

**GUIA DE PROTECCION RADIOLOGICA
PARA OFICIALES EN RADIOLOGIA
DIAGNOSTICA E INTERVENCIONISTA**



INDICE

CAPITULO I: NOCIONES BASICAS SOBRE LAS RADIACIONES IONIZANTES

CAPITULO II: MAGNITUDES Y UNIDADES DE LA PROTECCION RADIOLOGICA

CAPITULO III: EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

CAPITULO IV: FUENTES: BENEFICIOS Y RIESGOS

- CLASIFICACION DE FUENTES, T
- UTILIZACIÓN DE FUENTES EN LA MEDICINA, INDUSTRIA E INVESTIGACION.
- RIESGOS RELACIONADOS CON EL USO DE LAS FUENTES Y SU PERCEPCIÓN

CAPITULO V: PRACTICA E INTERVENCION. TIPO DE XPOSICIONES

CAPITULO VI: MÉTODOS DE MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN

CAPITULO VII: METODOS PRACTICOS DE CALCULOS DE DOSIS EXTERNAS

CAPITULO VIII: METODOS ABREVIADOS DE CALCULO DE BLINDAJES

CAPITULO IX: FUNDAMENTOS DE LA PROTECCION RADIOLOGICA

- JUSTIFICACIÓN
- OPTIMIZACIÓN
- LIMITACIÓN

**CAPITULO X: REQUISITOS DE LAS NORMAS BASICAS INTERNACIONALES
PUBLICACION 115**

- REQUISITOS ADMINISTRATIVOS
- REQUISITOS DE PROTECCION RADIOLOGICA
- REQUISITOS TÉCNICOS Y DE VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD RADIOLÓGICA

CAPITULO XI: REQUISITOS ESPECÍFICOS A LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

- CONDICIONES DE SERVICIO
- CLASIFICACIÓN DE ZONAS
- VERIFICACIÓN DE LA LIMITACIÓN DE LA DOSIS
- PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA
- CONTROL RADIOLÓGICO OCUPACIONAL
- MEDIDAS PARA CASOS DE EMERGENCIA
- VIGILANCIA MÉDICA OCUPACIONAL

CAPITULO XII REQUISITOS ESPECÍFICOS DE LA EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO

- RESPONSABILIDADES
- CONTROL DE VISITANTES
- FUENTES DE IRRADIACIÓN EXTERNA
- FUENTES DE IRRADIACION INTERNA



CAPITULO XIII: EXPOSICIÓN MÉDICA Y PROTECCIÓN DEL PACIENTE

- REQUISITOS ADMINISTRATIVOS
- REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA
 - JUSTIFICACIÓN
 - OPTIMIZACIÓN
- CALIBRACIÓN Y DOSIMETRÍA CLÍNICA
- ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD
- NIVELES ORIENTATIVOS
- RESTRICCIONES DE DOSIS
- REGISTROS

**CAPITULO XIV: PROGRAMAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA. PARTICULARIDADES
EN RADIOLOGIA DIAGNOSTICA E INTERVENCIONISTA**

**CAPITULO XV: LEGISLACION VENEZOLANA EN PROTECCION RADIOLOGICA Y AUTORIDADES
REGULADORAS**

DEFINICIONES

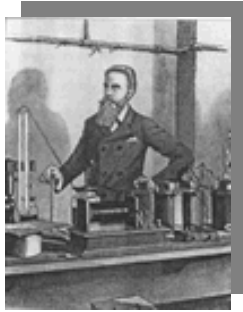
REFERENCIA



CAPITULO I NOCIONES BASICAS SOBRE LAS RADIACIONES IONIZANTES

1.- LAS RADIACIONES IONIZANTES

1.1.- LA HISTORIA



El 08 de Noviembre de 1.895 Wilhelm C. Röntgen descubre en su laboratorio de Wüzburg un nuevo tipo de radiación, el cual se producía al hacer pasar una corriente eléctrica en un tubo de rayo catódico; lo denominó rayos - X.

Un año después de Röntgen, en 1.896, Henri Becquerel tratando de relacionar la fluorescencia con los rayos - X, descubrió por medio de una sal de uranio envuelta en una placa fotográfica, que esta emitía radiaciones. Esta fue la primera información sobre la existencia del núcleo atómico.

