

# La radiación y su paciente: una guía para médicos

Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson

22 de abril de 2009

## La radiación y su paciente: una guía para médicos<sup>1</sup>

Editado por

Instituto de Tecnología Nuclear *Dan Beninson*

[www.cnea.gov.ar/institutobeninson](http://www.cnea.gov.ar/institutobeninson)

Comisión Nacional de Energía Atómica

Universidad Nacional de General San Martín

Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)

Orientación de base 2

Annals of the ICRP, Volume 31 No.4 (2001)

Traducción del inglés y revisión: Máximo Rudelli

Edición y diseño de tapa: Hernán Manuel García Blesa

---

<sup>1</sup>Revisión actualizada (abril 2009) de la versión publicada originalmente en Seguridad Radiológica No. 21 Buenos Aires 2002, Máximo Rudelli.

# Índice

1. Resumen	5
2. ¿Cuál es el propósito de este documento?	6
3. ¿Es beneficioso para la salud el uso de la radiación ionizante en medicina?	7
4. ¿Existen riesgos en el uso de la radiación ionizante en medicina?	10
5. ¿Cómo cuantificamos la cantidad de radiación?	11
6. ¿Qué sabemos sobre la naturaleza (mecanismo) de los efectos biológicos radioinducidos?	12
7. ¿Cómo se clasifican los efectos de la radiación?	13
8. Efectos deterministas	14
9. Efectos estocásticos	17
10. ¿Cuál es la dimensión del riesgo de cáncer y de los efectos heredables?	21
11. ¿Está la gente expuesta a la radiación ionizante de cualquier otra fuente que las médicas para diagnóstico y tratamiento?	22
12. ¿Cuáles son las dosis típicas de los procedimientos de diagnóstico médicos?	23
13. ¿Pueden controlarse en el procedimiento diagnóstico sin alterar los beneficios las dosis de radiación?	26
14. ¿Existen situaciones en las que deben evitarse los estudios radiológicos?	28

---

15. ¿Existen procedimientos diagnósticos que deberían tener una justificación especial?	29
16. ¿Requieren consideración especial los niños y las mujeres embarazadas en los procedimientos de diagnóstico?	30
17. ¿Qué puede hacerse para reducir el riesgo de la radiación durante la realización de un procedimiento de diagnóstico?	31
18. ¿Qué se puede hacer para reducir el riesgo radiológico durante la realización de terapia radiante?	34
19. ¿Pueden recibir terapia radiante las mujeres embarazadas?	36
20. ¿Puede el tratamiento de pacientes con radiación poner en peligro a otras personas?	38
21. Fuentes de información sugeridas	40

# 1. Resumen

Este texto didáctico está dedicado a la protección de los pacientes contra la exposición innecesaria a la radiación ionizante. Esta organizado en forma de preguntas y respuestas. Existen beneficios obvios para la salud del uso médico de la radiación, por ejemplo, en el diagnóstico con rayos x, la radiología intervencionista, la medicina nuclear y la radioterapia. No obstante, existen riesgos bien establecidos provenientes de la aplicación inapropiada de dosis altas de radiación (terapia, radiología intervencionista) y posibles efectos deletéreos de las dosis de radiación pequeñas utilizadas en diagnóstico. El uso adecuado de las grandes dosis evita daños serios en terapia radiante aunque pequeñas dosis acarrear un riesgo que no puede absolutamente ser eliminado. El uso de la radiación para el diagnóstico requiere, por ende, una metodología tal que asegure los grandes beneficios del diagnóstico al tiempo que limite al mínimo el daño posible.

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

1. secuelas a consecuencia de la muerte masiva de células (los llamados efectos deterministas), que demandan una dosis alta para su manifestación (excediendo un umbral de dosis);
2. aquellos efectos que se originan en mutaciones del ADN celular, que eventualmente podrían llevar al desarrollo de un cáncer inducido por la radiación y a cambios heredables<sup>2</sup>, transmitidos a los descendientes de los individuos expuestos a la radiación en sus gónadas.

---

<sup>2</sup>Término utilizado por la ICRP en informes recientes. Reemplazó a hereditario denotando que es aleatorio.

