

8. Fundamentos y aspectos prácticos de protección radiológica

8.1 Aspectos generales

Las *radiaciones ionizantes* constituyen un factor de *riesgo* de naturaleza física al que las personas pueden estar expuestas por causas naturales y artificiales. La interacción de estas radiaciones con sustancias materiales da lugar a fenómenos de *ionización* capaces de modificar el comportamiento químico de sus moléculas. Si ello ocurre en células vivas, pueden originarse efectos biológicos de gravedad diversa.

Las personas que trabajan con *fuentes* de radiaciones ionizantes, algunos *miembros de la población* y los pacientes que son sometidos a procedimientos radiológicos, están expuestos a los *riesgos* de las *radiaciones ionizantes*. No es posible anular estos *riesgos* totalmente, pero es factible controlarlos y mantenerlos dentro de valores aceptables mediante la aplicación de principios de protección radiológica.

Los servicios de radiología se deben diseñar y operar considerando tales principios a fin de proteger adecuadamente a los *trabajadores*, a los pacientes y al público en general. Para lograr su aplicación sistemática es necesario que los países dispongan de normas de protección radiológica y que exista un organismo regulatorio que fiscalice su cumplimiento. Es igualmente importante asegurar la adecuada formación de los recursos humanos que intervienen en los servicios de radiología (ver apéndice III).

8.2 Características de las *radiaciones ionizantes* y sus interacciones

Son *ionizantes* los *rayos X*, las *radiaciones* que producen las sustancias radiactivas y las reacciones nucleares, las radiaciones que se generan en los *aceleradores* de partículas y las radiaciones de origen cósmico (*rayos cósmicos*). Los diversos tipos de *radiaciones ionizantes* difieren por los valores de masa, carga eléctrica y energía de sus partículas. Estas propiedades

determinan el comportamiento de las mismas al interactuar con un medio material.

Las radiaciones constituidas por partículas cargadas eléctricamente, tales como las *partículas alfa y beta*, pueden ionizar directamente los átomos del material con el que interactúan y se denominan "radiaciones directamente ionizantes". La *rayos gamma* y los *neutrones*, que no poseen carga eléctrica, al interactuar con la materia, liberan partículas cargadas que son las que a su vez ionizan los átomos del material; estas radiaciones se denominan "indirectamente ionizantes".

Cuando un haz de radiación interactúa con la materia, despende parte de su energía en cada proceso de *ionización* y, a lo largo de su recorrido, la radiación disminuye su intensidad. Este fenómeno se aprovecha en el diseño de *blindajes*.

8.3 Distribución microscópica de los iones

La microdistribución de los iones generados por una *radiación ionizante* puede ser muy diversa y depende de la energía media que sus partículas ceden por unidad de recorrido (transferencia lineal de energía, LET). Algunas *partículas*, como las *alfa* y los *protones*, concentran los iones que generan en volúmenes pequeños; en tanto que, los *electrones* dispersan las ionizaciones que generan en volúmenes mucho mayores. El grado de concentración de los iones en la materia influye sobre los efectos biológicos que pueden producirse cuando se irradia material biológico.

8.4 Modos de *exposición* a radiaciones

Las personas pueden resultar expuestas a *radiaciones ionizantes* producidas por *fuentes* externas a su organismo como equipos de *rayos X* o unidades de cobaltoterapia, lo que se conoce como irradiación externa.

Los diversos tejidos de una persona pueden resultar expuestos también como consecuencia de la incorporación de material radiactivo al organismo por inhalación, ingestión o a través de heridas. Los *radioisótopos* son captados selectivamente por determinados tejidos según el metabolismo que corresponde a las características químicas de las moléculas de las que forman parte. Esto se conoce como irradiación interna o *contaminación*.

Esta distinción entre los modos de *exposición* es importante para adoptar la técnica de radioprotección adecuada en cada caso.

8.5 Magnitudes y unidades empleadas en radioprotección

En protección radiológica se definen magnitudes y unidades apropiadas para evaluar la *exposición* a radiaciones y correlacionarla con los efectos biológicos de las mismas. Las magnitudes y unidades más empleadas en protección radiológica están definidas en el glosario.

La magnitud física básica se denomina *dosis absorbida* y se define como la energía que el material irradiado absorbe por unidad de masa. En la práctica y con el propósito de evaluar la protección radiológica de personas, resulta útil el valor de la *dosis absorbida* en un órgano o tejido, que es la energía media que recibe el órgano o tejido por unidad de masa. En la literatura científica, la *dosis absorbida* se representa por la letra D.

