

ISSN 0327 - 0009

N° 13 - SETIEMBRE - 1988

9.88-57

BOLLETIN

BUENOS AIRES - ARGENTINA



SOCIEDAD ARGENTINA DE RADIOPROTECCION

Miembro de la International Radiation Protection Association

Protección radiológica en las aplicaciones médicas de las radiaciones

César Fernando ARIAS

Las normas argentinas sobre protección radiológica establecen un límite superior de $1,5 \times 10^{-2}$ Sv/año por MW(e) para la dosis colectiva de radiación producida por un reactor nuclear de potencia (1). En consecuencia, un reactor de 300 MW(e), como es el caso de la Central Nuclear Atucha I, podría comprometer una dosis colectiva de hasta 4,5 Sv/año. La aplicación del criterio de optimización reduce las dosis colectivas a valores menores (2).

Un sencillo equipo de rayos X como los que se emplean en los procedimientos masivos de fotofluorografía, puede producir unas 10.000 placas por año; la dosis equivalente efectiva que recibe cada paciente en este tipo de exposición es, en promedio, de 0,3 mSv. Por lo tanto, la dosis colectiva asociada a la operación de este tipo de equipo puede ser de unos 3 Sv/año.

Los números anteriores muestran que una central nuclear y un sencillo equipo médico de rayos X, operando en condiciones normales, pueden originar dosis colecti-

vas del mismo orden de magnitud; pero el número de equipos de rayos X existente en el mundo es incomparablemente mayor que el número de centrales nucleares; por ello, se ha estimado que la contribución de las fuentes de radiación de uso médico a la dosis colectiva de la población mundial es más de 1000 veces mayor que la contribución de las centrales nucleares. No obstante, a diferencia de lo que sucede con la energía nuclear, las fuentes de radiación empleadas en medicina no han sido motivo de preocupación ni de controversias.

En general, las personas que pueden recibir dosis de radiación se clasifican en trabajadores y miembros del público. En el caso de las aplicaciones médicas de las radiaciones, debe considerarse una tercer categoría de personas: los pacientes que son irradiados con propósitos de diagnóstico o terapia. Las aplicaciones médicas constituyen el único caso de utilización de fuentes de radiación en que las personas deben ser deliberadamente irradiadas para obtener un beneficio.

La filosofía de protección radiológica se sustenta en tres principios básicos: justificación, limitación de dosis y optimización (4). Se analizan seguidamente los conceptos de justificación y optimización en relación con la irradiación de pacientes con fines de diagnóstico. La limitación de dosis no es aplicable en el caso de los pacientes.

Principio de justificación: Significado

La humanidad, a lo largo de su historia, ha procurado incrementar los niveles de seguridad ante los más diversos riesgos. Si bien se ha progresado sensiblemente en la búsqueda de una mayor seguridad en muchos campos, la seguridad absoluta parece ser un objetivo inalcanzable en muchas circunstancias, como en el caso de los eventos accidentales. Este es el caso también de los efectos estocásticos de la radiación en virtud de

la hipótesis de no existencia de umbral de dosis para tales efectos.

La ausencia de un umbral de dosis en la relación dosis-efecto tiene las siguientes consecuencias:

- Toda exposición a radiación implica un riesgo (o probabilidad de efecto estocástico) " p_i ", que es función de las dosis de radiación y que no puede ser nulo a menos que la dosis sea cero.

- Si bien los riesgos individuales " p_i " son pequeños, la expectativa matemática de un daño o detrimento colectivo puede ser significativa si el número N de personas es grande. El detrimento colectivo " G " se define como:

$$G = \sum_i N_i \cdot P_i \quad *$$

- En consecuencia, el impacto de una fuente de radiación sobre la salud de la población depende del nivel de dosis que reciben las personas y del número de personas expuestas.

- Dado que toda aplicación de fuentes de radiación implica riesgos individuales y un detrimento colectivo, cada utilización posible debe estar justificada por los beneficios que aporta y debe preferirse cualquier alternativa que ofrezca un mejor balance entre riesgos y beneficios (Principio de Justificación).

La hipótesis de ausencia de umbral es suficiente para formular el Principio de Justificación y el concepto de detrimento colectivo. Pero la evaluación de los riesgos y el detrimento se simplifica notablemente en virtud de la hipótesis de linealidad en la relación riesgo " p " - dosis " H ", en el rango de bajas dosis:

$$p = K \cdot H$$

Esta hipótesis implica que iguales incrementos de dosis producen iguales incrementos en el riesgo individual, con independencia de las exposiciones previas. Asimismo, esta suposición facilita considerablemente la evaluación del detrimento colectivo:

$$G = K \cdot \sum_i N_i \cdot H_i = K \cdot S$$

$$\text{Siendo } S = \sum_i N_i \cdot H_i \quad *$$

La anterior ecuación significa que el nivel de dosis individuales y el número de personas irradiadas influyen equivalentemente en el valor del detrimento. El concepto de dosis colectiva "S" sintetiza esa doble influencia.

