

# La radiación y el paciente una guía para médicos

## ABSTRACT

The didactic text is devoted to patients' protection against unnecessary exposure to ionizing radiation. There are obvious benefits to health from medical uses of radiation, i.e. in X ray diagnostics, in interventional radiology, nuclear medicine and radiotherapy. However, there are well-established risks from improperly applied high doses of radiation (therapy, interventional radiology) and possible deleterious effects from small radiation doses used in diagnostics. Appropriate use of large doses prevents serious harm from therapy but low doses carry a risk that cannot be entirely eliminated. Diagnostic use of radiation requires therefore such methodology that would secure high diagnostic gains while limiting the possible harm to the lowest possible level.

The text provides ample information on opportunities to minimize the doses, and therefore the risk from diagnostic uses of radiation. This objective may be reached by avoiding unnecessary (unjustified) examinations, and optimizing the applied procedures both from the standpoint of diagnostic quality and of reduction of the excessive doses to patients. Optimization of patient protection in radiotherapy must depend on maintaining sufficiently high doses to irradiated tumours, securing high cure rate, while protecting the healthy tissues to the largest extent possible. Problems related to special protection of human embryo and foetus in course of diagnostic and therapeutic uses of radiation are presented and respective practical solutions are recommended.

Por Comité 3 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)  
Traducción del inglés: Mónica Nosetto / Texto original en el sitio web de la ICRP (junio 2002)

*Este texto didáctico está dedicado a la protección de los pacientes contra la exposición innecesaria a la radiación ionizante.*

*Existen obvios beneficios para la salud por el uso médico de la radiación, por ejemplo, en el diagnóstico con rayos x, la radiología intervencionista, la medicina nuclear y la radioterapia. No obstante, hay riesgos bien establecidos provenientes de la aplicación inapropiada de altas dosis de radiación (terapia, radiología intervencionista) y efectos deletéreos posibles de dosis pequeñas de radiación utilizadas en diagnóstico. El uso adecuado de grandes dosis evita daños serios desde la terapia pero pequeñas dosis acarrear un riesgo que no puede ser absolutamente eliminado. El uso de la radiación para diagnóstico requiere, por ende, una metodología tal que asegure altas ganancias en el diagnóstico al tiempo que limite al mínimo el daño posible.*

*Una medida cuantitativa de la exposición es un prerrequisito para la evaluación del riesgo. Por lo tanto, las cantidades dosimétricas son explicadas y definidas (dosis absorbida, dosis efectiva). Los hechos básicos están presentados en mecanismos de acción de radiaciones ionizantes sobre la materia viva. Los efectos deletéreos indeseados en el hombre se categorizan en:*

- 1) secuelas resultantes de la muerte masiva de células (los llamados efectos deterministas), que requieren una alta dosis para su manifestación (excediendo el umbral de dosis);*
- 2) aquellos efectos que se originan de las mutaciones en el ADN celular, que eventualmente podrían llevar al desarrollo de cáncer inducido por radiación y a cambios hereditarios, transmitidos a los descendientes de individuos expuestos a la radiación en sus gónadas.*

*Se presentan los datos sobre la magnitud del umbral de dosis para los efectos de muerte celular. Basándose en la clínica experimental y la evaluación de evidencia epidemiológica, también se dan los datos de la probabilidad con la cual los cánceres y las mutaciones hereditarias pueden ser inducidos por distintos valores de dosis.*

*El texto proporciona una amplia información sobre oportunidades para minimi-*

zar las dosis y, por ende, el riesgo de los usos de la radiación para diagnóstico. Este objetivo puede ser alcanzado evitando exámenes innecesarios, y optimizando los procedimientos aplicados desde el punto de vista de calidad del diagnóstico y de la reducción de dosis excesivas a los pacientes.

La optimización de la protección a los pacientes en radioterapia debe depender de mantener las dosis suficientemente altas a los tumores irradiados, asegurando un alto índice de curación, mientras se protege lo más posible el tejido saludable. Se presentan los problemas relacionados con la protección especial del embrión y feto humanos durante el uso de la radiación para diagnóstico y terapia; y se recomiendan sus respectivas soluciones prácticas.

---

## ¿Cuál es el propósito de este documento?

---

En los últimos 100 años, la radiología de diagnóstico, la medicina nuclear y la radioterapia han evolucionado de las rudimentarias prácticas originales a técnicas avanzadas, que constituyen una herramienta esencial para todas las ramas y especialidades de la medicina. Las propiedades inherentes de la radiación ionizante aportan muchos beneficios pero también pueden causar daño eventual.

En la práctica de la medicina, se debe hacer una evaluación sobre la relación riesgo/beneficio. Esto no sólo requiere saber de medicina sino también de los riesgos de la radiación. El propósito de este documento es proveer la información básica sobre los mecanismos de la radiación, las dosis debidas a las diversas fuentes de irradiación médicas, la dimensión y el tipo del riesgo, así como las respuestas a las preguntas formuladas habitualmente (por ejemplo, radiación y embarazo). Para facilitar su lectura, el texto se presenta a manera de preguntas y respuestas.

Los cardiólogos intervencionistas, radiólogos, cirujanos ortopédicos y vasculares, y otros, que realmente operan equipos de rayos x o usan fuentes de radiación, deben poseer más información sobre la técnica apropiada y de gestión de dosis que

la contenida en este documento. Sin embargo, este texto puede aportar un punto de partida útil.

Las radiaciones ionizantes más comunes usadas en medicina son los rayos x, gamma, beta y los electrones. La radiación ionizante es sólo una parte del espectro electromagnético. Existen otras numerosas radiaciones (por ejemplo, las ondas electromagnéticas de luz visible, infrarroja, alta frecuencia y radiofrecuencia) que no tienen capacidad para ionizar los átomos de la materia que las absorbe. El texto presente sólo se refiere al uso de la radiación ionizante en medicina.

---

## ¿El uso de la radiación ionizante en medicina es beneficioso para la salud humana?

---

Sí. Se ha establecido más allá de toda duda el beneficio de los usos médicos de la radiación para los pacientes. **El diagnóstico radiológico moderno** asegura diagnósticos más rápidos y precisos y permite la vigilancia de una enorme cantidad de enfermedades. Se ha estimado que en aproximadamente la mitad de los casos los procedimientos radiológicos (la radiografía común, la fluoroscopia, la tomografía computarizada)

tienen un impacto sustancial en la rapidez del diagnóstico y que en gran parte de los casos son de importancia decisiva. Además, se han desarrollado varios procedimientos para estudios de *screening*<sup>1</sup>, tales como la mamografía, que son beneficiosos para poblaciones específicas con un riesgo relativamente alto de algunas enfermedades. Además, varios procedimientos radiológicos intervencionistas (por ejemplo, la angioplastia), introducidos en los últimos 10-20 años, contribuyen significativamente a la efectividad de los tratamientos de enfermedades muy serias –que ponen en peligro la vida– de los sistemas cardiovascular, nervioso central y otros. Estos procedimientos también son efectivos en relación con su costo.