La unidad de *dosis absorbida* es el joule por kilogramo ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$) y recibe el nombre de gray (Gy).

La *dosis absorbida* es una magnitud estrictamente física que no siempre permite establecer una apropiada correlación con los efectos biológicos de las radiaciones. A igualdad de *dosis*, diferentes tipos de radiación pueden provocar efectos diversos según la distribución microscópica de las ionizaciones. Para expresar este fenómeno, se pondera la *dosis absorbida* por un factor que depende del tipo de radiación (ver apéndice VIII-A), obteniéndose un valor que se denomina *dosis equivalente*. Su unidad es también el $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, denominada en este caso sievert (Sv). Se la identifica con la letra H. Por otra parte, los distintos tejidos u órganos poseen diversa radiosensibilidad para los efectos biológicos, lo que puede ser interpretado por un *factor de ponderación* para cada uno de ellos (ver apéndice VIII-A). El valor que resulta de sumar las *dosis equivalentes* de todos los órganos ponderadas por estos factores se denomina *dosis efectiva* y se expresa también en Sv. Se representa por la letra E.

Las unidades pueden tener múltiplos y submúltiplos como kilo (10^3), mega (10^6), mili (10^{-3}), micro (10^{-6}), etc.

8.6 Fuentes naturales y artificiales de radiaciones

Las personas están expuestas a *radiaciones ionizantes* por causas naturales y artificiales. La *exposición* de carácter natural tiene su origen en sustancias radiactivas existentes en la corteza terrestre y en radiaciones provenientes del espacio cósmico. La *exposición* de carácter artificial se origina en los usos médicos, industriales, de investigación y energéticos de equipos *generadores* de radiación y de materiales radiactivos.

Cada habitante del planeta recibe, en promedio, una *dosis* de 2,4 mSv por año. El componente más importante de las *dosis* de carácter natural se origina en el *radón-222* y sus productos de *desintegración*; se trata de un gas que se encuentra abundantemente en la naturaleza y, en especial, en los materiales de construcción. El potasio-40 es un elemento que se encuentra en la composición del cuerpo humano y contribuye a la *exposición* natural.

La contribución más importante a la *exposición* de carácter artificial proviene de las aplicaciones de las radiaciones en el campo médico. Más de 80% de la *dosis* de radiación de origen artificial que reciben las personas, se origina en el radiodiagnóstico médico (5).

En el apéndice VIII-B, se especifican las *dosis* medias anuales de radiación correspondientes a distintas *fuentes*.

El concepto de *fente* de radiación comprende las sustancias radiactivas y los equipos que contienen sustancias radiactivas o que producen radiaciones, incluyendo productos de consumo, *fuentes selladas* y *fuentes no selladas*.

8.7 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

La interacción de *radiaciones ionizantes* con un medio biológico puede dar lugar a efectos biológicos. La *ionización* de los átomos modifica el comportamiento químico de las moléculas a las que pertenecen, produciéndose reacciones que provocan modificaciones morfológicas o funcionales en las células.

Las moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) constituyen los blancos más vulnerables de las células. Un efecto significativo que puede inducirse consiste en la incapacidad reproductiva de la célula. Pero también, pueden inducirse modificaciones en la información genética de la célula sin pérdida de su capacidad reproductiva.

Los *efectos* biológicos de las radiaciones se clasifican en *deterministas* y *estocásticos*.

8.7.1 *Efectos deterministas*

Estos efectos se producen cuando una cantidad suficientemente grande de células mueren o pierden su capacidad reproductiva por la radiación. La relación entre la intensidad del efecto y la *dosis* recibida es de tipo sigmoideo con un umbral que depende del tejido u órgano que se considere. (Ver apéndice VIII-C).

Los síntomas que se manifiestan cuando todo el organismo se expone a radiación aguda, es decir en tiempo breve, constituyen el síndrome agudo de radiación. Si la *dosis* es del orden de 3,5 Gy a todo el cuerpo, la probabilidad de muerte es de 50% y puede producirse entre los 30 y 60 días posteriores al momento de la irradiación.

8.7.2 *Efectos estocásticos*

Cuando la acción de las radiaciones modifica la información contenida en las moléculas de ADN pero no impide la reproducción de la célula, la *exposición* a radiaciones puede inducir cáncer a largo plazo. Este efecto es de naturaleza *estocástica* lo que significa que sólo puede predecirse estadísticamente. Carece de umbral de *dosis* y su probabilidad de ocurrencia es función de la *dosis*.