Justificación de las aplicaciones de radiaciones en el diagnóstico médico

Las dosis recibidas por los tejidos de los pacientes en una exposición de rayos X con propósitos de diagnóstico se encuentran en un rango de 0,1 mSv a 100 mSv. Los distintos órganos y tejidos resultan, en general, irradiados en forma muy heterogénea. Los riesgos individuales deben evaluarse considerando el sexo y la edad. Sin embargo, el concepto de dosis equivalente efectiva "H" puede ser útil para evaluar riesgos medios en grupos de personas expuestas. "H" toma valores en un rango comprendido entre 0,05 mSv y 10 mSv. El riesgo de muerte por cáncer es $1,2 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$; en consecuencia, el riesgo promedio individual está comprendido entre 10^{-6} y 10^{-4} para un procedimiento de diagnóstico. Puede considerarse que un riesgo de este orden es muy bajo, pero no es nulo. Por lo tanto, un procedimiento de ra-

diodiagnóstico estará justificado toda vez que exista, al menos, una razonable presunción sobre el valor informativo del mismo y no se cuente con otra opción de menor riesgo e igual eficiencia.

Los procedimientos radiológicos masivos, realizados con propósitos de vigilancia epidemiológica, implican la exposición a radiaciones de muchas personas. En tales procedimientos se desconoce, a priori, el beneficio individual, pero se espera un beneficio colectivo. Cada examen fotofluorográfico, por ejemplo, puede producir una dosis equivalente efectiva de 0,3 mSv en el paciente; por lo tanto, si se efectúan tales exámenes a un millón de personas, la dosis colectiva será de 300 Sv, a la cual corresponde una expectativa matemática de 3 casos fatales de cáncer inducido por radiación (detrimento colectivo). Probablemente, buena parte de los procedimientos masivos de vigilancia epidemiológica que se realizan actualmente en el mundo producen un beneficio que excede el detrimento asociado al permitir la detección oportuna de enfermedades graves. Pero esta suposición debería ser verificada, en particular cuando diferentes autoridades imponen requerimientos de exámenes radiológicos sobre los mismos grupos de población. Tal superposición puede dar lugar a un incremento de la dosis colectiva y su detrimento asociado sin un beneficio real para la salud.

Optimización: Significado

Los límites de dosis no deben ser interpretados como umbrales de seguridad absoluta. La protección radiológica puede incrementarse en la misma medida en que se logra reducir las dosis de radiación que reciben las personas. La reducción de las dosis que reciben los trabajadores y los miembros del público, por debajo de los límites de dosis, depende de los recursos económicos que se destinan a tal propósito; y teóricamente las dosis podrían reducirse a cero sólo con un costo infinito.

Como se considera que el riesgo individual es una función lineal de la dosis, tanto el riesgo individual como el detrimento colectivo resultan ser funciones del costo de protección. En consecuencia, cuanto mayores son los recursos económicos destinados a la radioprotección menor será el detrimento asociado.

¿Cuál es la suma de dinero que resulta "razonable" invertir para reducir las dosis por debajo de los límites? El criterio de optimización proporciona una metodología para responder a esa pregunta. El costo que resulta "razonable" de radioprotección puede variar de un país a otro según circunstancias locales, y puede ser regulado por las autoridades de cada país por medio de un valor apropiado del coeficiente α :

$$Y = \alpha \cdot S$$

α representa la máxima cantidad de dinero que un país está dispuesto a invertir para disminuir la dosis colectiva asociada a una práctica radiológica en 1 Sv/h. Argentina ha adoptado un valor de 10.000 U\$/Sv/h para las instalaciones nucleares y radiactivas. Según el método del análisis de costos y beneficios, la optimización se logra cuando:

$$X + \alpha \cdot S = \text{mínimo}$$

lo que equivale a

$$\frac{\Delta X}{\Delta S} = -\alpha$$

Pero en el caso de la protección de los pacientes sometidos a estudios radiológicos, la optimización posee una restricción particular: la calidad del procedimiento y la información obtenida. No se obtiene un beneficio para el paciente si el mismo no recibe cierta dosis de radiación. Por lo tanto, el objetivo de la op-

timización, en el caso de la exposición de pacientes, debe ser la reducción de las dosis innecesarias tanto como sea razonablemente posible.