**La medicina nuclear** usa sustancias radiactivas, llamadas radiofármacos, para el diagnóstico y tratamiento de una serie de enfermedades. Estas sustancias se desarrollan especialmente para que sean capturadas predominantemente por un órgano o un tipo de célula en el cuerpo. Luego de su introducción en el cuerpo, para fines diagnósticos, se las sigue mediante mediciones externas, produciendo imágenes de su distribución (tanto en el espacio como en el tiempo), o bien midiendo la actividad en la sangre, orina u otros humores. En todos los casos los datos obtenidos son de carácter funcional. Esta información no se puede obtener –al menos no con la misma exactitud– de otro modo. La medicina nuclear ofrece, por consiguiente, información de diagnóstico única en oncología (diagnóstico y estadio), cardiología, endocrinología, neurología, nefrología, urología y otras especialidades. La mayoría

de los métodos que hay en uso actualmente son aquellos preferidos en el proceso de diagnóstico, porque muestran sensibilidad alta, especificidad y buena reproducibilidad. Su eficacia en función de los costos también es alta. Además, hay que enfatizar que estos procedimientos son no invasivos y no presentan ningún riesgo de complicaciones directas al paciente.

Uno tiene que recordar que mientras los generadores eléctricos de radiación ionizante (equipos de rayos x, aceleradores de electrones) dejan de emitir radiación cuando se los desconecta de la alimentación eléctrica, las fuentes radiactivas emiten radiación cuyo tiempo de desintegración no puede modificarse. Esto significa que puede ser que haya que tomar algunas precauciones con aquellos pacientes a quienes se les ha administrado grandes cantidades de radionucleidos con fines terapéuticos, mientras están en el hospital y después que regresan a sus hogares, con el fin de proteger de la exposición al personal, los parientes, amigos y miembros del público.

La radioterapia usa radiación ionizante para tratamiento. La incidencia de cáncer es aproximadamente del 40%, expresando una esperanza de vida larga. El cáncer lleva a una mortalidad acumulativa de aproximadamente el 20-30 por ciento. La práctica médica actual usa la radioterapia en aproximadamente el 50% de los nuevos casos de cáncer diagnosticados. Las técnicas terapéuticas pueden ser muy complejas y exigen mucha exactitud en la irradiación. Para ser eficaces, se las debe enfocar de modo interdisciplinario, requiriendo la cooperación eficiente y armoniosa entre radioterapeutas, físicos médicos y técnicos al-

tamente calificados. Sin embargo, debe recordarse que la terapia radiante del cáncer a menudo está acompañada por efectos adversos colaterales del tratamiento. Algunos efectos adversos son inevitables y a menudo se resuelven espontáneamente o con tratamiento. Se pueden producir efectos adversos serios debidos a la proximidad de tejidos normales sensibles al campo de tratamiento o, en casos raros, por causa de la sensibilidad individual a la radiación. Estos no disminuyen la utilidad de la radioterapia. En conjunto, el uso adecuado de la radioterapia salva millones de vidas todos los años. Aun cuando sólo es posible tratamiento paliativo, la radioterapia reduce sustancialmente el sufrimiento. Existen también algunas enfermedades no malignas, en las que el tratamiento con radiación es el método que se elige.

**La radioterapia** que utiliza radiofármacos generalmente es no invasiva pero limitada a algunas situaciones bien establecidas, en las que es importante destruir células malignas o hiperactivas (por ejemplo en el hipertiroidismo, el cáncer de tiroides, las enfermedades degenerativas e inflamatorias de las articulaciones, el tratamiento paliativo de metástasis en huesos). Además, existen muchos estudios que muestran el potencial significativo de anticuerpos y péptidos (receptores ávidos) marcados con radionucleidos para ser usados en el tratamiento de varios tipos de cáncer. Sin embargo, este modo de tratamiento está todavía en sus inicios.

La radiación ionizante es entonces una de las herramientas básicas de la medicina contemporánea, tanto para diagnóstico como para terapia. La práctica de la medicina

1 N. del T.: No existe un criterio unánime para traducir el término *screening*. Se lo puede encontrar transcrito como "cribado", "detección selectiva", "exploración selectiva". A los efectos de no sumar confusiones, utilizamos el término original en inglés, definiendo su significado como "prueba o examen realizado a una población para detectar la presencia de una enfermedad".

moderna avanzada sin el uso de la radiación ionizante es actualmente inimaginable.

---

## **¿Existen riesgos en el uso de la radiación ionizante en medicina?**

---

Obviamente, existen algunos riesgos. La dimensión del riesgo de la radiación está relacionada a las dosis: a mayor cantidad de radiación, más altos riesgos. Los beneficios indiscutibles para la salud de los diagnósticos mediante los rayos x y la medicina nuclear pueden estar acompañados por un riesgo (probabilidad), generalmente pequeño, de efectos deletéreos. Este hecho tiene que ser tenido en cuenta cuando se usan fuentes de radiación ionizante en diagnóstico. Dado que se requieren cantidades grandes de radiación en la radioterapia, el riesgo de efectos adversos relacionados con ella es mesurablemente superior.

El objetivo en el manejo de la exposición a la radiación es minimizar el riesgo aparente sin sacrificar, o limitar innecesariamente, los beneficios obvios en la prevención, el diagnóstico y la cura eficaz de enfermedades (optimización). Debe señalarse que cuando se usa radiación insuficiente para el diagnóstico o la terapia hay un aumento en el riesgo aunque éste no se deba a los efectos adversos de la radiación de por sí. Una cantidad escasa de radiación en el diagnóstico producirá una imagen que no tendrá la suficiente información para diagnosticar, y no administrar la suficiente radiación en terapia aumentará la mortalidad porque el cáncer será tratado pero no curado.

La experiencia ha provisto gran evidencia de que la selección razonable de condiciones, bajo las cuales

la radiación ionizante está siendo usada en medicina, puede llevar a beneficios para la salud que exceden sustancialmente los posibles efectos deletéreos estimados.

---

## **¿Cómo cuantificamos la cantidad de radiación?**

---

La frecuencia o intensidad de efectos biológicos dependen de la energía total de la radiación absorbida (en joule) por unidad de masa (en kg) de un órgano o tejido sensibles. Esta cantidad se llama dosis absorbida y se expresa en gray (Gy). Algunos rayos gamma o x atravesarán el cuerpo sin ninguna interacción y no producirán efecto biológico. Por otro lado, la radiación que es absorbida puede producir efectos. Las dosis absorbidas de radiación pueden medirse y/o calcularse y ellas forman la base de la evaluación de la probabilidad de los efectos radioinducidos.

