

# Veinte preguntas sobre radiaciones ionizantes, su uso y beneficio en el diagnóstico pediátrico

Luis Fernando Gentile

## 1. ¿Cómo se definen ionización y radiación ionizante?

**Ionización:** es el proceso mediante el cual uno o más electrones son liberados de los átomos, moléculas o cualquier otro estado en que se encuentren. Si la energía impartida al electrón no es suficiente para arrancarlo del átomo (pero alcanza para que adquiera un estado de mayor energía), se ha producido un proceso de excitación.

**Radiación ionizante:** son partículas, con carga eléctrica o sin ella, capaces de causar ionización y excitación en los átomos que atraviesan.

**Radiación directamente ionizante:** son partículas cargadas eléctricamente, como electrones, protones y partículas alfa.

**Radiación indirectamente ionizante:** son partículas sin carga eléctrica (rayos X, rayos gamma, etc.).

## 2. ¿Cuáles son los efectos de la radiación?

Cuando la radiación ionizante interactúa con la célula, se producen ionizaciones y excitaciones en el ADN o en el medio donde están suspendidas. La ionización es la pérdida de electrones de los átomos, formándose iones o átomos cargados. Los iones resultantes pueden interactuar con los átomos en las células, causar daño e incluso la muerte celular.

A bajas dosis, como las que recibimos diariamente debido a la radiación natural del medio ambiente, los daños causados a las células pueden ser reparados rápidamente. A dosis altas (hasta 100 REM) hay células que no pueden reparar correctamente el daño ocasionado y entran en un proceso de transformación o mueren. Si el número de células muertas es pequeño, no se produce un mayor daño debido a que son simplemente reemplazadas.

## 3. ¿Cuáles son los métodos que utilizan radiaciones ionizantes y cuáles no?

Entre los primeros deben tenerse en cuenta a la radiología convencional y digital, la to-

mografía axial computarizada, la medicina nuclear, la mamografía, la densitometría, la tomografía por emisión de positrones (PET) y la tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT). Además, los estudios hemodinámicos e intervencionistas utilizan altas dosis de radioscopia.

Aquellos que no emplean estas radiaciones son la ecografía, que utiliza ultrasonidos, y la resonancia magnética que emplea ondas de radiofrecuencia y campos magnéticos.

## 4. ¿El niño recibe menos radiación con la radiología digital?

Recibe la misma dosis que con la radiología convencional. El beneficio está en el manejo posterior de la imagen (transmisión, PACS y en su archivo electrónico). Además, evita repeticiones innecesarias, ya que permite mejorar la calidad de la radiografía con posproceso de la imagen.

## 5. ¿Cómo se mide la dosis de radiación?

La cantidad de radiación puede medirse con distintas unidades según el efecto producido. Hay distintas denominaciones de dosis y equivalencias entre ellas. La más utilizada para aquella que atraviesa los tejidos fue el RAD o MILIRAD. Actualmente de acuerdo con los distintos daños o absorciones individuales de los tejidos, hay otros tipos de medición de dosis: 1 RAD = 0,01 (Grays) = 1 REM = 10 Milisievert (mSv).

El personal que trabaja en Radiología no debe recibir más de 20 mSv por año.

## 6. ¿Cuáles son los efectos biológicos de las radiaciones?

La ionización y excitación son potencialmente lesivas para la estructura celular, el metabolismo y la función del órgano. Los daños se clasifican en efectos estocásticos (tardíos) y no estocásticos (precoces). Los primeros implican que un simple "impacto" de radiación a una célula puede causar una consecuencia bio-

lógica. El daño puede ser hereditario (en las gónadas) o carcinogénico (en el tejido). No existe umbral. Esta naturaleza estocástica de la radiación es la base de la protección radiológica preventiva.