Con el tiempo los esposos Curie confirmaron el fenómeno descubierto por Becquerel, y María Curie lo denominó Radiactividad. En el año 1898 los Curie obtuvieron el radio, un millón de veces más radiactivo que el uranio.

El descubrimiento de la Radiactividad hizo dudar sobre la indivisibilidad del átomo y así se tuvo evidencia de que el átomo estaba constituido de otras partículas más pequeñas. La primera partícula sub-atómica identificada fue el electrón en 1.897 por Thompson. Mas adelante en 1.907 Thompson identificó los rayos positivos, que en 1.920 se descubrió claramente como el protón. En 1911 Ernest Rutherford localizó a los protones en el núcleo del átomo y fue Chadwick en 1.932 quien descubrió el neutrón como una partícula de masa parecida al protón pero de carga nula, ubicándolos en el núcleo.

La radiactividad no es nada nuevo. Existe desde que se formó la Tierra hace 4.500 millones de años. No se puede percibir por el olfato, el gusto, el tacto, el oído ni la vista. Sólo en los últimos años se ha aprendido a detectarla, medirla y controlarla. Un 87% de la radiación que recibimos proviene de fuentes naturales. La radiación está en todas partes: en los hogares, en el aire que se respira, en los alimentos que se ingieren; incluso el cuerpo es radiactivo. La propia Tierra es radiactiva por naturaleza y expone a los habitantes a la radiación proveniente de las rocas superficiales y los suelos; a esto se le conoce como **RADIACION NATURAL**

El resto de la radiación proviene de las actividades humanas, la cual se denomina **RADIACION ARTIFICIAL**. La fuente más conocida y más amplia es la aplicación médica. Innumerables son los beneficios que reporta el uso de la radiación en el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades. Con ella se ha podido realizar exploraciones del cerebro y los huesos, tratar el cáncer y usar elementos radiactivos para dar seguimiento a hormonas y otros compuestos químicos de los organismos.

Probablemente sea menos conocida la función que desempeña la radiación en la industria, la agricultura y la investigación. La inspección de soldaduras, la detección de grietas en metal forjado o fundido, el alumbrado de emergencia, la datación de antigüedades y la preservación de alimentos son algunas de sus numerosas



aplicaciones. En promedio, la industria nuclear representa menos del 0,1% de la radiación total que el hombre recibe.

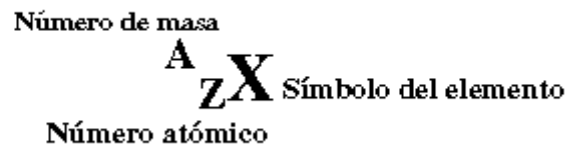
Cuando se viaja en avión, se expone a recibir una radiación mayor, ya que hay menos protección contra los rayos cósmicos. Un pasajero que viaje en avión a una altitud normal recibe en una hora, cuatro veces mayor radiación que la que recibe de toda la industria nuclear en un año.

La radiactividad puede ser peligrosa en determinadas circunstancias y sus riesgos no deben tomarse a la ligera. Puede dañar las células del organismo y la exposición a altos niveles, puede ser nociva e incluso fatal si se trata de manera inadecuada, por eso lleva un largo proceso de investigación y descubrimientos abriéndose las puertas de la era nuclear.

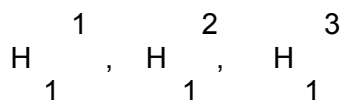
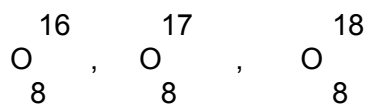
¿Qué son las radiaciones ionizantes, dónde se originan y cuáles son sus propiedades? Para comenzar a responder estas preguntas es necesario un conocimiento básico general de los elementos físicos fundamentales que explican cómo están constituidos los átomos.