El índice de *riesgo* de muerte por cáncer se estima en 5% por Sv para el público en general y en 4% por Sv para los *trabajadores* ocupacionalmente expuestos a radiaciones (debido a que no se incluyen en este grupo los menores de 18 años) (67).

Cuando la irradiación ocurre durante la gestación, la posibilidad de retardo mental es el efecto más importante. El comprendido entre las semanas octava y decimosexta es el período de mayor *riesgo*.

8.8 Conceptos de protección radiológica

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), en la publicación N° 60 del año 1991 (67), actualizó sus últimas recomendaciones básicas en la materia. Basándose en ellas, se han publicado las *Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección Contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación (NBS)*, bajo el patrocinio conjunto de la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la OMS y la OPS (26). Estos documentos definen los fundamentos de la protección radiológica y suministran una orientación práctica para su implementación. En lo que sigue, se sintetizan los principales criterios adoptados.

Las *fuentes* de radiación se utilizan en diversas *prácticas* que dan lugar a la *exposición* de personas. Según el grupo de personas que se considere, la *exposición* a radiaciones recibe los nombres de *exposición ocupacional* en el caso de los *trabajadores*, *exposición pública* en el caso de *miembros del público*, y *exposición médica* en el caso de los pacientes, personal de apoyo no ocupacionalmente expuesto y voluntarios en programas de investigación.

La decisión de aceptar el inicio de una *práctica* con *fuentes* de radiación obliga a analizar los *riesgos* que puede ocasionar, tanto durante el desarrollo planificado de las operaciones (*exposiciones normales*) como en la eventualidad de *accidentes* radiológicos que pudiesen originar *dosis* superiores a las previstas (*exposiciones potenciales*).

En ocasiones, deben encararse situaciones de *exposición* en las que no es posible actuar sobre sus causas, como es el caso de los *accidentes* o la radiación natural en ciertas circunstancias. En estos casos y siempre que sea factible, deben adoptarse medidas apropiadas para evitar que las *dosis* de radiación resulten inaceptablemente elevadas. Estas situaciones se denominan situaciones que requieren *intervención*.

La protección radiológica tiene por objetivo evitar que las *fuentes* de radiación causen *efectos deterministas* en las personas y reducir la probabilidad de ocurrencia de *efectos estocásticos* tanto como sea posible, teniendo en cuenta consideraciones económicas y sociales. Existen tres principios básicos que sintetizan la filosofía de la protección radiológica:

8.8.1 Justificación

Ninguna *práctica* con *radiaciones ionizantes* debe ser aceptada si no existen evidencias de que la misma producirá, para los individuos o la sociedad, beneficios que compensen el posible *detrimiento* que puede generar. La aplicación de este principio conduce a impedir la utilización de *fuentes* de radiación con fines superfluos.

8.8.2 Limitación de *dosis*

Para restringir la magnitud de los *riesgos* asociados con una *práctica* justificada, se establecen *límites de dosis* individuales de modo que no puedan producirse *efectos deterministas* y que la probabilidad de *efectos estocásticos* resulte suficientemente baja. En la vigilancia de la aplicación de estos *límites*, se deben considerar las *dosis* originadas por *fuentes* externas y las comprometidas por la incorporación de *radionucleidos* en el organismo. En el apéndice VIII-D, se detallan los *límites de dosis* aplicables a *trabajadores* y a *miembros del público*.

8.8.3 Optimización de la protección

Los *límites de dosis* no constituyen umbrales de *riesgo* sino que corresponden a niveles máximos de *riesgo* tolerable. En la mayor parte de las aplicaciones de las *fuentes* de radiación, es factible adoptar medidas para que las *dosis* de radiación que recibirán las personas sean apreciablemente inferiores a los *límites de dosis*. La optimización consiste en el proceso en que se analiza y decide la magnitud de los recursos que se considera razonable destinar a la protección radiológica para minimizar las *dosis* de radiación tanto como sea posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

8.8.4 Exposiciones potenciales

Se denominan *potenciales* aquellas *exposiciones* que pueden resultar de *accidentes* radiológicos posibles. No es factible descartar la ocurrencia de eventos accidentales. En una situación accidental, se pierde el control planificado sobre las *fuentes* o las personas y, en consecuencia, las *dosis* de radiación pueden alcanzar valores muy superiores a los previstos para la operación normal de las instalaciones.