En la evaluación de los efectos biológicos de la radiación después de la exposición parcial del cuerpo, tienen que considerarse otros factores, tales como la sensibilidad variante de tejidos diferentes y las dosis absorbidas en distintos órganos. Para comparar los riesgos de la irradiación parcial y total del cuerpo a dosis experimentadas en radiodiagnóstico y medicina nuclear, se usa una magnitud llamada dosis efectiva. Ésta se expresa en sievert (Sv). La dosis efectiva no es aplicable a la radioterapia, donde dosis absorbidas muy grandes afectan tejidos u órganos individuales.

---

## **¿Qué sabemos sobre la naturaleza (mecanismo) de los efectos biológicos radioinducidos?**

---

La radiación puede causar la muerte de las células. Durante la división celular, aberraciones cromosómicas debidas a la radiación pueden producir la pérdida de parte del ADN cromosómico, lo que causa la muerte celular. La probabilidad de aberraciones cromosómicas es proporcional a la dosis, y las células libres de daño crítico al ADN mantienen su potencial de dividirse. Las células supervivientes pueden acarrear cambios en el ADN en el nivel molecular (mutaciones). El daño fundamental, primordial al ADN es el resultado del daño químico por los radicales libres, originados en la radiólisis del agua. El daño del ADN también puede resultar de la interacción directa de partículas ionizantes con la doble hélice del ADN (raramente).

Los cambios importantes en el ADN ocurren en forma de roturas en la continuidad de las cadenas del ADN, aunque también se producen otras formas de daño. Estas roturas pueden afectar una cadena de la hélice (roturas simples, SSB) o ambas cadenas en la misma posición (roturas dobles, DSB). Las SSB muy frecuentemente ocurren aun sin irradiación en el ADN y son reparadas fácil y eficazmente por los sistemas de enzimas específicos. En contraste, muchos DSB inducidos son más complicados y menos fácilmente reparados. Como resultado, una proporción significativa del daño se repara incorrectamente (reparación fallida). Estas roturas mal reparadas pueden llevar a aberraciones cromosómicas y mutaciones genéticas. Algunos de los genes mutados de tal manera son el primer paso (la iniciación) del proceso muy largo y complicado de la carcinogénesis, que también requiere varias mutaciones subsecuentes (la mayoría probablemente no inducidas por la radiación) en las células afectadas. Mecanismos de mutación similares, cuando afectan a las células germinativas, pueden llevar a mutaciones hereditarias

Tabla 1: . Efectos deterministas después de la irradiación del cuerpo entero y la irradiación localizada de rayos x y gamma; dosis umbral absorbida aproximada para exposiciones únicas y fraccionadas o tasa de dosis baja en períodos prolongados.

Órgano/tejido	Efecto	Dosis absorbida Umbral Gy	
		Exposición única (dosis únicas)	Exposición en período prolongado (Anualmente – repetida por muchos años)
Testículos	Esterilidad temporal	0,15	0,4
	Esterilidad permanente	3,5 – 6,0	2,0
Ovarios	Esterilidad	2,5 – 6,0	> 0,2
Lentes oculares	Opacidades detectables	0,5 – 2,0	> 0,1
	Deficiencia visual (cataratas)	5,0	> 0,15
Médula ósea	Deficiencia hematopoyética	0,5	> 0,4
Piel	1. Eritema (descamación seca)	2	-
	2. Descamación húmeda	18	-
	3. Necrosis de la piel profunda y epidérmica	25	-
	4. Atrofia de la piel con complicaciones y telangiectasia	10-12	1,0
Cuerpo entero	Enfermedad aguda de la radiación (moderada)	1,0	

expresadas en los descendientes de las personas irradiadas. Por supuesto, el punto esencial en la consideración de estas posibles secuelas de la irradiación es la frecuencia (o probabilidad de ocurrencia) de los efectos no deseados en las personas irradiadas con una dosis dada, o en sus descendientes.

### ¿Cómo se clasifican los efectos de la radiación?

Hay dos categorías básicas de los efectos biológicos que pueden observarse en las personas irradiadas. Éstos son:

- 1) debidos principalmente a la muerte de las células (deterministas)
- 2) mutaciones que pueden producir cáncer y efectos hereditarios (estocásticos o probabilísticos).

Los efectos debidos a la muerte de las células (como la necrosis en la piel) tienen una dosis umbral práctica debajo de la cual el efecto no es evidente pero, en general, cuando el efecto está presente, su gravedad aumenta con la dosis de radiación. La

dosis umbral no es un número absoluto y varía un poco con el individuo. Los efectos debidos a las mutaciones (como el cáncer) tienen una probabilidad de ocurrencia que aumenta con la dosis, se considera actualmente que no existe un umbral por debajo del cual el efecto no ocurrirá y, finalmente, la gravedad de los efectos es independiente de la dosis. Así, un cáncer causado por una cantidad pequeña de radiación puede ser tan maligno como el causado por una dosis elevada.

**Efectos deterministas.** Estos efectos se observan después de la absorción de dosis grandes de radiación y son principalmente la consecuencia de la muerte celular inducida por la radiación. Ellos sólo ocurren si una proporción grande de células en un tejido irradiado ha muerto por la radiación y la pérdida no puede compensarse por un aumento de la proliferación celular. La consiguiente pérdida del tejido se complica por los procesos inflamatorios y, si el daño es suficientemente extenso, también por los fenómenos secundarios a nivel sistémico (por ejemplo, fiebre, deshidratación, bacteriemia, etc.). Además, efectos eventuales de los procesos de cu-

ración, por ejemplo la fibrosis, pueden contribuir al daño adicional y a la pérdida de la función de un órgano o tejido. Los ejemplos clínicos de tales efectos son: cambios necróticos en la piel, necrosis y cambios fibróticos en los órganos internos, enfermedad aguda de la radiación después de la irradiación de todo el cuerpo, cataratas y esterilidad (Tabla 1).

Las dosis requeridas para producir cambios deterministas son grandes (generalmente más de 1-2 Gy), en la mayoría de los casos. Algunos de esos cambios ocurren, en una proporción pequeña de pacientes, como efectos colaterales de la radioterapia. También pueden producirse como consecuencia de estudios intervencionistas complejos (como la implantación de stents en los vasos sanguíneos) cuando se tienen que usar largos tiempos de fluoroscopia. La relación entre la frecuencia de un efecto determinista dado y la dosis absorbida tiene una forma general presentada en la figura 1. Puede verse que la característica esencial de esta relación de respuesta a la dosis es la presencia de una dosis umbral. Debajo de esta dosis, nin-

Figura 1: Relación dosis-respuesta general para los efectos deterministas inducidos por la radiación (muerte celular).  $D_{Th}$  es la dosis umbral.