1.2.- GENERALIDADES DEL NÚCLEO

El núcleo atómico se identifica por el número de protones que contiene, a esto se denomina número atómico Z, y por el número total de partículas del núcleo o nucleones (protón mas neutrón) denominado número másico A. Los núcleos de los elementos se les llaman nucleidos y se representan mediante el símbolo del elemento y los números atómicos y másico; así:



De los nucleidos interesan **los isótopos**: son aquellos que tienen el mismo número atómico Z, pero difieren en el número másico A. Así se tienen elementos con distintos isótopos ejemplo:





1.3 RADIOACTIVIDAD

En la naturaleza hay ciertos elementos inestables en el sentido que pueden emitir espontáneamente partículas o radiación modificando la naturaleza o el estado de los núcleos de sus átomos. Este proceso de emisión se llama desintegración radiactiva y el fenómeno **radiactividad**. La desintegración radiactiva responde a las leyes estadísticas y sus propiedades son independientes de cualquier influencia del entorno tales como presión, temperatura, campos eléctricos o magnéticos y reacciones químicas. Para precisar más, es una propiedad característica de cada nucleido en particular. Se suele denominar núclido o nucleido, al núcleo estudiado en estos tratamientos sin hacer referencia al átomo del que forma parte.

Considerando una muestra formada por átomos de un elemento radiactivo, en instantes de tiempo estadísticamente al azar se producirán desintegraciones radiactivas. Esto ocurrirá con una probabilidad, que es propia del nucleido considerado. Se define entonces una **constante de desintegración**, que es la probabilidad de que un núcleo se desintegre en la unidad de tiempo. Se la denota con la letra λ y su unidad es una inversa del tiempo, por ejemplo: segundo⁻¹, minuto⁻¹, año⁻¹.

Los trabajos de Becquerel, Pierre y María Curie y Rutherford entre 1896 y 1907, demostraron no sólo la existencia de la transformación espontánea llamada desintegración, sino también que había radiaciones que tenían distinto poder de penetración. A las radiaciones menos penetrantes, que son absorbidas por una hoja de papel o una delgada lámina metálica, se las denominaron Rayos α (alfa) y a otras más penetrantes, Rayos β (Beta). Se comprobó que estos rayos, que podían ser desviados por un campo magnético, son de naturaleza corpuscular. Más tarde se reconoció que las partículas α son núcleos de helio y que las partículas β son electrones. Otro tipo de radiación a la que se denominó Rayos γ (gamma) que no se desvía en presencia de un campo magnético fue identificado con la emisión de radiación electromagnética o fotones. También se detectaron partículas con propiedades idénticas a las β pero cuya desviación en un campo magnético indicaba que tenían carga positiva. A éstas se las llamó β^+ , y a las anteriores, para diferenciarlas, β^- .

Interesa la penetración de la radiación en la materia fundamentalmente por dos motivos, primero, porque cuando la radiación es frenada se produce una conversión de la energía de la radiación en energía térmica y, segundo, porque la radiación es dañina para los sistemas biológicos y es necesario conocer cómo protegerlos de las fuentes de radiación. En principio, la ley de decaimiento o desintegración radiactiva es independiente del tipo de radiación que se trate (α , β o γ). Para esta guía no se tratara el tema de la radiactividad en forma específica, solo esta información general.

1.4.- LOS RAYOS – X

Los rayos X son ondas electromagnéticas parecidas a los rayos gamma, solo se diferencian en su origen. Los rayos X se originan en las capas orbitales del átomo, mientras los gamma, se originan en el núcleo por rearrreglo de las partículas que contiene.



Los rayos X se producen en un tubo al vacío, del orden de 10^{-4} atmósferas (ver figura 1.1), en cuyo interior se alojan dos electrodos: el cátodo (a polarizar negativo), dentro o en proximidades del cual se emplazan uno o más filamentos; y el ánodo (a polarizar positivo), este puede ser fijo o giratorio. Cuando se aplica una diferencia de potencial alta entre el cátodo y el ánodo, estos se polarizan, estableciendo un campo eléctrico que acelera los electrones de una nube que por emisión termoiónica, se forma en las proximidades del filamento, cuando por él circula una corriente. Estos electrones tendrán una energía cinética alta, la cual entregarán al ánodo, convirtiéndose en otras formas de energía. Una de estas energías es la radiación X.

Para polarizar los electrodos del tubo de rayos X es necesario un sistema que proporcione una diferencia de potencial en el rango de 20 a 150 KV en equipos de radiodiagnóstico, pudiendo llegar a 400 KV en equipos para radioterapia convencional o radiografía industrial. En todos los casos se usan transformadores que elevan la tensión. Según la aplicación varía la alimentación eléctrica (monofásico. Trifásico o un "pack" de baterías en casos especiales) y el proceso de rectificación de la corriente alterna de alta tensión.