La experiencia acumulada sobre *accidentes* ocurridos en el pasado y el conocimiento de las características de las instalaciones, permite anticipar las distintas situaciones accidentales posibles. Es entonces factible diseñar sistemas de seguridad para prevenir secuencias de eventos que conduzcan a los *accidentes* imaginables.

El criterio al respecto consiste en que la probabilidad de un *accidente* debe ser tanto menor cuanto más graves puedan ser las consecuencias posibles del mismo, es decir, cuanto mayores sean las *dosis* que pueda provocar.

8.8.5 Situaciones que requieren *intervención*

Situaciones típicas que pueden requerir *intervención* incluyen:

- Situaciones de *exposición* de emergencia que requieren una acción protectora para reducir o evitar exposiciones temporales, como los *accidentes* radiológicos.
- Situaciones de *exposición* crónica que requieren una acción reparadora para reducir o evitar dicha *exposición*, como son ciertos casos de *exposición* natural.

Los criterios de justificación y optimización son aplicables a las acciones de *intervención*. Justificación, en este caso, significa que la *intervención* debe encararse sólo si su beneficio (*dosis* de radiación que logra evitar) es mayor que el *detrimiento* que pueden ocasionar las acciones que deban tomarse para ello. La optimización se refiere al análisis que debe realizarse para conducir la *intervención* del modo más apropiado (con el mayor beneficio neto).

Los *límites de dosis* previstos para las *prácticas* planificadas no son aplicables en situaciones de *intervención*. En cambio, la adopción de *niveles de intervención* permite disponer de una guía útil para decidir rápidamente la conducta a seguir. Estos niveles se correlacionan con el tipo de acciones que corresponde adoptar en situaciones accidentales según la gravedad y características de la misma. Las *NBS* establecen guías para estos *niveles* (26).

8.8.6 Consideraciones particulares para las exposiciones médicas

Los conceptos anteriores son aplicables tanto para la *exposición ocupacional* como para la *del público*. En el caso de la *exposición médica*, corresponde efectuar comentarios especiales sobre los tres principios citados.

No es posible establecer *límites de dosis* para la *exposición* de los pacientes pues el balance entre el *riesgo* y el beneficio puede ser diferente en cada caso. Finalmente es la responsabilidad del médico determinar si un procedimiento radiológico está justificado y de los respectivos especialistas (técnicos radiológicos, físicos médicos, etc.) decidir las condiciones en que deberá efectuarse.

Los procedimientos de diagnóstico deben realizarse empleando todos los medios posibles para reducir la *exposición* del paciente sin afectar la calidad necesaria de la imagen; en esto consiste la optimización. En las *NBS (26)*, se recomienda adoptar *niveles orientativos* para las diferentes *prácticas*.

En radioterapia, se debe irradiar a los pacientes con un alto grado de *exactitud*, tanto en el valor de la *dosis* como en su localización, procurando que los tejidos sanos reciban la menor *exposición* posible; en esto consiste la optimización y ello implica mantener estrictos procedimientos de *control de calidad*.

La prevención de exposiciones potenciales es particularmente importante en el caso de las *fuentes* de uso médico. Deben mencionarse, entre otros, los *accidentes* ocurridos con un *acelerador* lineal en Zaragoza, España, que sobreradió a 27 pacientes, produciendo varias muertes entre ellos (58); con una *fente* de teleterapia de cesio-137 en Goiania, Brasil, que produjo la muerte de cuatro personas del público (68), y con una *fente* de teleterapia de cobalto-60 en Ciudad Juárez, México, que provocó la sobreexposición de numerosos *miembros del público* y ocasionó daños materiales significativos (69).

8.9 Medios de implementación de la protección radiológica y la seguridad

El único modo de controlar los *riesgos* asociados con las *radiaciones ionizantes* consiste en restringir y vigilar las *dosis* de radiación que reciben los

individuos en condiciones normales y adoptar medidas de seguridad para reducir la probabilidad de *accidentes*.