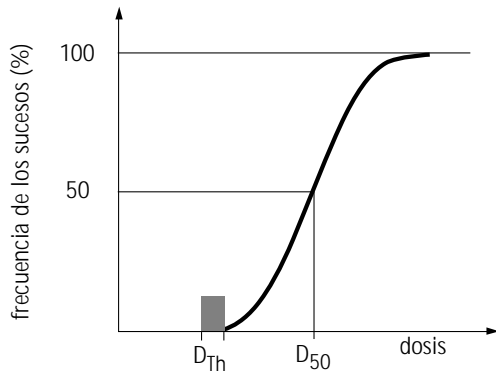
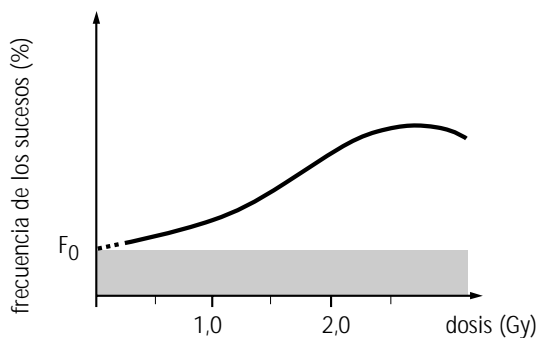


Figura 2: Relación dosis-respuesta general para los efectos estocásticos radioinducidos (en este caso, la incidencia de cáncer después de irradiación con rayos gamma).



Área sombreada: incidencia control ( $F_0$ ) en una población no irradiada. Línea de puntos: extrapolación a las dosis más bajas para las cuales no hay evidencia directa de un efecto asociado.

gún efecto puede diagnosticarse, pero con la dosis creciente, la intensidad del daño inducido aumenta notablemente y, en algunas situaciones, dramáticamente. Un ejemplo del daño determinista a la piel se presenta en la Figura 1.

Las malformaciones inducidas por la radiación en el embrión, durante el período de organogénesis (3-8 semanas de embarazo), también se deben a la muerte celular y son clasificadas como efectos deterministas. Lo mismo se aplica a las malformaciones del cerebro anterior

—que llevan al retraso mental— inducidas por la exposición entre la 8<sup>a</sup> y 15<sup>a</sup> semana (y hasta cierto punto hasta la 25<sup>a</sup> semana) después de la concepción. Las dosis umbral son, sin embargo, sustancialmente menores que las encontradas para los efectos deterministas debidos a la irradiación después del nacimiento: así, 100-200 mGy cubren la gama del umbral para las malformaciones inducidas entre la tercera y octava semanas, y ~ 200 mGy para el daño cerebral antes mencionado (8<sup>a</sup> - 25<sup>a</sup> semana).

**Efectos estocásticos.** Como ya se

ha dicho, las células irradiadas supervivientes pueden modificarse por mutaciones inducidas (somáticas, hereditarias). Estas modificaciones pueden llevar clínicamente a dos efectos significativos: neoplasmas malignos (cáncer) y mutaciones hereditarias.

**Cáncer:** La radiación ionizante es un carcinógeno relativamente débil. El seguimiento cuidadoso, durante los últimos 50 años, de más de 80.000 sobrevivientes de los bombardeos atómicos en Hiroshima y Nagasaki indica que ha habido 12.000 casos de cáncer, de los cuales menos de 700 muertes excedentes eran debidas a la radiación. Expresado de otra manera, sólo aproximadamente el 6% de los casos de cáncer entre los sobrevivientes están relacionados con la radiación.

Estas observaciones permiten una estimación de la probabilidad de que una dosis dada puede llevar al diagnóstico (incidencia) y muerte (mortalidad) de los varios tipos de cáncer. Entre lo último, existen varias formas de leucemia y tumores sólidos de órganos diferentes, principalmente los carcinomas de pulmón, tiroides, mama, piel y tracto gastrointestinal. El cáncer radioinducido no aparece inmediatamente después de la exposición a la radiación, sino que requiere un tiempo para manifestarse clínicamente (período latente). Ejemplos de períodos latentes mínimos son 2 años para las leucemias del tipo no CLL, aproximadamente 5 años para el cáncer de tiroides o de huesos y 10 años para la mayoría de los otros cánceres. Los períodos latentes medios son 7 años para la leucemia no CLL y más de 20 años para la mayoría de los otros tipos de cáncer. Es importante notar que algunos tumores no parecen ser radioinducidos, o lo son débilmente. Éstos incluyen carcinomas de la

**Tabla 2a:** Dosis efectiva típica de exposiciones médicas con fines de diagnóstico, en la década de 1990 (U.K.).

Procedimiento diagnóstico	Dosis efectiva típica (mSv)
<b>Exámenes con rayos x:</b>	
Extremidades y articulaciones (excepto cadera )	< 0,01
Tórax (película PA única)	0,02
Cráneo	0,07
Espina torácica	0,7
Espina lumbar	1,3
Cadera	0,3
Pelvis	0,7
Abdomen	1,0
IVU	2,5
Trago de bario	1,5
Papilla de bario	3
Tránsito de bario (barium follow through)	3
Enema de bario	7
TC de cabeza	2,3
TC de tórax	8
TC de abdomen o pelvis	10
<b>Estudios con radionucleidos:</b>	
Ventilación pulmonar (Xe-133)	0,3
Perfusión pulmonar (Tc-99m)	1
Riñón (Tc-99m)	1
Tiroides (Tc-99m)	1
Hueso (Tc-99m)	4
Estudio cardíaco gatillado (cardiac gated study) (Tc-99m)	6
PET de cabeza (F-18 FDG)	5
Fondo natural de radiación anual	~ 2,5

Datos del Comité Nacional de Radioprotección (NRPB) del Reino Unido.

próstata, del cuello de útero y útero, linfomas y leucemia linfática crónica.

**Efectos hereditarios:** El riesgo de los efectos hereditarios de radiación ionizante se ha estimado sobre la base de experimentos con varias especies animales, porque no hay efectos demostrados en los humanos (más adelante se dan los valores posibles de su probabilidad por unidad de dosis).

Del análisis cuidadoso de los estudios experimentales y epidemiológicos, puede concluirse que las relaciones dosis-respuesta para estas dos categorías de efectos estocásticos tienen una forma singularmente diferente de las que caracterizan a las se-

cuelas deterministas. En la Figura 2 se presenta una relación dosis-respuesta general para el cáncer. Las características principales de la relación pueden resumirse como sigue:

- a.** La inducción de cáncer por los rayos x o gamma muestra un incremento de la frecuencia del efecto con el incremento de las dosis hasta un máximo, más allá del cual la curva se aplanan, con una posible declinación a dosis todavía superiores.
- b.** En el extremo inferior de la curva, por debajo de ~ 100-200 mGy, cualquier efecto potencial no puede medirse fácilmente, por causa de los errores estadísticos de las observaciones, debidos a la

gran cantidad de cánceres espontáneos y al impacto de factores que confunden. Esto no debe interpretarse como la presencia de una dosis umbral. Se supone que a dosis bajas (<0,2 Gy), la probabilidad del efecto (frecuencia) posiblemente se incrementa más proporcionalmente con la dosis.

- c.** Siempre existe una frecuencia espontánea del efecto (mutaciones, cáncer) en poblaciones no irradiadas ( $F_0$  en la Figura 2), que no puede diferenciarse cualitativamente de aquella inducida por la radiación. De hecho, las mutaciones o los cánceres inducidos por la irradiación tienen las mismas características morfológicas, bioquímicas y clínicas que tienen los que se desarrollan en individuos no irradiados.