De acuerdo a la fluctuación o ripple de la alimentación eléctrica los generadores pueden clasificarse como sigue:

- Autorrectificados
- Con rectificación de media onda
- Con rectificación de onda completa (monofásico, trifásico)
- Polifásico o multipulsados
- De alta frecuencia o potencial constante

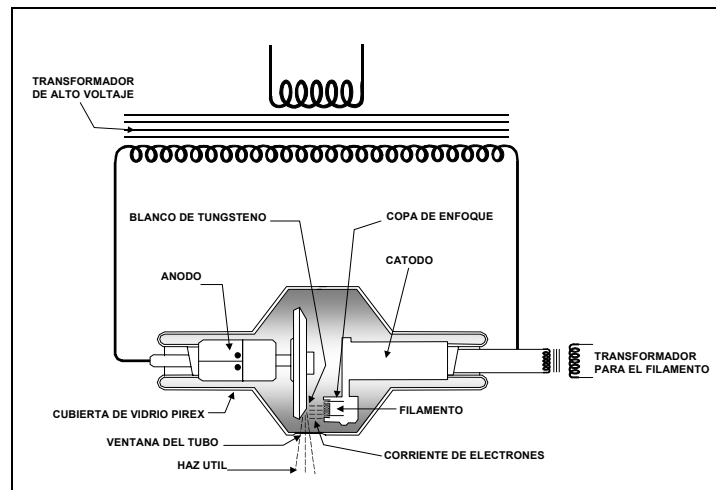


Figura 1.1: Tubo de rayos X

Existen tres factores fundamentales que deben tomarse en cuenta para la producción de rayos X:

- **El Potencial aplicado:** se relaciona a la penetración de los rayos X.
- **La Corriente aplicada:** se relaciona a la cantidad de rayos X.
- **El Material del ánodo o blanco:** relacionado a la cantidad de rayos X



Los rayos X que provienen de cualquier tubo no tienen la misma energía sino que constituyen un espectro complejo como se observa en la figura 1.2.

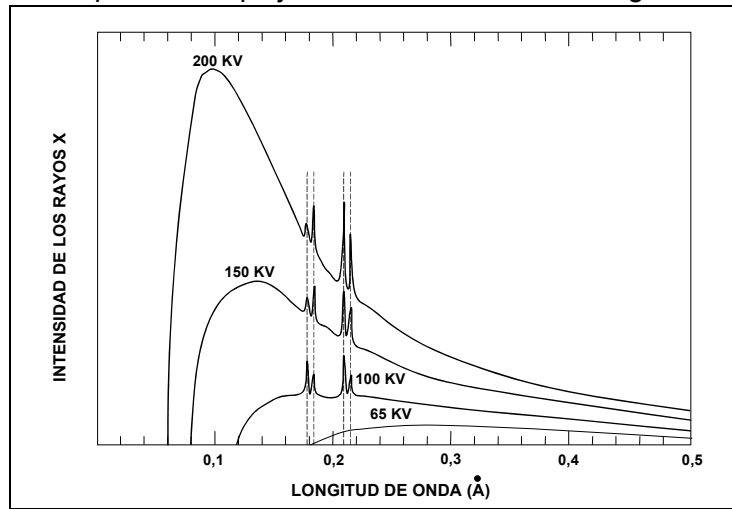


Figura 1.2: Espectro de Rayos X del tungsteno

Existen dos partes distintas en el espectro, debidas a dos mecanismos diferentes: una continua y otra formada por pequeñas líneas separadas.

El espectro continuo contiene todas las energías hasta un valor máximo que coincide con la energía máxima de los electrones. Este espectro es continuo debido a que cada vez que el electrón experimenta un cambio de velocidad, dirección o ambas, se irradia energía en forma de rayos X. A esta forma de irradiación se le llama **radiación de frenamiento**. Como hay un gran número de electrones, que experimentan desviaciones y frenamientos diferentes, se producirán fotones de rayos X de todas las energías hasta el valor máximo, este valor máximo es el que corresponde al electrón que se ha frenado totalmente. Sobre este espectro continuo existe un espectro de líneas superpuestas, de un número relativamente pequeño de energías separadas; estos picos se producen como consecuencia de que los electrones al chocar con los átomos del ánodo pueden remover electrones orbitales del mismo (generalmente de la capa K o L) dejando lugares vacantes que al ser ocupados nuevamente por otros electrones emiten su diferencia de energía en forma de fotones de rayos X. Esta emisión de rayos X es la llamada **radiación característica**, que depende del material usado como ánodo o anticátodo. En un tubo de rayos X la intensidad de los rayos X característicos es insignificante comparada con la intensidad de los rayos X producida por frenamiento. Solo un 1% de la energía eléctrica es convertida en rayos X. El resto (99%) queda como calor producido por el ánodo a través de ionizaciones y excitaciones. Este calor debe ser disipado rápidamente; por lo tanto para aumentar la capacidad de un tubo de rayos X se hace que su ánodo sea giratorio en lugar de fijo.