La reducción de *dosis* por irradiación externa puede lograrse aumentando la distancia respecto a las *fuentes*, interponiendo *blindajes* o disminuyendo el tiempo de *exposición*. En el caso de irradiación interna, sólo es posible reducir las *dosis* mediante el control de la incorporación de material radiactivo en las personas. Para cada *radioisótopo*, se puede calcular el valor máximo de incorporación anual (*límite anual de incorporación*) que da lugar a una *dosis* en el tiempo (*dosis comprometida*) no superior al *límite de dosis*. En las NBS (26), se suministran los valores de las *dosis efectivas comprometidas* por unidad de *actividad* incorporada para cada *radioisótopo*.

8.9.1 Distancia

En primera aproximación —suponiendo que se trata de una *fente* puntual— las *dosis* de radiación dependen inversamente del cuadrado de la distancia. Una duplicación de distancia significa una reducción de *dosis* a la cuarta parte. Un incremento de distancia de 10 veces permite una reducción de *dosis* de 100 veces.

Ejemplo: Considérese un equipo de *rayos X* en el centro de un sala. Si la distancia del equipo a una de las paredes es de 1 m y la tasa de *dosis* en ese punto es de 1 mSv/hr; en el caso de que esa distancia fuera de 2 m, la tasa de *dosis* se reduciría aproximadamente a 0,25 mSv/hr.

8.9.2 Blindajes

La interposición de material entre las *fuentes* de radiación y las personas constituye un importante medio para reducir las *dosis* de radiación. La intensidad del haz de radiación se atenúa exponencialmente.

Se define como *capa hemirreductora* al espesor de material blindante que reduce la intensidad del haz de radiación a la mitad. La *capa hemirreductora* es una característica de cada tipo de material y de la energía de la radiación empleada.

El material más empleado en radiodiagnóstico es el plomo y, en radioterapia, el hormigón.

Ejemplo de *blindajes* equivalentes (70):

Material	Rayos X (70 kVp)	Co-60
Hormigón	8,4 mm	62 mm
Plomo	0,17 mm	12 mm

8.9.3 Tiempo

Existe una relación lineal entre la *dosis* y el tiempo de *exposición*. Este se refiere al tiempo de permanencia en proximidad a las *fuentes* cuando las mismas están en situación de irradiación, pero no tiene relación alguna con el tiempo de la jornada laboral.

8.9.4 Control de la *contaminación*

El empleo de *fuentes no selladas* posibilita la dispersión del material radiactivo en los elementos y superficies de trabajo, pisos y paredes, lo que da lugar a la *contaminación* de los mismos y del aire. El control de la *contaminación* se logra manteniendo limpias las superficies y los elementos de trabajo y empleando ventilación forzada, provista de filtros, en los ambientes donde se manipulan *fuentes no selladas*.

8.9.5 Sistemas de seguridad

La prevención de *accidentes* debe estar contemplada en la planificación y en la operación de los servicios de radiología.

El diseño de los sistemas de seguridad tiene la misión de reducir la probabilidad de *accidentes* a niveles aceptables. Para ello, los sistemas de seguridad deben ser redundantes e independientes.

La experiencia de los *accidentes radiológicos* ocurridos muestra que el factor más importante es el factor humano. La influencia del factor humano debería ser minimizada, pues es un elemento poco confiable en circunstancias rutinarias. Para aquellas funciones en que la *intervención* es necesaria, los individuos que la lleven a cabo deben tener entrenamiento adecuado y estar en un estado psicofísico apropiado. Además, los procedimientos de *intervención*, deben estar descritos en códigos de *práctica*.

8.10 Aplicación de la protección radiológica en los servicios de radiología

En los servicios de radiología, como en cualquier otra instalación, deben considerarse la *exposición ocupacional* y la del *público*. Además, debe considerarse la *exposición médica*.

A continuación, se indican las recomendaciones más importantes que deben tenerse en cuenta para el diseño y operación de los servicios de radiología. Para cada *nivel de atención*, pueden existir requisitos particulares que dependen de la complejidad de los servicios.

Para poder brindar una adecuada radioprotección, todo servicio de radiología debe estar debidamente planificado e instalado; los equipos deben cumplir con ciertos requisitos esenciales de diseño y su mantenimiento y *control de calidad* deben estar asegurados. El personal debe poseer conocimientos y entrenamiento apropiados a la especialidad y en protección radiológica.