## ¿Cuál es la magnitud del riesgo de cáncer y de efectos hereditarios?

El análisis de los datos epidemiológicos de poblaciones irradiadas ha permitido la derivación del riesgo aproximado de cáncer radioinducido. El valor para toda la vida, para la persona promedio, es aproximadamente un aumento del 5% de cáncer fatal después de una dosis en todo el cuerpo de 1 Sv (muy superior a la que se administraría en la mayoría de los procedimientos médicos). No se ha detectado un aumento estadísticamente significativo de cáncer en poblaciones expuestas a dosis menores de 0,05 Sv.

Parece que el riesgo en la vida fetal, en los niños y adolescentes excede este valor medio un poco (por un factor de 2 o 3) y en las personas mayores de 60 años debe ser aproximadamente más bajo

Tabla 2b: Niveles de riesgo amplios para exámenes comunes con rayos x y con isótopos (Datos de la de la NRPB, modificada).

Exámenes con rayos x (o estudios con isótopos en medicina nuclear)	Dosis efectiva (mSv) agrupados alrededor de un valor de:	Periodo equivalente del fondo natural de radiación	Riesgo adicional de cancer, por examen, para toda la vida *
Tórax - Dentadura - Brazos y piernas - Manos y pies	0,01	unos pocos días	Riesgo despreciable
Cráneo - Cabeza - Cuello	0,1	unas pocas semanas	Riesgo mínimo 1 en 1 000 000 a 1 en 100 000
Mamas (mamografía) - Cadera Columna vertebral - Abdomen Pelvis - TC de cabeza Estudio, con isótopos, de pulmón Estudio, con isótopos, de riñón	1,0	unos pocos meses a un año	Riesgo muy bajo 1 en 100 000 a 1 en 10 000
Riñones y vejiga (urografía intravenosa, 10 siglas en inglés: IVU) Estómago – papilla de bario Colon - enema de bario TC de abdomen Estudio, con isótopos, de hueso	10	unos pocos años	Riesgo bajo 1 en 10 000 a 1 en 1 000

\* Estos niveles de riesgo representan incrementos muy pequeños en la probabilidad de 1 en 3, que todos tenemos, de contraer cáncer.

por un factor de ~ 5 (debido a una esperanza de vida limitada y, por consiguiente, menos tiempo disponible para la manifestación de un cáncer, que es un efecto tardío de la exposición).

Los procedimientos médicos de diagnóstico de alta dosis (tales como el examen del abdomen o pelvis mediante TC) administran una dosis efectiva de aproximadamente 10 mSv. Si a una población grande se le hiciera a cada persona tal examen, el riesgo para toda la vida, teórico, de un cáncer fatal inducido por la radiación sería aproximadamente 1 en 2 000 (0,05%). Esto puede compararse con el riesgo normal de cáncer fatal espontáneo, que es aproximadamente 1 en 4 (25%).

El riesgo individual puede variar de los cálculos teóricos. La dosis de radiación acumulativa de los procedimientos médicos es muy pequeña en muchos individuos, sin embargo, en algunos pacientes, en los cuales las dosis acumuladas exce-

den 50 mSv el riesgo de cáncer debe considerarse cuidadosamente. Muchos procedimientos de diagnóstico de dosis relativamente elevada (como la TC) deben justificarse terminantemente y, cuando esto se hace, el beneficio pesará mucho más que el riesgo. Deben evitarse procedimientos injustificados a cualquier nivel de dosis. En la radioterapia existe un riesgo de cáncer secundario pero el riesgo es pequeño comparado a la exigencia para tratar la malignidad presente. No se han observado efectos hereditarios debido a la exposición a la radiación en los humanos. No se ha encontrado ningún efecto hereditario en los estudios a los hijos y nietos de los sobrevivientes de los bombardeos atómicos. Sin embargo, basado en modelos animales y en el conocimiento de la genética humana, se ha estimado que el riesgo de efectos deletéreos hereditarios no es mayor que el 10% del riesgo carcinogénico inducido por la radiación.

## **¿La radiación ionizante de fuentes médicas es la única a la cual están expuestas las personas?**

No. Todos los organismos vivientes en este planeta, incluso los humanos, están expuestos a la radiación de las fuentes naturales. La dosis efectiva promedio anual debida a este fondo llamado natural suma aproximadamente 2,5 mSv. Esta exposición varía sustancialmente según las zonas geográficas (de 1,5 a varias decenas de mSv en áreas geográficas limitadas). Las fuentes artificiales –excepto las usadas en medicina– agregan dosis muy diminutas a la población en general.

## **¿Cuáles son las dosis típicas de los procedimientos de diagnóstico médicos?**



Los diversos procedimientos de radiodiagnóstico y de medicina nuclear cubren un amplio rango de dosis. Éstas pueden expresarse como dosis absorbida en un solo tejido o como dosis efectiva al cuerpo entero, lo que facilita la comparación de las dosis de otras fuentes de radiación (como la del fondo natural). En la Tabla 2 (a y b) se presentan los valores típicos de la dosis efectiva en algunos procedimientos. Las dosis son una función de varios factores, como la composición del tejido, la densidad y el grosor del cuerpo (del paciente). Por ejemplo, se necesita menos radiación para atravesar el aire en los pulmones para una radiografía de tórax que para penetrar los tejidos del abdomen.

También se debe ser consciente de que cuando se realiza en instalaciones diferentes el mismo procedimiento a un individuo específico podría haber una amplia variación en la dosis recibida. Esta variación puede llegar a ser hasta un factor diez y, a menudo, puede deberse a diferencias en factores técnicos para el procedimiento, tal como la velocidad de la película/pantalla, el procesado de la película, y el voltaje. Además, frecuentemente existen variaciones aun más amplias en y entre instalaciones para un tipo dado de procedimiento, debido a que en algunas de ellas el procedimiento se lleva a cabo menos apropiadamente.

---

**¿Pueden controlarse en el procedimiento diagnóstico las dosis de radiación sin alterar los beneficios?**

---

Sí. Hay varias maneras de reducir los riesgos a niveles extremadamente bajos y, aun así obtener de los procedimientos radiológicos efectos altamente beneficiosos para la salud, que superan por mucho la incidencia de un posible detrimento de ésta. En ese contexto debe mencionarse, también, que un índice alto de beneficio vs. riesgo radiológico depende en gran medida de una buena metodología en los procedimientos y una calidad alta de su rendimiento. Por consiguiente, la garantía y el control de calidad en el radiodiagnóstico y la medicina nuclear tienen, también, un papel fundamental en la provisión de una protección radiológica concreta y apropiada del paciente.

Hay varias maneras que minimizarán el riesgo sin sacrificar la valiosa información que puede obtenerse para el beneficio del paciente. Entre las posibles medidas, es necesario justificar el examen antes de derivar a un paciente al radiólogo o al especialista en medicina nuclear.