Se presentan datos sobre la dimensión del umbral de dosis para los efectos de muerte celular. Sobre la base de la evidencia experimental, clínica y epidemiológica, también se evalúa la probabilidad de que se induzcan cánceres y mutaciones heredables con distintos valores de dosis por encima del umbral (debajo del cual no se obtendría ningún efecto).

El texto proporciona información amplia sobre las oportunidades para minimizar la dosis y, por ende, el riesgo del uso de la radiación en el diagnóstico. Este objetivo puede ser alcanzado evitando exámenes innecesarios, y optimizando los procedimientos empleados desde el punto de vista de la calidad del diagnóstico y de la reducción de dosis excesivas a los pacientes.

La optimización de la protección de los pacientes en radioterapia depende de mantener las dosis a los tumores irradiados suficientemente altas, asegurando un alto índice de curación, mientras se protege el máximo posible el tejido sano. 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.

## **2. ¿Cuál es el propósito de este documento?**

(1) En los últimos 100 años, la radiología diagnóstica, 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 un eventual daño.

(2) En la práctica médica, 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 información básica sobre los meca-

nismos 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 consultas formuladas habitualmente (por ejemplo, radiación y embarazo). Para facilitar su lectura, el texto se presenta a manera de preguntas y respuestas.

(3) Los cardiólogos intervencionistas, radiólogos, cirujanos ortopédicos y vasculares, y otros que efectivamente operan equipos de rayos x o usan fuentes de radiación, deben poseer mayor información sobre la técnica apropiada y el manejo de las dosis que la contenida en este documento. Sin embargo, este texto puede aportar un punto de partida útil.

(4) Las radiaciones ionizantes más comúnmente 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 la capacidad para ionizar los átomos de la materia que las absorbe. El presente texto se refiere sólo al uso en medicina de la radiación ionizante.

### **3. ¿Es beneficioso para la salud el uso de la radiación ionizante en medicina?**

(5) Sí. Se ha establecido más allá de toda duda el beneficio para los pacientes de los usos médicos de la radiación.

(6) 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, la radioscopia, la tomografía computada) tienen un impacto sustancial en la rapidez del diagnóstico y que en la mayor parte de los casos son de una importancia decisiva. Además,

se han desarrollado varios procedimientos para estudios de *screening*<sup>3</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 tratamientos de enfermedades muy graves –que ponen en peligro la vida– de los sistemas cardiovascular, nervioso central y otros. Estos procedimientos también son efectivos en relación con su costo.

(7) La medicina nuclear emplea sustancias radiactivas, llamadas radiofármacos, para el diagnóstico y tratamiento de una serie de enfermedades. Estas sustancias se preparan 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 espacio como en tiempo), o bien midiendo la actividad en 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 diagnóstica única en oncología (diagnóstico y estadio), cardiología, endocrinología, neurología, nefrología, urología y otras especialidades. La mayoría de los métodos en uso actualmente son aquellos preferidos en el proceso de diagnóstico, porque muestran alta sensibilidad, especificidad y buena reproducibilidad. Su eficacia en función de costos también es alta. Además, hay que enfatizar que estos procedimientos son no invasivos y no presentan ningún riesgo de

---

<sup>3</sup>No existe un criterio unánime para traducir el término *screening*. Se lo puede encontrar transcrito como "cribado"; "detección selectiva", "exploración selectiva". El diccionario de la Real Academia Española incluye el término "despistaje" a partir del término en francés. 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".



complicaciones directas al paciente.

(8) 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 lo cual no puede modificarse durante el decaimiento radiactivo. Esto significa que puede ser que haya que tomar algunas precauciones con aquellos pacientes a quienes se les ha administrado cantidades grandes de radionucleidos con fines terapéuticos, mientras están internados y luego que regresan a sus hogares, con el fin de proteger de la exposición al personal, los parientes, amigos y miembros del público.

(9) La radioterapia usa radiación ionizante para el 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 altamente calificados.

(10) Sin embargo, debe recordarse que la terapia radiante del cáncer a menudo está acompañada por efectos colaterales adversos 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 al campo de tratamiento de tejidos normales sensibles o, en casos raros, por causa de una 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 el tratamiento paliativo, la radioterapia reduce sustancialmente el sufrimiento. También existen algunas enfermedades no malignas, en las que el tratamiento

con radiación es el método de elección.