El efecto no estocástico precoz de la radiación tiene un umbral determinado para cada órgano. Estos umbrales han sido establecidos a partir de experiencias previas, como tratamiento del cáncer con radioterapia. Los exámenes de radiología diagnóstica (donde la dosis en la piel varía entre 0,1 mSv y 0,1 Sv por examen), exponen al paciente a una dosis muy baja, de forma que no se desarrollan las consecuencias de los efectos no estocásticos. Una evidente excepción es la dosis al feto, en particular durante el sensible período de la organogénesis (más dosis, mayor daño).

Se estima que, si entre 200.000 y 2.000.000 de personas reciben una dosis de 1 mSv (la misma que la dosis de fondo por año, sin el radón ambiental), es probable que una persona pueda desarrollar cáncer. Es, por lo tanto, imposible separar tan pocos casos de los cánceres ocasionados por otros factores, como las toxinas ambientales.

Otras causas, como el tipo y la energía de la radiación, la tasa de dosis, el tiempo entre exposiciones o fraccionamientos y la diferente sensibilidad de los tejidos a la radiación, tienen un efecto significativo en la probabilidad de aparición de la lesión (Tablas I y II).

## 7. ¿Cuál es el peligro de las radiaciones?

Cualquier radiación se considera nociva en Pediatría. La reducción de la dosis debe extremarse en las localizaciones sensibles genéticamente (gónadas) y somáticamente (ojo, tiroides).

## 8. ¿Cómo deben protegerse las gónadas?

Se deben proteger siempre que se encuentren a 4 cm del haz principal. En casi todas las exploraciones del abdomen y la pelvis, deben protegerse los testículos. Dada la localización de los ovarios y su posición variable, es obvio que no pueden protegerse completamente en las exploraciones de abdomen y pelvis. No obstante, si se solicitan las dos proyecciones que incluyen los ovarios (pelvis con cadera) en una niña, una de ellas, debe hacerse sin protección de las gónadas. En algunos casos, pueden emplearse distintas incidencias del rayo para reducir la dosis de radiación sobre los órganos más sensibles. Por ejemplo, la práctica de los estudios sobre la mama en forma posteroanterior (PA) en lugar de

anteroposterior (AP), disminuye considerablemente la dosis sobre el tejido mamario debido a que la dosis de entrada es 50 veces mayor que la dosis de salida. Esto es así, especialmente, en la radiografía de columna para escoliosis, donde se puede invertir al paciente para que el rayo lo atraviese en sentido PA en lugar de AP. Así se evita la mayor radiación de entrada en la piel del paciente, es decir del lado mamario.

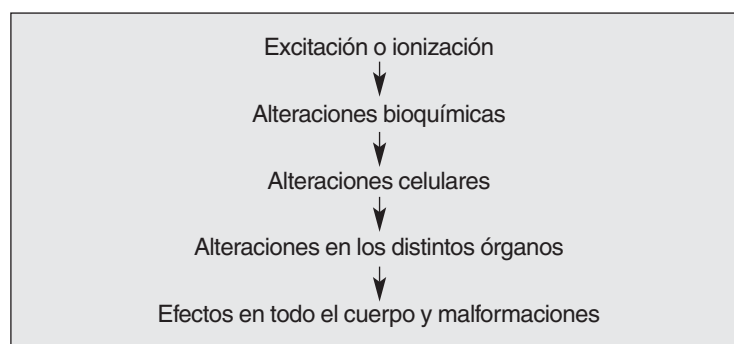
## 9. ¿Cómo debemos proteger en forma general?

**En primer lugar reduciendo la dosis de radiación e indicando, siempre que se pueda, aquella modalidad que no la utilice.** La Tabla III resume la conducta sugerida ante la indicación de un examen de diagnóstico por imágenes.

### **Concepto fundamental en radioprotección:**

Debido a que las lesiones por pequeñas dosis pueden ser, en cierto modo estocásticas, el punto de partida de la protección radiológica es evitar y reducir las dosis somáticas y genéticas a tan bajo nivel como sea posible. Las consecuencias de pequeñas dosis impartidas en largos períodos son, en parte, desconocidas y como el tiempo para que un carcinoma aparezca puede ser de décadas, los daños causados por la radiación a bajo nivel son frecuentemente imposibles de separar de las enfermedades causadas por otros factores.

