21: 1-3. Medline.
7. HOFFMANN W. Has fallout from the Chernobyl accident caused childhood leukaemia in Europe? *Eur J Public Health* 2002; 12: 72-6.
8. Pregnancy and medical radiation. Ann ICRP. 2000; 30: 1.
9. RATNAPALAN S, BONA N, CHANDRA K, KOREN G. Physicians' perceptions of teratogenic risk associated with radiography and CT during early pregnancy. *AJR Am J Roentgenol* 2004; 182: 1107-9. Medline.
10. SMITS AK, PALADINE HL, JUDKINS DZ, HUBER T. Clinical inquiries. What are the risks to the fetus associated with diagnostic radiation exposure during pregnancy? *J Fam Pract* 2006; 55: 441-4.
11. BRENT RL. Utilization of developmental basic science principles in the evaluation of reproductive risks from pre- and post-conception environmental radiation exposures. *Teratology* 1999; 59: 182-204. Medline.
12. VALENTIN J. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). Ann ICRP. 2003; 33: 5-22. Medline.
13. SMITS AK, PALADINE HL, JUDKINS DZ, HUBER T. Clinical inquiries. What are the risks to the fetus associated with diagnostic radiation exposure during pregnancy? *J Fam Pract* 2006; 55: 441-4.
14. LOWE SA. Diagnostic radiography in pregnancy: risks and reality. *Aust N Z J Obstet Gynaecol* 2004; 44: 191-6. Medline.
15. OSEI EK, FAULKNER K. Fetal doses from radiological examinations. *B J Radiol* 1999; 72: 773-80.
16. DE SANTIS M, DI GIANANTONIO E, STRAFACE G, CAVALIERE AF, CARUSO A, SCHIAVON F, ET AL. Ionizing radiations in pregnancy and teratogenesis. A review of literature. *Reprod Toxicol* 2005; 20: 323-9. Medline.
17. 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: 177-82. Medline.

17. COHEN-KEREM R, MEDINA D, KOREN G, NULMAN I. Diagnostic radiation in pregnancy: termination of pregnancy due to risk misperception. *Birth Defects Res Part A Clin Mol Teratol* 2003; 67: 392.
18. THAM TC, VANDERVOORT J, WONG RC, MONTES H, ROSTON AD, SLIVKA A, ET AL. Safety of ERCP during pregnancy. *Am J Gastroenterol* 2003; 98: 308-11. Medline.
19. KAHALEH M, HARTWELL GD, ARSENEAU KO, PAJEWSKI TN, MULLICK T, ISIN G, ET AL. Safety and efficacy of ERCP in pregnancy. *Gastrointest Endosc* 2004; 60: 287-92. Medline.
20. QUAN WL, CHIA CK, YIM HB. Safety of endoscopical procedures during pregnancy. *Singapore Med J* 2006; 47: 525. Medline.