(11) La radioterapia que utiliza radiofármacos generalmente es no invasiva sino que está 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 un potencial significativo de los anticuerpos y péptidos ávidos de receptores 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.

(12) La radiación ionizante es entonces una de las herramientas básicas de la medicina contemporánea, tanto para el diagnóstico como para terapia. Es actualmente inimaginable la práctica de la medicina moderna sin el empleo de la radiación ionizante.

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

(13) Obviamente, existen algunos riesgos. La dimensión del riesgo radiológico está relacionada a las dosis: a mayor cantidad de radiación, riesgos más altos. Los beneficios indiscutibles para la salud de 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 grandes cantidades de radiación en la terapia radiante, el riesgo de efectos adversos relacionados con ella es mesurablemente superior.

(14) 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 utiliza insuficiente radiación 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 suficiente información para diagnosticar, y no administrar la suficiente radiación en terapia aumentará la mortalidad porque el cáncer será tratado pero no curado.

(15) 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.

## 5. ¿Cómo cuantificamos la cantidad de radiación?

(16) 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 magnitud se llama dosis absorbida y se expresa en gray (Gy) o miligray (mGy). Un Gy equivale a 1 J per kg.

(17) 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 de radiación absorbidas pueden medirse y/o calcularse y ellas forman la base de la evaluación de la probabilidad de los efectos inducidos por la radiación.

(18) 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 variable de tejidos diferentes y las dosis absorbidas en distintos órganos. Para comparar los riesgos de la irradiación parcial y total del cuerpo a las dosis experimentadas en radiodiagnóstico y medicina nuclear, se utiliza una magnitud denominada 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 aislados.

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

(19) 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.

(20) 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).

(21) 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 en el ADN aun sin irradiación y son reparadas fácil y eficazmente por sistemas enzimáticos 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.

(22) Algunos de los genes mutados de tal manera son el pri-

mer 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 heredables 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.

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

(23) Hay dos categorías básicas de 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 heredables (estocásticos o probabilísticos).

(24) Los efectos debidos a la muerte celular (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, considerándose actualmente que no existe un umbral por debajo del cual el efecto no ocurrirá y, finalmente, la gravedad del efecto 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.

## 8. Efectos deterministas

(25) Los efectos deterministas (reacciones tisulares nocivas<sup>4</sup>) se observan después de la absorción de grandes dosis de radiación y son principalmente 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 el aumento de la proliferación celular. La consiguiente pérdida del tejido se complica por procesos inflamatorios y, si el daño es suficientemente extenso, también por fenómenos secundarios a nivel sistémico (por ejemplo, fiebre, deshidratación, bacteriemia, etc.).

(26) Además, efectos eventuales de los procesos de curación, 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 fibrosis en órganos internos, enfermedad aguda de la radiación después de la irradiación de todo el cuerpo, cataratas y esterilidad (Tabla 1).

(27) 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 un efecto colateral de la radioterapia. También pueden producirse como consecuencia de prácticas intervencionistas complejas (como la implantación de stents en vasos sanguíneos) cuando se tienen que usar largos períodos de radioscopia.

(28) La relación entre la frecuencia de un efecto determinista dado y la dosis absorbida tiene la forma general presentada en la figura 1. Puede verse que la característica esencial de esta respuesta a la dosis es la presencia de una dosis umbral. Debajo de esta dosis, ningún efecto puede diagnosticarse, pero con dosis crecientes la intensidad del daño inducido aumenta marcadamente, en algunas situaciones dramáticamente.

---

<sup>4</sup>Denominación introducida en las publicaciones recientes de la ICRP.

(29) Un ejemplo del daño determinista a la piel es presentado en la Figura 2. El daño fue causado por una radioscopia prolongada en la misma área de la piel durante una angioplastia coronaria.

(30) 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.

(31) 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  $\sim$ 200mGy para el daño cerebral antes mencionado (8<sup>a</sup> - 25<sup>a</sup> semana).