**Tabla I. Secuencia de efectos de las radiaciones ionizantes**



**Tabla II. Efectos de las radiaciones**

**Precoces:** No estocásticos, tiene umbral de dosis, la gravedad de la lesión es proporcional a la dosis.

**Tardíos:** Estocásticos, no hay umbral de dosis, la incidencia es proporcional a la dosis.

**Tabla III. Conductas ante un examen de diagnóstico por imágenes**

|   |
|---|
| <p><b>Reducción de la dosis sobre el área examinada</b><br/>         Seleccionar el método que ahorra radiación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ecografía</li> <li>– Resonancia magnética</li> <li>– Medicina nuclear</li> <li>– Técnicas con dosis bajas</li> <li>– Evitar la repetición de exámenes</li> <li>– Reducir el número de exposiciones</li> <li>– Elegir la combinación adecuada película–pantalla o buen detector digital</li> <li>– Emplear la proyección adecuada</li> <li>– Emplear el filtro adecuado</li> <li>– Procesar las radiografías adecuadamente (revelación)</li> </ul> <p><b>Reducción de la dosis sobre las áreas no examinadas</b><br/>         Seleccionar el método que ahorra radiación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ecografía</li> <li>– Resonancia magnética</li> <li>– Medicina nuclear</li> <li>– Técnicas de dosis bajas</li> <li>– Emplear una colimación ajustada (focalizar el rayo)</li> <li>– Proteger las mamas y las gónadas</li> <li>– Inmovilizar al paciente</li> <li>– Emplear la posición adecuada</li> </ul> |
|---|

### 10. ¿Hay algún concepto bien definido en el uso de las radiaciones?

Una radiación mínima y diagnóstica debe cumplir con el enunciado del Comité Internacional de Radiaciones y su enunciado tan difundido: “Usar tan baja radiación como sea posible de acuerdo con las posibilidades prácticas” (*principio ALARA* “As Low As Reasonably Achievable”).

Los efectos acumulados de la radiación y su potencial son mayores en niños que en adultos debido a: 1) la frecuencia de algunos procedimientos radiológicos, 2) la radiosensibilidad de las células en rápida división, 3) la expectativa de vida en los niños.

De todos modos, la dosis de radiación en niños es menor que en los adultos, porque tienen menor tamaño pero, a pesar de ello, los técnicos en radiología tienen la responsabilidad de mantener la dosis lo más razonablemente baja posible, en particular para órganos vitales, como gónadas y tiroides.

Para limitar la exposición del niño a la radiación es indispensable que tanto el técnico como el médico radiólogo estén entrenados en radiología pediátrica. (Para reducir al mínimo la repetición de estudios radiográficos, debe colocarse al niño en posición e inmovilizarlo apropiadamente,

tomar el mínimo de placas y elegir previamente los factores de exposición adecuados).

### 11. ¿Qué métodos de protección existen?

#### **Protección gonadal**

Para limitar los efectos genéticos se debe usar protección gonadal cuando los testículos u ovarios estén en el haz directo de los rayos X o cerca de los límites de la región colimada (puede estimarse hasta los 4 cm del rayo central). En general, es más fácil proteger los testículos, porque están fuera de la cavidad del cuerpo. Un protector de plomo reduce la exposición a la radiación casi un 90%. La protección de los ovarios puede reducir la exposición hasta un 50%.

Los testículos pueden protegerse en casi todos los estudios de abdomen y pelvis cuando no se evalúa la uretra. Los ovarios se pueden proteger para exámenes de caderas, pero no cuando es necesario visualizar la pelvis o la parte baja del abdomen (por ejemplo, la estructura ósea sacrococcígea) o en trastornos que involucren a la región (por ejemplo, en teratomas), pues no sería posible evaluar los alcances de la masa.