Debe evitarse la repetición de estudios hechos recientemente en otra clínica u hospital. Los resultados de los estudios deben registrarse con el detalle suficiente en la documentación del paciente y ponerlos a disposición de otra unidad de atención de la salud. Esta regla podría dar como consecuencia que se evite una fracción significativa de exámenes innecesarios.

Si el médico que solicita el estudio no proporciona la información clínica adecuada puede ocurrir que el radiólogo o el especialista en medicina nuclear seleccionen equivocadamente un procedimiento o una técnica. De esto puede resultar una prueba inútil, con el estudio contribuyendo sólo a la exposición del paciente.

Un estudio puede ser considerado útil si su resultado –positivo o negativo– influye en el tratamiento del paciente. Otro factor que potencialmente se agrega a la utilidad de los estudios es el fortalecimiento de la confianza en el diagnóstico. Para cumplir estos criterios, las indicaciones para estudios específicos, tanto en la situación clínica general como en un paciente dado, deben ser hechas por el facultativo que solicita los exámenes, basándose en el conocimiento médico. Pueden presentarse dificultades en el procedimiento de derivación, debido principalmente al desarrollo dinámico del campo de la imagenología médica. El progreso técnico en la radiología y la medicina nuclear ha sido enorme durante los últimos 30 años; además, dos nuevas modalidades han entrado en el campo: el ultrasonido y la imagenología de resonancia magnética. Por consiguiente, no es sorprendente que el seguimiento de los desarrollos técnicos pueda ser difícil para el médico clínico e incluso para muchos especialistas. Hay, sin embargo, algunas pautas publicadas<sup>2</sup> que pueden ayudar a hacer una derivación apropiada, siempre usando criterios bien fundados, basados en la experiencia clínica y la epidemiología. Las circunstancias más importantes que deben tenerse en cuenta para evitar las derivaciones inapropiadas pueden categorizarse en términos generales como sigue: la posibilidad de obtener la misma información sin usar radiación ionizante, es decir por medio de la ecografía o la resonancia magnética (RM), cuyo uso es indicado si éstas están disponibles y cuando el costo (esto se aplica principalmente a la resonancia magnética), tiempo de espera y dificultades organizativas no son prohibitivos.

2 "Guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen" – Protección Radiológica 118, Dirección General de Medio Ambiente, Comisión Europea, 2000.

Las pautas mencionadas arriba también informan acerca de cuándo son preferibles estas modalidades para comenzar y cuándo, en ocasiones, alguna de ellas es la única técnica que debe ser utilizada.

---

### **¿Existen situaciones en las que deben evitarse los estudios radiológicos?**

---

Sí. Existen opiniones bien arraigadas –no siempre respetadas– que indican que en algunas circunstancias la radiografía o la fluoroscopia no contribuyen para nada al tratamiento del paciente. Esto es válido para situaciones en las que una enfermedad no ha podido progresar o resolverse desde el estudio anterior o en las que los datos obtenidos no influirían en el tratamiento del paciente.

Los ejemplos más comunes de exámenes injustificados incluyen: radiografía rutinaria del tórax para la internación en un hospital o antes de una cirugía, en ausencia de síntomas que indiquen compromiso (o insuficiencia) cardíaco o pulmonar; radiografía del cráneo a sujetos accidentados asintomáticos; radiografía de la zona baja sacro lumbar cuando hay una condición degenerativa estable de la columna, después de los 50 años de edad pero, por supuesto, hay muchos otros. Sólo pueden hacerse *screening* de pacientes asintomáticos para detectar la presencia de una enfermedad si las autoridades de sanidad nacionales tomaron la decisión que la incidencia alta para un rango de edad determinado, la eficacia alta de la temprana detección de la enfermedad, la exposición baja de los individuos estudiados y un tratamiento eficaz y

fácilmente disponible pueden producir un índice alto del beneficio vs. riesgo. Los ejemplos positivos incluyen fluoroscopia o radiografía para la detección de la tuberculosis en sociedades o grupos con mucha frecuencia de la enfermedad, mamografía para la detección temprana de cáncer de mama en las mujeres mayores de 50 años de edad, o *screening* de carcinoma gástrico por fluoroscopia de contraste en los países con incidencia alta de esta enfermedad. Todos los factores incluidos en el *screening* deben repasarse periódicamente y reevaluarse. Si el beneficio deja de ser satisfactorio el *screening* debería suspenderse.

Por razones legales y para los propósitos de las compañías de seguros, la irradiación debería excluirse o limitarse cuidadosamente. Generalmente, la irradiación de individuos por razones legales no tiene beneficio médico. Uno de los ejemplos más comunes es el de las compañías de seguros que pueden exigir varios exámenes radiográficos para cumplir la expectativa de que quien va a ser asegurado goza de buena salud. En numerosos casos, estos pedidos, particularmente para individuos asintomáticos, deberían tratarse con cautela y, a menudo, parecen injustificados cuando no son médicamente provechosos para la persona involucrada.

---

### **¿Existen procedimientos de diagnóstico que deberían tener una justificación especial?**

---

Mientras deberían justificarse todos los usos médicos de la radiación, es lógico que cuanto mayores son la dosis y el riesgo de un procedi-

miento, más debe considerar el médico si el beneficio que se obtendrá será mayor. Existen procedimientos radiológicos que administran dosis en el extremo superior de la escala, éstos se presentan en la Tabla 2. Entre ellos, una posición especial ocupa la tomografía computada (TC), y particularmente sus variantes más avanzadas, como la TC en espiral o la de cortes múltiples. La utilidad y eficacia de este gran logro técnico están más allá de la duda en situaciones clínicas particulares, sin embargo la facilidad de obtener resultados de este modo y la tentación frecuente de supervisar la evolución de una enfermedad o desechar la posibilidad de una enfermedad deben ser moderadas por el hecho que los exámenes repetidos pueden administrar una dosis efectiva del orden de 100 mSv, dosis para la cual existe evidencia epidemiológica directa de carcinogenicidad.