Organo/tejido	Efecto	Umbral de dosis absorbida en Gy	
		Exposición de corto plazo (dosis única)	Exposición prolongada (Anualmente - repetida por muchos años)
Testículos	Esterilidad temporaria	0.15	0.4
	Esterilidad permanente	3.5 – 6.0	2
	Esterilidad	2.5 – 6.0	> 0.2
	Opacidad detectable	0.5 – 2.0	> 0.1
Médula ósea	Deterioro visual (cataratas)	5	> 0.15
	Deterioro de la hemopoiesis	0.5	> 0.4
Piel	Eritema (descamación seca)	2	-
	Descamación húmeda	18	-
	Necrosis de la epidermis y de la piel profunda	25	-
Cuerpo completo	Atrofia de la piel con complicaciones y telangiectasia	10-12	-
	Síndrome de enfermedad aguda de radiación	1.0	-

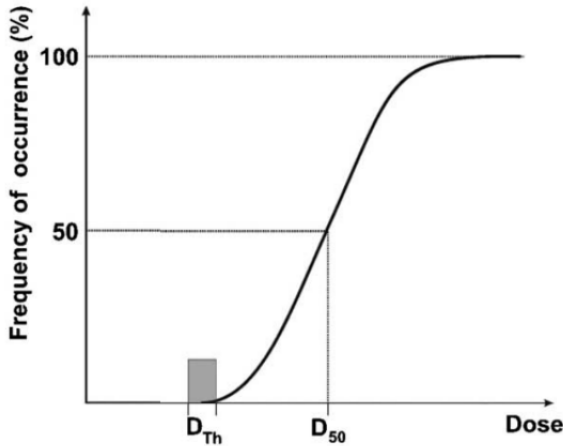
Tabla 1



## 9. Efectos estocásticos

(32) 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 heredables.

(33) 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.



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

(34) Estas observaciones permiten una estimación de la probabilidad de que una dosis dada puede llevar al diagnóstico (in-

cidencia) y muerte (mortalidad) de los varios tipos de cáncer. Entre lo último, existen varias formas de leucemia y tumores sólidos de diferentes órganos, 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 lapso para manifestarse clínicamente (período latente).

(35) 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 inducidos por la radiación, o lo son débilmente. Éstos incluyen carcinomas de próstata, del cuello de útero y del útero, linfomas y leucemia linfática crónica.

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

(37) 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 secuelas deterministas. En la Figura 3 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 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  $\sim 100$ - $200$  mGy, cualquier efecto potencial no puede medirse fácilmente.

te, por causa de los errores estadísticos de las observaciones, debidos a la enorme cantidad de cánceres espontáneos y al impacto de los factores que confunden. Esto no debe interpretarse como la presencia de una dosis umbral. Se supone que a dosis bajas (menor que 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 (F0 en la Figura 3), 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.



*Figura 2: Fotografía de la espalda de un paciente 21 meses después una angiografía coronaria y dos angioplastias dentro de los tres días; la dosis acumulativa fue evaluada en 15,000 a 20,000 mGy. El paciente ha consecuentemente rechazado un injerto de piel después de la eliminación de tejidos necróticos. (Fotografía cortesía de de F. Mettler).*

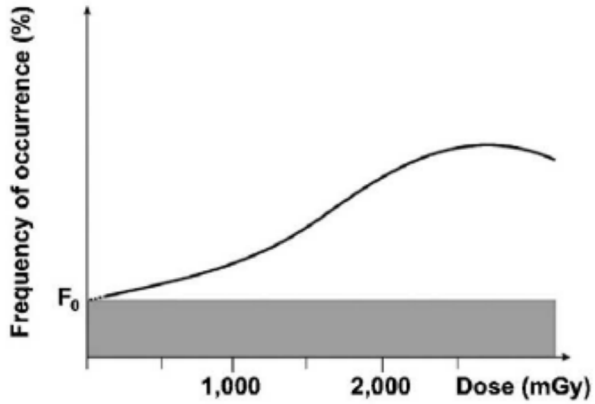


Figura 3: Una relación de la respuesta general a la dosis para efectos estocásticos inducidos por la radiación (aquí, frecuencia de cáncer después de irradiación gamma). El área sombreada – controla la frecuencia ( $F_0$ ) en una población no irradiada. La línea rota – la extrapolación a las dosis más bajas para las cuales no hay ninguna prueba directa de un efecto asociado.