#### **Delantales protectores**

Pequeños delantales de tela plomada (a veces llamados mini-delantales o semidelantales), fabricados en varios tamaños para adaptarlos a pacientes de todas las edades. Tienen por objeto absorber la radiación dispersa y ayudan a proteger las gónadas, en particular cuando éstas quedan cerca del área examinada.

#### **Protectores de glándulas mamarias**

Los estudios efectuados en el Japón, a fines de la década de 1970, en sobrevivientes de la bomba atómica, en mujeres con tuberculosis examinadas radioscópicamente con frecuencia y en mujeres irradiadas por mastitis, determinaron que la edad de exposición fue la principal influencia para el desarrollo de cáncer mamario. Estos estudios demostraron una fuerte evidencia de inducción de cáncer en las mujeres que estuvieron expuestas entre los 10 y 35 años, y el mayor riesgo se observó entre los 15 y 20 años. El tejido glandular durante el crecimiento mamario o el embarazo es particularmente sensible a la radiación ionizante.

#### **Protección del cristalino**

Siempre que sea posible, la radiografía de cráneo debe tomarse en posición PA en lugar

de AP, para reducir la exposición del cristalino a la radiación. Con los niños, esto no es muy práctico, porque ellos sienten menos temor a un procedimiento cuando pueden ver lo que sucede a su alrededor.

### Exposición y dosis

La dosis mide la cantidad de energía descargada al tejido por masa de tejido en un sitio específico del cuerpo, como resultado de la dispersión o de la absorción de un rayo X. Si es baja, esta energía transferida no afecta los tejidos del paciente. Sólo si la energía es suficiente, se ocasiona daño radiobiológico. La dosis a los tejidos de poca profundidad es significativamente más alta que la suministrada a tejidos situados en planos más profundos, debido a que los primeros detienen (absorben) los rayos X. Esto ocurre en las radiografías convencionales, ya que en la tomografía computarizada la radiación suele ser homogénea en todo el plano del corte.

### 12. ¿Cuál es la dosis gonadal absorbida?

La dosis gonadal sin protección varía desde la mínima hasta valores significativos e importantes. Estos dependen de la exposición en la superficie de la piel y de la proximidad de las gónadas al haz primario. Estos valores pueden reducirse, en casi todos los casos, mediante la protección adecuada.

En Radiología, se consideran insignificantes las dosis gonadales menores que la dosis diaria de radiación procedente del medio ambiente. A nivel del mar, la dosis diaria a los testículos procedente de la radiación ambiental es de 0,25 mrad. La dosis diaria correspondiente a las gónadas femeninas es un poco menor. Por lo tanto, la dosis gonadal relacionada con cualquier examen de las extremidades y de cráneo es claramente insignificante. Se calcula que las dosis gonadales que acompañan estos exámenes son todas inferiores a 0,002 mrad (unas 200 veces menores que el nivel establecido de 0,25 mrad). Puesto que las dosis gonadales relacionadas con estudios de tórax son >0,001 mrad, estos exámenes generan dosis gonadales mínimas.

Las dosis que acompañan a los estudios de abdomen, columna y pelvis son significativas y debe usarse protección gonadal. En todos estos exámenes, las gónadas femeninas quedan dentro del haz primario de rayos X. En los estudios de columna y abdomen, la dosis gonadal masculina es menor que la dosis de la línea media. Para el examen AP de la cadera, las gónadas masculinas quedan en el haz pri-

mario de rayos X, entre los planos de entrada y de la línea media; por consiguiente, la dosis gonadal es mayor que la dosis de línea media.

### 13. ¿Qué dosis recibe el paciente en la piel en una radiografía de tórax?

En la Tabla IV, se detallan las dosis en una radiografía de tórax.