---

### **¿Los niños y las mujeres embarazadas requieren consideración especial en los procedimientos de diagnóstico?**

---

Sí. Se piensa que tanto el feto como los niños son más radiosensibles que los adultos. Es sumamente improbable que el diagnóstico radiológico y los procedimientos de medicina nuclear (incluso combinados) puedan producir dosis que causen malformaciones o una disminución en la función intelectual. El problema principal de la exposición in utero o en la niñez, a los valores de diagnóstico típicos (<50 mGy), es la inducción de cáncer. Antes de realizar un procedimiento

de diagnóstico debe determinarse si una paciente está, o puede estar, embarazada, si el feto está en el área de irradiación primaria y si el procedimiento implica una dosis relativamente elevada (por ejemplo, enema de bario o examen pelviano por TC). Los estudios de diagnóstico, médicamente indicados, distantes del feto (por ejemplo radiografía del tórax o extremidades, estudios de ventilación/perfusión del pulmón) pueden hacerse de manera segura en cualquier momento del embarazo, si el equipo está en buenas condiciones de funcionamiento. Por lo común, el riesgo de no hacer el diagnóstico es mayor que el riesgo de la radiación. Si un examen está típicamente en el extremo superior del rango de dosis de diagnóstico y el feto está dentro o cerca del haz de radiación o de la fuente, debe tenerse cuidado para minimizar la dosis al feto mientras se realiza el diagnóstico. Esto puede hacerse ajustando el estudio y examinando cada una de las radiografías a medida que se van tomando hasta que lograr el diagnóstico y en ese momento dar por terminado el procedimiento. En la medicina nuclear se excretan muchos radiofármacos por el tracto urinario. En estos casos, la hidratación de la madre y el aumento de la micción reducirán el tiempo de permanencia del radiofármaco en la vejiga y, por consiguiente, se reducirá la dosis al feto. Para los niños, la reducción de la dosis se logra usando los factores técnicos específicos para niños y no los factores rutinarios para adultos. En radiodiagnóstico se debe tener cuidado para circunscribir el haz de radiación a sólo el área de interés. Debido a que el tamaño de los niños es pequeño, en medicina nuclear usar menos actividad administrada que la que se usa para un adulto aun producirá imágenes aceptables y una dosis reducida al paciente.

## **¿Qué puede hacerse para reducir el riesgo de la radiación durante la realización de un procedimiento de diagnóstico?**

Las herramientas más poderosas para reducir al mínimo el riesgo son la realización apropiada del estudio y la optimización de la protección radiológica del paciente. Éstas son responsabilidad del radiólogo o del especialista en medicina nuclear y del físico médico.

El principio básico de la protección del paciente en estudios diagnósticos radiológicos y de medicina nuclear es que la información de diagnóstico de calidad satisfactoria clínicamente debe obtenerse a expensas de una dosis tan baja como sea posible, siempre teniendo en cuenta los factores sociales y financieros.

La evidencia obtenida en numerosos países indica que el rango de dosis de entrada (es decir, la dosis en la superficie del cuerpo medida en el lugar donde el haz de rayos x está entrando en el cuerpo) para un tipo determinado de examen radiográfico es muy amplio. A veces, las dosis más bajas y más altas, medidas en instalaciones radiológicas individuales, varían por un factor de ~ 100. Como la mayoría de las dosis medidas tienden a agruparse en el extremo inferior de la distribución, está claro que las dosis más grandes, por encima, por ejemplo, del percentil 70-80 de la distribución, no pueden justificarse razonablemente. Estableciendo los llamados niveles de referencia de diagnóstico para cada uno de los estudios principales a tal percentil, uno puede identificar los lugares (las instituciones, equipos de rayos x) con necesidad de acciones

correctivas, las que fácil y substancialmente reducirán la dosis promedio a los pacientes.

Esta meta puede alcanzarse por la cooperación de los radiólogos con los físicos médicos y las personas o equipos de auditoría. Hay muchos factores técnicos que reducen significativamente la exposición cuando se aplican sistemáticamente. El esfuerzo para optimizar la protección requiere una buena organización, así como una permanente buena voluntad y vigilancia para mantener las dosis tan bajas como sea posible. Puede mostrarse fácilmente que el riesgo, aun cuando es bastante pequeño, todavía puede reducirse varias veces comparado con la situación que prevalecía en las décadas previas.

Entre los procedimientos que deben evitarse están:

- 1) la fluoroscopia y fotofluorografía para la identificación de posibles enfermos de tuberculosis en los niños y adolescentes (en cambio, deben hacerse sólo radiografías normales a esta edad);
- 2) fluoroscopia sin intensificación de la imagen electrónica. En la mayoría de los países desarrollados, tal procedimiento –que da realmente dosis elevadas al paciente– está ahora legalmente prohibido.

Se debería resaltar que los procedimientos radiológicos intervencionistas llevan a dosis más altas para los pacientes que los estudios de diagnóstico normales. Sin embargo, las indicaciones para tales procedimientos, en la mayoría de los casos, son el resultado del alto riesgo de la cirugía convencional. El equipo moderno apropiado y la capacitación del personal permiten limitar la exposición de los pacientes a un nivel aceptable, asegurando una relación beneficio/riesgo muy alta. En medicina nuclear, la magnitud de la dosis a los pacientes resulta de la actividad del radiofármaco adminis-

trado. El rango de actividad de éste, administrado para un propósito dado, varía entre clínicas diferentes por un factor pequeño –normalmente no más de tres entre los valores más altos y los más bajos. En varios países se han establecidos valores recomendados o de referencia y normalmente debe evitarse excederlos en el examen de un individuo de tamaño normal. Existen también reglas aceptadas (fórmulas) para cambiar la actividad en función de la masa corporal y para reducir la actividad administrada a los niños en relación a la administrada a los adultos. Las dosis efectivas típicas a pacientes en el diagnóstico de medicina nuclear están en un rango similar a las que se observan en los diagnósticos radiográficos (Tabla 2 a y b). Los procedimientos bien realizados y la adhesión a los principios de garantía y control de la calidad aseguran un índice beneficio/ riesgo alto para los exámenes debidamente justificados. Durante el embarazo, los estudios que usan radiofármacos deben tratarse como se trata a los procedimientos radiográficos normales. En consecuencia, sólo deben realizarse si no hay disponible otro método de diagnóstico alternativo y si los estudios no pueden demorarse hasta después del alumbramiento. Para evitar el daño serio a la tiroides fetal, se contraindica cualquier procedimiento que emplea iones libres de yodo 131 –incluso en actividades pequeñas– desde las ~ 10-12 semanas del embarazo (cuando la tiroides fetal se vuelve funcional). Se pueden hacer estudios con radiofármacos en mujeres que están amamantando. Hay algunos radiofármacos de periodo relativamente largo y que se excretan en la leche materna (como el yodo 131). Después de la administración de tales radiofármacos, el amamantamiento debe suspenderse para evitar la transferencia al niño. Existen, sin embargo, otros radionucleidos que tienen periodo

corto (como la mayoría de los compuestos del tecnecio 99m) que pueden no requerir la interrupción del amamantamiento o requerirlo sólo durante unas horas o un día.

---

### **¿Qué se puede hacer para reducir el riesgo radiológico durante la realización de una radioterapia?**

---

La radioterapia, basada en las indicaciones apropiadas, frecuentemente es una manera exitosa de prolongar la vida de un paciente o de reducir el sufrimiento cuando sólo es posible el alivio, mejorando así la calidad de vida. Lograr este éxito requiere el estándar de realización más alto (exactitud de la dosis entregada), tanto al planificar la irradiación para un paciente individual como al administrar la dosis.