## 10. ¿Cuál es la dimensión del riesgo de cáncer y de los efectos heredables?

(38) El análisis de los datos epidemiológicos de poblaciones irradiadas ha permitido la derivación del riesgo aproximado del cáncer inducido por la radiación. El valor para toda la vida, para el individuo 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 significativo estadísticamente de cáncer en poblaciones expuestas a dosis menores de 0,05 Sv.

(39) Parece que el riesgo en la vida fetal, en 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 por un factor de  $\sim 5$  (debido a una esperanza de vida limitada y, por consiguiente, menos tiempo disponible para la manifestación de un cáncer, el cual es un efecto tardío de la exposición).

(40) Los procedimientos médicos de diagnóstico de alta dosis (tales como el examen del abdomen o pelvis mediante tomografía computada) 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%).

(41) 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 exceden 50 mSv debe considerarse cuidadosamente el riesgo de cáncer.

(42) Muchos procedimientos diagnósticos de dosis relativamente elevada (como la TC) definitivamente deben justificarse y,

cuando esto se hace, el beneficio pesará mucho más que el riesgo. Deben evitarse procedimientos injustificados a cualquier nivel de dosis. En la terapia radiante existe un riesgo de cáncer secundario pero el mismo es pequeño comparado con la exigencia de tratar la malignidad presente.

(43) No se han observado en los humanos efectos heredables debido a la exposición a la radiación. No se ha encontrado ningún efecto heredable en estudios de 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 heredables no sería mayor que el 10 % del riesgo carcinogénico inducido por la radiación.

## 11. ¿Está la gente expuesta a la radiación ionizante de cualquier otra fuente que las médicas para diagnóstico y tratamiento?

(44) Si. Todos los organismos vivientes en este planeta, incluso los seres humanos, están expuestos a la radiación de las fuentes naturales. La dosis efectiva promedio anual debida a este fondo de radiación denominado 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.

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

(45) Los diversos procedimientos de radiodiagnóstico y de medicina nuclear abarcan un rango de dosis amplio. Éstas pueden expresarse como dosis absorbida en un solo tejido o como dosis efectiva al cuerpo entero, lo que facilita la comparación con las dosis de otras fuentes de radiación (como las del fondo natural).

(46) En la Tabla 2 se presentan los valores típicos de la dosis efectiva en algunos procedimientos. Las dosis son función de varios factores, como la composición del tejido, la densidad y la masa o peso corporal (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.

(47) También se debe estar consciente que cuando se realiza en diferentes instalaciones el mismo procedimiento a un individuo específico podría haber una amplia variación en la dosis administrada. Esta variación puede llegar a ser hasta un factor diez y, a menudo, puede deberse a diferencias en factores técnicos del 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 que apropiadamente.

**Tabla 2a**

Dosis efectivas típicas de exposiciones por diagnóstico médico en los 1990s (mSv)

<b>Procedimiento diagnóstico</b>	<b>Dosis efectiva típica</b>
Extremidades y articulaciones (excepto cadera)	< 0,01
Tórax (sólo PA film)	0,02
Cráneo	0,07
Columna vertebral torácica	0,7
Columna vertebral lumbar	1,3
Cadera	0,3
Pelvis	0,7
Abdomen	1,0
IVU	2,5
Ingestión de Bario	1,5
Molienda de Bario	3
Seguimiento completo con Bario	3
Enema de Bario	7
CT de cabeza	2,3
CT de Tórax	8
CT de abdomen o pelvis	10
Ventilación de pulmón (Xe-133)	0,3
Perfusión de pulmón (Tc-99m)	1
Riñon (Tc-99m)	1
Tiroides (Tc-99m)	1
Hueso(Tc-99m)	4
Estudio cardiológico (Tc-99m)	6
PET de cabeza (F-18 FDG)	5

Radiación de fondo anual

sobre los 2,5



Tabla 2b

Versiones alternativas (de NRPB modificado)