### 14. ¿Qué sucede con el personal de Radiología?

La primera regla en la protección radiológica del personal es que salga de la Sala de Rayos X cuando se efectúa un examen. En estudios radioscópicos, se debe trabajar:

- rápido
- con suficiente ropa protectora
- a una distancia apropiada de las fuentes de radiación

Estas tres medidas son de importancia capital tanto en el trabajo con rayos X, como con isótopos en medicina nuclear. El personal que tiene más probabilidad de estar expuesto a la radiación es aquel que trabaja con equipos de radioscopia (radiólogos, cirujanos, hemodinamistas, intervencionistas, etc.), las enfermeras que sujetan a niños pequeños o a pacientes no colaboradores, así como el personal que trabaja en medicina nuclear diagnóstica.

La legislación y las recomendaciones nacionales (Ley 17.557) e internacionales sobre la radiación están universalmente en uso. Conforme a estas reglas, las salas de exámenes, los equipos y las condiciones de trabajo deben ser adaptados para que la dosis disminuya a un nivel tan bajo como sea posible, y para que la calidad de las imágenes y los exámenes consigan el más alto nivel posible. La recomendación más reciente de la ICRP (publicación 60, de 1990) pone el límite de la dosis corporal total en 20 mSv por año para el personal. Este valor

Tabla IV. Dosis de radiación en una radiografía de tórax AP

| Edad del paciente | Dosis en piel $\geq 20\%$ (mrads) |
|-------------------|-----------------------------------|
| Adulto            | 6                                 |
| 10–15 años        | 6                                 |
| 6–10 años         | 6                                 |
| 3–6 años          | 5                                 |
| 1–3 años          | 4                                 |
| 3–12 meses        | 4,8                               |
| Recién nacidos    | 3,8                               |

es un 40% del límite máximo anterior, lo que indica un incremento en la actitud conservadora en la protección radiológica.

Se debe recomendar que la dosis que recibe el personal por radiación dispersa sea de 200 a 800 veces menor que la dosis en el campo de entrada sobre la piel del paciente.

### 15. ¿El hombre recibe radiación ionizante natural del medio ambiente?

#### Fuentes de radiación ionizante

Fuentes naturales o ambientales (con emisión de 295 mrad por año), que se dividen en cósmicas, terrestres o el gas radón ambiental, que se dispersa por todo el globo terráqueo.

Es importante tener en cuenta que hay algunas zonas geográficas donde se encuentra alta radiación llamada de "fondo" o natural, por ejemplo, las aguas termales de Badgastein

(Austria), el Brasil (Guerapari y Espíritu Santo), la China (provincia de Guangdong), la India. En estas zonas, no se demostraron fehacientemente daños biológicos entre sus habitantes.

La dosis de fuentes naturales es aproximadamente de 3 mSv por año. El gas radón y los cósmicos ocupan gran parte de la radiación.

En términos prácticos, la exposición a la radiación en una radiografía de tórax en un niño es equivalente a la exposición en el medio ambiente en 10 días.

### 16. ¿Existen informes sobre una relación de cáncer por radiación?

Se han comunicado los siguientes casos:

- pintura radiactiva utilizada en los relojes Rolex (1960): cáncer óseo en los empleados
- excesivo control radioscópico: cáncer de mama en pacientes con tuberculosis
- niños irradiados por timo (1950): cáncer tiroideo luego de 20-30 años
- pacientes irradiados por tumores: cáncer de tiroides, osteosarcoma de cabeza y cuello
- mineros que trabajan en minas de uranio: cáncer de pulmón
- personas que trabajan con radiaciones: radiodermatitis, linfomas, leucemias

### 17. ¿Cuál es el grado de radiosensibilidad de los tejidos?

**Alto:** tejido linfático, médula ósea, ovarios y testículos

**Intermedio:** piel-tiroides, aparato digestivo, riñones

**Bajo:** músculos y tendones, cerebro, columna vertebral y médula

### 18. ¿Se puede comparar la radiación utilizada en los exámenes con la que se recibe del medio ambiente en un tiempo determinado?