La decisión de emprender un tratamiento de radioterapia de manera óptima es elaborada a través de un equipo multidisciplinario que incluye cirujanos, oncólogos y radioterapeutas. Esta discusión debería confirmar la justificación del procedimiento, la ausencia de tratamientos alternativos más beneficiosos y normalmente la manera óptima de combinar las técnicas diferentes (radioterapia, cirugía y quimioterapia). Cuando tal aproximación multidisciplinaria no es posible, el radioterapeuta que toma la decisión solo debería tener presente los tratamientos alternativos o estrategias de tratamiento combinadas.

En realidad, aunque la justificación genérica de la radioterapia no puede cuestionarse en la gran mayoría de casos, se están haciendo esfuerzos crecientes para disminuir la dosis entregada y reducir los volúmenes irradia-

dos en algunos casos. Esto es particularmente cierto para algunos tipos específicos de cáncer, como la enfermedad de Hodgkin y para los casos de cáncer de niños, donde la asociación casi constante con la quimioterapia le puede permitir al radio oncólogo reducir la dosis y el volumen a irradiar y lograr una reducción subsiguiente de los efectos adversos.

Disminuir la dosis al volumen blanco no es posible en un gran número de casos, dado que reduciría inaceptablemente la tasa de curaciones. En estos casos, los desarrollos tecnológicos actuales apuntan a la optimización de la protección del paciente, siempre manteniendo la dosis absorbida en el tumor tan alta como sea necesaria para el tratamiento eficaz, mientras se protege a los tejidos sanos cercanos. La terapia conformal ha ayudado enormemente en ese aspecto. Debe recordarse que la erradicación exitosa de un tumor maligno mediante la radioterapia requiere dosis absorbidas altas y existe un tardío (y normalmente bajo) riesgo de complicación posterior. Las técnicas arriba mencionadas se usan para proveer la mejor relación costo/beneficio.

---

### **¿Pueden recibir radioterapia las mujeres embarazadas?**

---

Un tumor maligno en una mujer embarazada puede requerir radioterapia en el esfuerzo por salvar la vida de la paciente. Si un tumor se localiza en una parte distante del cuerpo, la terapia –con una protección del abdomen, hecha a medida (blindaje)– puede llevarse a cabo. Si el haz debe estar más cerca del feto pero aun así no irradiándolo directamente, es necesario tomar precauciones especiales, y

un experto en dosimetría debe hacer los cálculos de la dosis al feto antes de que se tome la decisión de empezar con la terapia. Una dosis al feto (3-8 semanas luego de la concepción) por la irradiación directa del haz primario alcanzará valores que exceden sustancialmente los umbrales para malformaciones de varios órganos, o del cerebro (8 a 25 semanas), con la consecuencia de retraso mental en la vida post-uterina. También puede conducir al impedimento del crecimiento fetal, aun cuando el tratamiento tenga lugar en el tercer trimestre de embarazo.

Además, debería recordarse que la irradiación del feto en cualquier momento del embarazo acarrea un aumento del riesgo de cáncer en el individuo después del nacimiento, en la primera o segunda década de vida y a dosis terapéuticas –o a una fracción significativa de tales dosis– este riesgo puede ser sustancial. Por consiguiente, en vista de todos los factores mencionados, la interrupción del embarazo puede ser considerada. La decisión debería estar basada en la estimación cuidadosa del riesgo que conlleva para el feto, lo que a su vez requiere el cálculo de la dosis al feto por un experto calificado. La decisión en sí debe ser tomada por las mujeres que deben recibir el tratamiento, en consulta con su médico, su pareja y su asesor.

Problemas particularmente difíciles se originan cuando se ha realizado la radioterapia a una mujer con un embarazo reciente que no había sido descubierto. La consecuencia es a veces una irradiación masiva del embrión en un período en el que las malformaciones son fácilmente inducidas (a las 3 semanas o después de la concepción). Para evitar tal irradiación involuntaria parece

ser necesario realizar pruebas de embarazo para confirmar o descartar la preñez antes de hacer el tratamiento radioterapéutico.

La terapia del hipertiroidismo con yodo 131 en una mujer embarazada está estrictamente contraindicada, debido a la posibilidad de irradiación externa del feto pero principalmente porque el yoduro radiactivo atraviesa la placenta y entra en la circulación fetal siendo captado subsiguientemente por su tiroides. La glándula puede ser destruida por la radiación beta del nucleido incorporado (yodo 131). Por consiguiente, deberían emplearse otros métodos de tratamiento, si es posible, hasta el alumbramiento. Cuando a una mujer embarazada se le diagnostica cáncer tiroideo con metástasis, el tratamiento con yodo 131, si no puede retardarse hasta después del alumbramiento, no es compatible con la continuación del embarazo.

---

### **¿El tratamiento con radiación de pacientes puede poner en peligro a otras personas?**

---

La radiación en medicina puede administrarse desde una fuente de radiación externa al paciente (por ejemplo, desde un equipo de rayos x, para diagnóstico, o un acelerador lineal, para radioterapia). Sin importar cuánta dosis hayan recibido, los pacientes no se vuelven radiactivos ni emiten radiación. Por ende, no presentan absolutamente riesgo de irradiación para la familia u otras personas.

Otra manera de administrar radiación en medicina es poniendo ma-

teriales radiactivos en el paciente. En estos casos, el paciente emitirá radiación. Para estudios de diagnóstico en medicina nuclear (en huesos o tiroides) la cantidad de radiactividad inyectada es pequeña y dichos pacientes no representan riesgo a su familia o al público. Tales pacientes son dados de alta inmediatamente después del estudio. Los pacientes pueden recibir tratamiento radioterapéutico por inyección de la actividad o por implantación de las fuentes radiactivas en el tumor. Tales pacientes pueden o no pueden presentar un riesgo a otros, según la capacidad de penetración de la radiación emitida por el radionucleido. Algunos tienen una penetración muy pobre (como los implantes de yodo 125 en la próstata) y los pacientes tratados con ellos son dados de alta. Otras personas, que reciben implantes de iridio 192 o cesio 137, deben permanecer en el hospital hasta que las fuentes sean extraídas. La radiación tiene suficiente penetración como para que se restrinjan las visitas a esos pacientes. Los pacientes tratados con actividad alta de yodo 131 para el cáncer de tiroides, en algunos casos para el hipertiroidismo, o pacientes con implantes permanentes de fuentes radiactivas (una categoría especial de la braquiterapia), una vez que son dados de alta de la clínica u hospital y regresan a sus casas, pueden presentar algunos –aunque pequeños– riesgos a los miembros de su familia si no observan las reglas específicas de comportamiento en las tales situaciones. Los especialistas responsables del tratamiento deben hacer saber a estos pacientes las precauciones necesarias que tienen que tomar, entre ellas, que tienen que evitar contacto corporal con los niños. ♦

---

#### Fuentes de información sugeridas

Web sites de: ICRP, NRPB, American College of Radiology (Colegio Americano de Radiología), European Community (Comunidad Europea), ASTRO, ESTRO, US National Cancer Institute (Instituto Nacional de Cancer de EE.UU.), BMJ Evidence Based Medicine (Medicina Basada en Evidencia)