Optimización de la protección de pacientes en procedimientos de diagnóstico

La optimización consiste, en este caso, en un proceso de desarrollo de técnicas y equipos que conduzca a la reducción de dosis sin afectar el valor diagnóstico de los procedimientos.

Toda dosis innecesaria de radiación que logra evitarse redundará en una reducción proporcional de riesgo individual. Como se ha mencionado previamente, los riesgos individuales son muy pequeños, pero toda modificación producida en los equipos o en las técnicas afectará a todos los procedimientos que se ejecuten durante la vida útil de dicho equipo. Por ello, la dosis colectiva que puede evitarse en ese lapso puede ser significativa. Resulta interesante considerar el costo de tales mejoras y su relación con la dosis colectiva que los mismos permiten evitar.

En la tabla siguiente, se muestran ejemplos de modificaciones en equipos radiográficos y su influencia en la dosis colectiva. Se supone que se efectúan 5.000 placas por año con el equipo modificado durante 10 años. Se supone también que cada placa produce una dosis equivalente efectiva de 1 mSv en promedio (5) (6).

En los ejemplos anteriores, puede observarse que evitar 1 Sv/h en protección de los pacientes implica un costo significativamente menor que el que un país está dispuesto a gastar en protección de los trabajadores y el público en general en el diseño y operación de instalaciones nucleares y radiactivas (10.000 \$/Sv/h en Argentina). Sin embargo, con frecuencia las mejoras en

la protección radiológica del paciente no se llevan a la práctica debido a dificultades presupuestarias.

Cambio	Reducción dosis equivalente efectiva %	Reducción dosis colectiva (ΔS) Svh	Costo ΔX \$	Relación $\frac{\Delta X}{\Delta S}$ \$/Svh
Mesa de fi- bra de carbón	14%	7	1800	257
Chasis de fi- bra de carbón	20%	10	160	16
Grillas de fi- bra de carbón	10%	5	180	36

Esta situación es bastante común en muchos países y evidencia cierta inconsistencia en la política de control de riesgos similares originados en circunstancias diferentes.

Política argentina

Las autoridades argentinas en protección radiológica son el Ministerio de Salud, para las instalaciones de equipos de rayos X, y la Comisión Nacional de Energía Atómica, para las instalaciones con fuentes radiactivas y nucleares. Estos organismos han mantenido una política de estrecha colaboración en materia de protección radiológica de las instalaciones médicas y han desarrollado un programa de entrenamiento para médicos, físicos y técnicos vinculados con las aplicaciones médicas de las radiaciones. Más de 10.000 radiólogos han realizado cursos de radioprotección desde 1970.

Reglamentaciones conjuntas del Ministerio de Salud y de la Comisión Nacional de Energía Atómica han impuesto la obligación de cumplir con requisitos de calidad para el equipamiento utilizado en radioterapia y en medicina nuclear, así como la obligación de satisfacer requisitos de capacitación para el personal profesional y técnico.

Se considera que la política que han desarrollado estas instituciones ha influenciado beneficiosamente la protección de los pacientes que son sometidos a procedimientos con radiaciones (7).

*

Sv: sievert

Svh: sievert-hombre

P_i : probabilidad individual de incurrir en un efecto estocástico para un grupo de población "i"

N_i : número de personas cuya probabilidad es " p_i "

H: dosis equivalente efectiva

K: probabilidad de incurrir en un efecto estocástico (muerte por cáncer y efectos hereditarios severos en las primeras dos generaciones) por unidad de dosis equivalente efectiva

S: dosis colectiva

X: costo de la protección radiológica

Y: costo asociado al detrimento colectivo

* * *

REFERENCIAS

- 1) Consejo Asesor para el Licenciamiento de Instalaciones Nucleares. Norma 3.1.2. "Limitación de efluentes radiactivos". (1980)
- 2) D.Beninson, A.González: "Application of the dose limitation system to the control of releases of carbon-14 from heavy water moderated reactor". (1981)
- 3) UNSCEAR: "Ionizing Radiation Sources and biological effects". (1982)
- 4) International Comission on Radiological Protection: Publication N° 26.(1977)
- 5) International Comission on Radiological Protection: Publication N° 34. (1982)
- 6) J.G. Russell, G.A. Webb: "Spending on Radiation Protection". Lancet i:391. (1985)
- 7) Comisión Nacional de Energía Atómica, Ministerio de Salud: Normas para Radioterapia y Medicina Nuclear. (1981)

* * * * *