En la Tabla V, se detallan procedimientos con la dosis de radiación y su comparación con la radiación del medio ambiente.

### 19. ¿Es útil comparar la dosis en los distintos exámenes con la dosis absorbida en la piel por el par radiológico de tórax frente y perfil en recién nacidos?

En la Tabla VI, se presentan los datos comparativos promedio.

Tabla V. Comparación de radiaciones

| Procedimiento                | Dosis de radiación | Comparable con la radiación natural del medio ambiente |
|------------------------------|--------------------|--|
| TAC abdomen                  | 8-10 mSv           | 3-3,5 años   |
| TAC total                    | 10-12 mSv          | 3-3,5 años   |
| Cistouretrografía miccional  | 2 mSv              | 6 meses  |
| Videodeglución y seriada EGD | 3 mSv              | 16-18 meses  |
| TAC cabeza                   | 2-3 mSv            | 10 meses   |
| Radiografía de tórax         | 0,01 mSv           | 20 días  |
| TAC tórax                    | 5 mSv              | 2 años   |

TAC = tomografía axial computarizada; EGD = esofagogastroduodenal.

Tabla VI. Datos comparativos promedio en dosis de mrad en piel

| Estudio                                 | Dosis              |
|---|--------------------|
| Tórax frente y perfil (par radiológico) | 10 mrad            |
| Columna (espesor 20 cm)                 | 7 pares de tórax   |
| Cráneo de 2 años                        | 8 pares de tórax   |
| Senos de 6 años                         | 9 pares de tórax   |
| Un min radioscopia                      | 400 pares de tórax |
| Una TAC cráneo                          | 400 pares de tórax |
| Una TAC abdomen                         | 400 pares de tórax |
| Cistouretrografía miccional             | 200 pares de tórax |
| Seriada EGD                             | 240 pares de tórax |

TAC = tomografía axial computarizada; EGD = esofagogastroduodenal.

## 20. ¿De qué trata la Guía Francesa de Protección Radiológica 97/43 Euratom, modificada por el Comité de Radioprotección de la Sociedad Argentina de Radiología y Diagnóstico por Imágenes?

La necesidad de racionalizar las radiaciones ionizantes fundamentó las siguientes guías, modificadas por el Comité de Radioprotección de la Sociedad Argentina de Radiología y avaladas por el Grupo de Diagnóstico por Imágenes de la Sociedad Argentina de Pediatría.

A continuación, se enumeran algunas patologías infantiles y los estudios iniciales recomendados.

*Enfermedades congénitas, deformidad de la cabeza, hidrocefalia:* resonancia magnética, ecografía/radiografía de cráneo/tomografía axial computarizada.

*Posible anomalía de las suturas, epilepsia, hipocusia:* radiografía de cráneo/resonancia magnética o medicina nuclear/tomografía computarizada/resonancia magnética.

*Hidrocefalia por posible disfunción de la derivación de líquido cefalorraquídeo:* radiografía/ecografía/resonancia magnética.

*Retraso del desarrollo por posible parálisis cerebral:* radiografía/ecografía/resonancia magnética.

*Cefaleas:* radiografía de cráneo/resonancia magnética o tomografía computarizada.

*Sospecha de sinusitis:* radiografía de senos paranasales.

*Infección respiratoria aguda, tos, cuerpos extraños; trastornos respiratorios generales y traqueales:* radiografía de tórax.

*Soplo cardíaco:* radiografía de tórax.

*Invaginación intestinal:* radiografía de abdomen/ecografía.

*Ingestión de un cuerpo extraño:* radiografías de abdomen y tórax.

*Traumatismo abdominal:* radiografía de abdomen.

*Vómitos en chorro:* ecografía.

*Vómitos recurrentes:* tránsito o seriada esofago-gastroduodenal.

*Ictericia neonatal persistente:* ecografía/medicina nuclear.

*Rectorragia:* medicina nuclear.

*Constipación:* radiografía de abdomen/enema opaco.