Niveles amplios de riesgo para exámenes comunes con rayos x y escaneos con isótopos			
Exámenes con rayos x (o escaneo con isótopos en medicina nuclear)	Dosis efectivas (mSv) con valor agregado de:	Periodo equivalente de radiación de fondo	Riesgo adicional de cáncer a lo largo de la vida, por exámenes
Tórax	0,01	Unos pocos días	Riesgo despreciable
Dientes			
Brazos y piernas			
Manos y pies	0,1	Unas pocas semanas	Riesgo mínimo 1 en 1.000.000 a 1 en 100.000
Cráneo			
Cabeza			
Cuello			
Pecho (mamografía)	1,0	Unos pocos meses a un año	Muy bajo riesgo 1 en 100.000 a 1 en 10.000
Cadera			
Médula			
Abdomen			
Pelvis			
Escaneo CT de cabeza			
Escaneo CT de pulmón con isótopos			
Escaneo CT de riñón con isótopos			
Riñones y vejiga (IVU)			
Estómago – molinda de Bario			
Colon – enema de Bario			
Escaneo CT de abdomen	10	Unos pocos años	Bajo riesgo 1 en 10.000 a 1 en 1.000
Escaneo de huesos con isótopos			

Estos niveles de riesgo representan un muy pequeño agregado a la probabilidad de 1 en 3 que tenemos de adquirir cáncer.

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

(48) Sí. Existen 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 el aseguramiento de una protección radiológica concreta y adecuada del paciente.

(49) 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.

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

(51) 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 el procedimiento o la técnica. De esto puede resultar un examen inútil, con el estudio contribuyendo sólo a la exposición del paciente.

(52) 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.

(53) Para cumplir estos criterios, las indicaciones para estudios específicos, tanto en una situación clínica general como en un paciente dado, deben ser hechas por el facultativo que solicita los exámenes, sobre la base del conocimiento médico. Pueden presentarse dificultades en el procedimiento de derivación, debido principalmente al desarrollo dinámico del campo de la imagino-logía clínica. El progreso técnico en la radiología y la medicina nuclear durante los últimos 30 años ha sido enorme; además, dos nuevas modalidades han ingresado en el campo: el ultrasonido y la imagino-logía de resonancia magnética.

(54) 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 guías publicadas<sup>5</sup> que pueden ayudar a hacer una derivación apropiada, siempre usando criterios bien fundados, basados en la experiencia clínica y la epidemiología.

(55) 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 (MRI), 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. Las guías 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.

---

<sup>5</sup> “Guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen” – Protección Radiológica 118, Comisión Europea, 2000.

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

(56) Sí. Existen opiniones bien arraigadas –no siempre respetadas– que indican que en ciertas circunstancias la radiografía o la radioscopia no contribuyen para nada al tratamiento del paciente. Esto es válido para situaciones en las cuales una enfermedad podría no haber recrudecido o concluido desde el estudio anterior o en las que los datos obtenidos no influirían en el tratamiento del paciente.

(57) Los ejemplos más comunes de exámenes injustificados incluyen: radiografía rutinaria del tórax en la internación en un hospital/clínica 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.

(58) Sólo puede hacerse el 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, una exposición baja de los individuos estudiados y un tratamiento eficaz y fácilmente disponible pueden producir un índice alto del beneficio vs. riesgo.

(59) Los ejemplos positivos incluyen radioscopia 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 mujeres mayores de 50 años de edad, o el screening de carcinoma gástrico por radioscopia 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.

(60) 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 acarrea 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.

## 15. ¿Existen procedimientos diagnósticos que deberían tener una justificación especial?

(61) Mientras deberían justificarse todos los usos médicos de la radiación, es lógico que cuanto mayores sean la dosis y el riesgo de un procedimiento, más debe considerar el médico si será mayor el beneficio que se obtendrá. Existen procedimientos radiológicos que administran dosis en el extremo superior de la escala que se presentan en la Tabla 2.

(62) Entre ellos, una posición especial ocupa la tomografía computada (TC), y particularmente sus variantes más avanzadas, como la TC helicoidal o la de cortes múltiples. La utilidad y eficacia de este gran logro técnico están más allá de la duda en situaciones clínicas específicas. Sin embargo la facilidad de obtener resultados de este modo y la frecuente tentación de supervisar la evolución 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.

## 16. ¿Requieren consideración especial los niños y las mujeres embarazadas en los procedimientos de diagnóstico?

(63) Sí. Tanto el feto como los niños son más radiosensibles que los adultos.