8.10.1 Requisitos generales de diseño (36, 68)

El diseño estructural de cada servicio de radiología debe atender a sus características funcionales y a las necesidades de interrelación con otros servicios de atención médica. La consideración de los *blindajes* puede influir en la ubicación y disposición de las salas de irradiación. Para el diseño de los mismos, deben ser considerados diferentes factores, entre ellos:

- Tipo de *fuentes*, su ubicación, y características del haz de radiación
- Carga de trabajo y factores de uso
- Destino de áreas adyacentes y factores de ocupación
- *Límites de dosis* para el diseño
- Materiales de *blindaje*

Los *blindajes* cumplen una función esencial en todo servicio de radiología. Las *fuentes* de radiación poseen sus propios *blindajes* que deben cumplir requisitos de diseño exigidos para las *fuentes* y estar garantizados por el fabricante. Deben calcularse *blindajes* estructurales para cada instalación. Los

blindajes móviles y los delantales blindados cumplen importantes funciones de protección en ciertas aplicaciones, por ejemplo, en fluoroscopia.

8.10.1.1 Zonas controladas

Los recintos en los que se operan o guardan *fuentes* de radiación deben tener restringido el acceso al personal estrictamente necesario y autorizado para las tareas que en ellos se desarrollan. A tal efecto, se deben utilizar sistemas de señalización y de seguridad apropiados. Estas zonas se denominan *zonas controladas*. La restricción de acceso se debe no sólo a la conveniencia de evitar exposiciones innecesarias sino, también, a la necesidad de prevenir *accidentes* que podrían ser causados por personas inexpertas.

Cuando, durante los períodos de irradiación de pacientes, es necesario restringir totalmente el ingreso a las *zonas controladas*, deben instalarse dispositivos de seguridad (enclavamientos) que lo impidan.

8.10.1.2 Zonas supervisadas

Son todas aquellas zonas que no hayan sido definidas como *zonas controladas*, pero en las que resulta preciso mantener las condiciones de *exposición ocupacional* bajo observación. Normalmente, no son necesarias medidas de protección ni disposiciones de seguridad específicas.

8.10.2 Requisitos Específicos

8.10.2.1 Servicios de radiodiagnóstico

El *blindaje* estructural debe ser apropiado para la protección del público y del personal del servicio. Los equipos de *rayos X* deben poseer los accesorios apropiados para reducir las *dosis* innecesarias de radiación que reciben los pacientes. Las técnicas radiológicas empleadas para la toma y procesado de las películas deben ser las recomendadas para contribuir a reducir esas *dosis*.

Para la protección del operador, el comando del equipo debe ubicarse dentro de un recinto blindado o cubículo de modo que el operador se vea obligado a accionarlo desde allí. Dicho cubículo debe poseer una ventanilla blindada que permita la cómoda observación del paciente. También debe asegurarse la comunicación oral entre ambos. Cuando la presencia del operador es imprescindible en la sala de radiación, éste debe utilizar elementos de protección personal como delantal y guantes plomados. En caso que se deba

sostener al paciente durante el examen radiológico, esta función debe ser realizada por personas que acompañen al paciente, que no estén expuestas ocupacionalmente y que no estén embarazadas. La *exposición* de los mismos deberá considerarse de índole médica y estará sujeta a una restricción de 5 mSv por aplicación (26), debiendo en estos casos utilizarse todos los recursos de radioprotección, como el delantal de plomo.

Los equipos móviles son habitualmente trasladados a salas en las que pueden encontrarse otras personas, además del paciente que debe ser estudiado. Por ello, debe cuidarse especialmente la colimación de estos equipos y deben apartarse suficientemente de aquellas personas que no puedan ser desalojadas de la sala donde se efectúa la toma radiográfica. El operador debe ubicarse fuera del haz de radiación directa a una distancia no menor de 2 m del paciente y utilizar un delantal plomado (71).

Los procedimientos que proporcionan mayores *dosis* a los radiólogos y a los pacientes son los fluoroscópicos, especialmente durante la radiología intervencionista, en la que el médico utiliza los procedimientos fluoroscópicos o cinefluorográficos durante la cirugía como guía para su intervención.

Los odontólogos deben adoptar algunas precauciones en cuanto a su ubicación en el momento de la toma radiográfica y a la necesidad de no sostener las películas con su mano y recurrir para ello a dispositivos especiales de sujeción o a la colaboración del propio paciente.

Con respecto a la protección del paciente, la publicación N° 34 de la CIPR (72) contiene abundante información sobre el equipo y las técnicas apropiadas para reducir las *dosis* de radiación innecesarias. La OMS también ha suministrado guías para la utilización racional de la radiación en medicina, que incluyen métodos para reducir la *dosis* innecesaria al paciente (7, 8).