*Masa abdominal o pélvica palpable:* ecografía + radiografía de abdomen.

*Trastornos respiratorios prolongados y posibles microaspiraciones:* videodeglución.

*Enuresis:* ecografía, eventual medicina nuclear y radiografía de abdomen.

*Incontinencia urinaria:* ecografía/urograma excretor.

*Criptorquidia:* ecografía.

*Dilatación de vías urinarias (diagnóstico prenatal):* ecografía.

*Infección urinaria demostrada:* ecografía/medicina nuclear, cistouretrografía miccional.

## Bibliografía sugerida

1. Conway BJ, Duff JE, Fewell TR, et al. A patient equivalent attenuation phantom for estimating patient exposures from automatic exposure controlled x ray examinations of the abdomen and lumbo-sacral spine. *Medical Physics* 1990;17(3):448-453.
2. Brenner DJ. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR* 2001;176(2):289-296.
3. Robinson AE, Hill EP, Harpen MD. Radiation dose reduction in pediatric CT. *Pediatr Radiol* 1986;16(1):53-54.
4. Paterson A, Frush DP, Donnelly I. Helical CT of the body: are settings adjusted for pediatric patients? *AJR* 2001;176(2):297-301.
5. Seeram E. *Radiation Protection*, Philadelphia: Lippincott Raven; 1997.
6. Godderidge C. *Pediatric Imagenology*, 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia: McGraw-Hill; 1996.
7. Bushong SC. *Radiologic Science for Technologists*, 6<sup>th</sup> ed. St Louis: Mosby Year Book; 1997.
8. Bushong SC. *Radiation Protection*, Philadelphia: McGraw-Hill; 1998.
9. Kamel IR. Radiation dose reduction in CT of the pediatric pelvis. *Radiology* 1994;190(3):683-687.
10. Haaga JR. Radiation dose management weighing risk versus benefit. *AJR* 2001;177(2):289-291.
11. Kirks DR. *Radiología Pediátrica*, Madrid: Marban; 2000.
12. Texto de Radioprotección de la Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, 2002.
13. Visconti PJ. *Radiation Protection in Medical Radiography*, 4<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Mosby; 2002.
14. Roebuck DJ. Ionising radiation in diagnosis: do the risks outweigh the benefits? *Med J Aust* 1996;164(12):743-747.
15. McDonald S, Martín CJ, Darragh CL, Graham DT. Dose-area product measurements in paediatric radiography. *Br J Radiol* 1996;69(820):318-325.
16. Russell JG, Fawcitt R. New risks, new doses. *AJNR* 1992;13(3):850-852.
17. Actas del Comité de Radioprotección de la Sociedad Argentina de Radiología y Diagnóstico por Imágenes, 2007.
18. Actas del Grupo de Diagnóstico por Imágenes de la Sociedad Argentina de Pediatría, 2007.

19. Kalra Mk, Maher MM, Kamath RS, et al. Sixteen-detector row CT of abdomen and pelvis: study for optimization of Z-axis modulation technique performed in 153 patients. *Radiology* 2004;233(1):241-249.
20. Kalra MK, Maher MM, Toht TL, et al. Comparison of Z-axis automatic tube current modulation technique with fixed tube current CT scanning of abdomen and pelvis. *Radiology* 2004;232(2):347-353.
21. Mastora I, Remy-Jardin M, Delannoy V, et al. Multi-detector row spiral CT angiography of the thoracic outlet: dose reduction with anatomically adapted online tube current modulation and preset dose savings. *Radiology* 2004;230(1):116-124.
22. Hundt W, Rust F, Stähler A, et al. Dose reduction in multislice computed tomography. *J Comput Assist Tomogr* 2005;29(1):140-146.
23. Gress H, Lutze J, Nömayr A, et al. Dose reduction in subsecond multislice spiral CT, examination of children by online tube current modulation. *Eur Radiol* 2004;14(6):995-999.