(64) 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 en el útero o en la niñez, a los valores de diagnóstico típicos (de unos pocos a unas pocas decenas de mGy), es la inducción de cáncer.

(65) 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, clínicamente indicados, alejados 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 radiológico.

(66) 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 lograr el diagnóstico y en ese momento dar por terminado el procedimiento. En medicina nuclear muchos radiofármacos se excretan por el tracto

urinario. En estos casos, la hidratación de la madre y el aumento del número de micciones reducirán el tiempo de permanencia del radiofármaco en vejiga y, por consiguiente, se reducirá la dosis al feto.

(67) Para los niños, la reducción de la dosis se logra empleando los factores técnicos [del equipamiento] específicos para niños y no los factores rutinarios para los adultos. En radiodiagnóstico se debe tener cuidado de circunscribir a sólo el área de interés el haz de radiación. Debido a que los niños son más pequeños, en medicina nuclear administrar una actividad menor que la que se emplea para un adulto aun producirá imágenes aceptables y una dosis menor al paciente.

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

(68) 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.

(69) El principio básico de la protección del paciente en estudios radiológicos diagnósticos 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.

(70) 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 ingresando en el cuerpo) para un tipo determinado de examen radiográfico es muy amplio. Un ejemplo es dado en la Figura 4.

(71) A veces, las dosis más bajas y más altas, medidas en instalaciones radiológicas independientes, varían por un factor de  $\sim 100$ . 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 razonablemente justificarse. Estableciendo los llamados niveles de referencia diagnóstica para cada uno de los estudios principales a tal percentil, uno puede identificar los lugares (instituciones, equipos de rayos x) con necesidad de acciones correctivas, las que fácil y substancialmente reducirán la dosis promedio a los pacientes.

(72) Esta meta puede alcanzarse por la cooperación de los radiólogos con los físicos médicos y las personas responsables 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.

(73) Entre los procedimientos que deben evitarse están: 1) la radioscopia y la fotoradioscopia<sup>6</sup> para la identificación de posibles enfermos de tuberculosis en los niños y adolescentes (en cambio, deben hacerse sólo radiografías normales a esta edad); 2) radioscopia sin intensificación electrónica de la imagen. En la mayoría de los países desarrollados, tal procedimiento –que da realmente dosis elevadas al paciente– está ahora legalmente prohibido.

(74) Se debería enfatizar que los procedimientos radiológicos intervencionistas llevan a dosis más altas a los pacientes que los estudios de diagnóstico normales. Sin embargo, las indicaciones para tales procedimientos, en la mayoría de los casos, son un resultado del alto riesgo de la cirugía convencional. El equipamiento

---

<sup>6</sup>Conocida normalmente como abreugrafía.



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.

(75) En medicina nuclear, la dimensión de la dosis a los pacientes resulta de la actividad<sup>7</sup> del radiofármaco administrado. El rango de actividad de éste, administrado para un propósito dado, varía entre diferentes centros médicos 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.

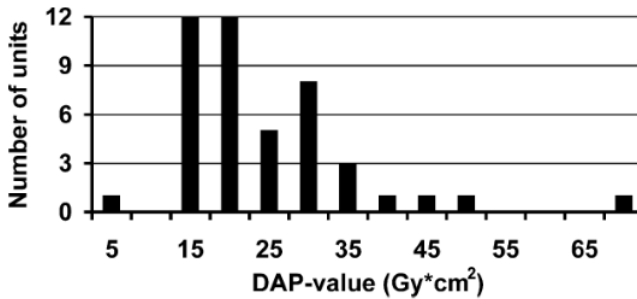


Figura 4: Distribución de la dosis al paciente de estudios de urografía intravenosa (IVU) en 45 clínicas en Suecia. Datos de la Autoridad de Seguridad Radiológica de Suecia. DAP – producto área-dosis.

(76) 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

<sup>7</sup>Actividad – número de desintegración nuclear por segundo (dps) en una muestra dada. Usado como una medida de la cantidad de sustancias radiactivas, aquí radiofármaco administrado a pacientes. La unidad es el becquerel que es 1 dps. Un megabequerel (MBq) es 1 millón de dps.

observan en los diagnósticos radiográficos (Tabla 2). 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.