Los elementos más importantes para este propósito son (26, 70):

- Colimadores para el haz de radiación o *blindajes* a órganos
- Filtros para el haz
- Películas y pantallas reforzadoras de gran sensibilidad
- Elementos estructurales poco absorbentes entre el tubo de *rayos X* y el paciente (fibra de carbón)
- Técnicas de alta diferencia de potencial

-
- Técnicas apropiadas de revelado

8.10.2.2 Servicios de radioterapia

Las *fuentes* que se emplean en radioterapia externa son de alta *actividad* en el caso de las unidades de cobaltoterapia o de alta intensidad en el caso de *aceleradores*. Las tasas de *dosis* que originan estas *fuentes* son elevadas y ello obliga a un cuidadoso diseño de la instalación y del *blindaje* estructural en particular. La apropiada ubicación de la sala de radiación contribuye a reducir las inversiones necesarias para el *blindaje* estructural (por ejemplo, ubicando la sala de modo que las zonas circundantes posean un factor ocupacional muy bajo y no puedan estar ocupadas por el público).

Deben diseñarse sistemas de seguridad para prevenir la irradiación por ingreso accidental de *trabajadores* o *público*. Los enclavamientos de las puertas de acceso a la sala deben actuar automáticamente durante los períodos de irradiación.

El puesto de comando del equipo debe estar ubicado de modo que el operador tenga el control del acceso a la sala y la visión del paciente en tratamiento. Es aconsejable la existencia de dos sistemas de visión, por ejemplo, uno de ventanas con vidrio blindante y otro consistente en un circuito cerrado de televisión.

Otro aspecto relevante es el correcto destino de las *fuentes* en desuso para evitar *accidentes* graves, como algunos ocurridos con *fuentes* abandonadas (68, 69). Las *fuentes* no utilizadas deben ser desechadas de acuerdo a las normas existentes en cada país, en instalaciones apropiadas para este tipo de *desechos radiactivos*.

Los equipos deben mantenerse en condiciones de correcto funcionamiento y calibración. Cada tratamiento debe ser planificado por personal especializado en física médica y el servicio debe disponer de la diversidad de equipos necesarios para asegurar la selección más apropiada para cada caso. Debe asegurarse el *control de calidad* de las características mecánicas y radiantes de los equipos (65, 66).

Igualmente importante, es la correcta utilización y la continua actualización de los programas computacionales asociados con la utilización de los equipos y la planificación de los tratamientos.

En los servicios de braquiterapia, es de suma importancia el diseño y *blindaje* de la sala de internación de pacientes, así como el apropiado

almacenamiento y transporte de las *fuentes* radiactivas. El implante de las *fuentes* radiactivas en los pacientes debe realizarse por sistemas de carga diferida, manuales o automáticos, que permiten disminuir considerablemente las *dosis* que reciben los operadores.

Los servicios de radioterapia requieren instrumental de detección de radiaciones con fines de protección radiológica e instrumental de precisión para tareas dosimétricas.

Además del personal médico especializado (radioncólogo, técnicos o tecnólogos de radioterapia, etc.), las instalaciones deben contar con un físico médico con experiencia en técnicas de calibración dosimétrica, planificación de tratamientos, *control de calidad* de los equipos y protección radiológica (26). La publicación N° 44 de la CIPR contiene importantes recomendaciones sobre los medios más eficaces para encarar los tratamientos desde el punto de vista del mejor resultado para la salud del paciente (73).

8.10.2.3 Servicios de medicina nuclear

El diseño de los servicios de medicina nuclear debe prever salas independientes para la preparación de radiofármacos, el almacenamiento de material radiactivo, la inoculación de pacientes, el uso de instrumental, sala de espera para los pacientes y sala de reuniones; asimismo, podría contemplarse la existencia de cuartos de baño especiales para pacientes. Para prevenir la *contaminación*, las superficies de las mesadas, pisos y paredes no deben ser porosas ni absorbentes y deben ser fácilmente limpiables. En la sala de preparación de radiofármacos, deben instalarse campanas de extracción. Deben disponerse adecuadamente los *desechos radiactivos*.

Debe contarse con equipos como *activímetros* para determinar con exactitud las *actividades* de radiofármacos a suministrar a los pacientes y mantener los programas de *control de calidad* (26).

La publicación N° 52 de la CIPR contiene importantes recomendaciones para la protección del paciente en medicina nuclear (74).