(77) 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 existe 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 yodo 131 –incluso en actividades pequeñas– desde las ~10-12 semanas del embarazo (cuando la tiroides fetal se vuelve funcional).

(78) 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.

## 18. ¿Qué se puede hacer para reducir el riesgo radiológico durante la realización de terapia radiante?

(79) 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 resultado requiere el estándar de realización más alto (exactitud de la dosis impartida), tanto al planificar la irradiación para un paciente en

particular como al administrar la dosis.

**(80)** La erradicación exitosa de un tumor maligno mediante terapia radiante requiere dosis absorbidas altas al tejido blanco (tumor), aunque existe un tardío (y normalmente bajo) riesgo de complicación posterior.

**(81)** 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 impartida y reducir el volumen irradiado 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 la subsiguiente reducción de los efectos colaterales adversos.

**(82)** Sin embargo, disminuir la dosis al volumen blanco no es posible en un gran número de casos, dado que reduciría inaceptablemente la tasa de curación. 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 el máximo posible a los tejidos sanos cercanos. La terapia tridimensional ha ayudado enormemente en ese aspecto.

**(83)** 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 debería tener presente solo los tratamientos alternativos o estrategias de tratamiento combinadas.

## 19. ¿Pueden recibir terapia radiante las mujeres embarazadas?

(84) 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 (blinda-je)– 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.

(85) La 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 malformación 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.

(86) 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, puede ser considerada la interrupción del embarazo. 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 consejero.

(87) Problemas particularmente difíciles se originan cuando se ha realizado la radioterapia a una mujer con un embarazo reciente que no había sido detectado. 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 desde los órganos de la madre que retienen el yodo, 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.

(88) Cuando a una mujer embarazada se le diagnostica cáncer tiroideo con metástasis, el tratamiento con yodo 131, si no puede posponerse hasta después del alumbramiento, no es compatible con la continuación del embarazo.

## 20. ¿Puede el tratamiento de pacientes con radiación poner en peligro a otras personas?

(89) 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.

(90) Otra manera de administrar radiación en medicina es colocando materiales 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.

(91) Los pacientes pueden recibir tratamiento de radioterapia metabólica por administración de la actividad via oral o inyectable 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 baja (como los implantes de yodo 125 en próstata) y los pacientes tratados con ellos son dados de alta. Otras personas, que reciben implantes de iridio 192 o cesio 137, deben permanecer internadas hasta que las fuentes sean extraídas. La radiación tiene suficiente penetración como para que se restrinjan las visitas a esos pacientes.

(92) Los pacientes tratados con una 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 ca-

sas debiendo respetar reglas específicas de comportamiento en las tales situaciones. Los especialistas responsables del tratamiento deben hacer saber a estos pacientes por medio de instrucciones escritas las precauciones necesarias que tienen que tomar, entre ellas, que tienen que evitar contacto corporal con los niños y embarazadas para evitar que los pacientes o acompañantes reciban dosis innecesarias.

## 21. Fuentes de información sugeridas

Sitios de internet sugeridos<sup>8</sup> para ampliar la información expuesta.

- Radiation Protection of Patients  
<http://rpop.iaea.org/RPOP/RPOP/Content/index.htm>
- Radiation answers  
<http://www.radiationanswers.org/radiation-sources-uses/medical-uses.html>
- Radiation Event Medical Management  
<http://www.remm.nlm.gov/>
- Portal de Protección Radiológica  
<http://www.ionizantes.ciemat.es/>
- RadiologyInfo  
<http://www.radiologyinfo.org/sp/index.cfm?bhcp=1>
- Radiation Safety Information  
<http://www.radiation.org.uk/>
- Sante- Environnement- Travail  
[http://www.sante-environnement-travail.fr/portail\\_n1.php?id\\_mot=33&id\\_theme\\_n2=2744&id\\_theme\\_n3=2749#ancre\\_2749](http://www.sante-environnement-travail.fr/portail_n1.php?id_mot=33&id_theme_n2=2744&id_theme_n3=2749#ancre_2749)
- La radioactivite  
<http://www3.laradioactivite.com/fr/site/pages/Medicin.htm>
- Radiation Dose Assessment Resource RADAR  
<http://www.dose-info-radar.com>

---

<sup>8</sup>Enlaces a sitios existentes en abril 2009