1.4.1 FACTORES DE LOS CUALES DEPENDE LA EMISION DE RAYOS X

1.4.1.1 MATERIAL DEL BLANCO:

La cantidad de radiación producida no es la misma para todos los materiales. Mientras más alto sea el número atómico (Z) del blanco, mayor será la cantidad de radiación producida a un potencial dado (suponiendo la misma corriente del tubo). Así se tiene que la cantidad de radiación (I) producida es proporcional al número atómico del material del blanco o ánodo:



$I \propto Z$

1.4.1.2 VOLTAJE APLICADO:

Cuando un electrón colisiona con un átomo de manera frontal, el electrón entrega toda su energía. La energía del fotón que se forma será la misma que la del electrón; es decir si un tubo trabaja a un voltaje constante de 200KV, la máxima energía de los fotones producidos será de 200 Kilovoltios (200 KeV). Debido a este tipo de conversión de energía cinética, proveniente de energía eléctrica a energía de radiación electromagnética, es común hablar de las energías de los fotones en términos de electronvoltios (eV), Kiloelectronvoltios (KeV), Megaelectronvoltios (MeV). De lo anterior se concluye que ha cambios en el potencial aplicado a un tubo de rayos X alteraran el patrón completo del espectro, como se presenta en la figura 1.3, donde se muestra el efecto en todo el espectro al aumentar el voltaje aplicado desde 60 hasta 150 KV.

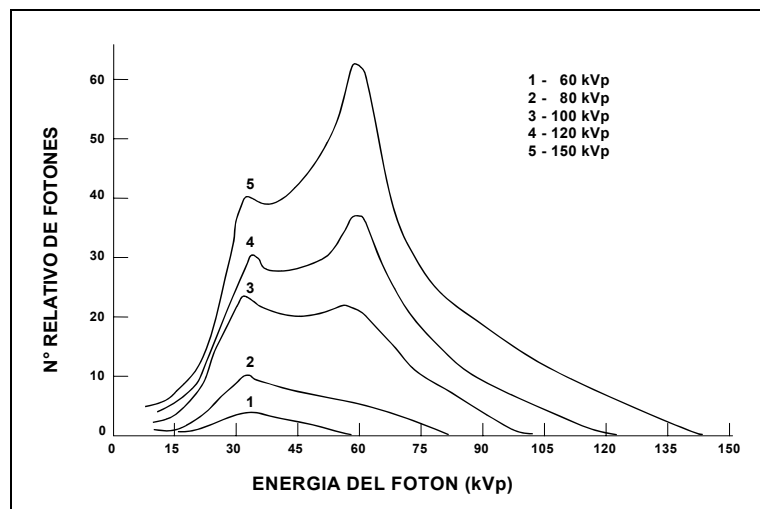


Figura 1.3: Cambios de Potencial aplicado a un tubo de rayos X

1.4.1.3 FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE APLICADO:

Se ha supuesto que el potencial aplicado al tubo de rayos X es constante, pero en la práctica los tubos se utilizan con voltajes pulsantes. Existen dos formas: de media onda o de onda completa rectificadas del voltaje alternado producido por el transformador de alta tensión y sus variaciones con el tiempo. La intensidad de las distintas energías de los fotones tenderán todas a ser menores con un potencial pulsante que con un potencial constante, especialmente en las zonas del espectro de mayor energía. Igualmente la calidad del haz se ve afectada, el haz será menos penetrante por un potencial pulsante. La cantidad de radiación producida es menor dura y el rendimiento de la corriente es menor para potenciales pulsantes. Esto se muestra en la figura 1.4.

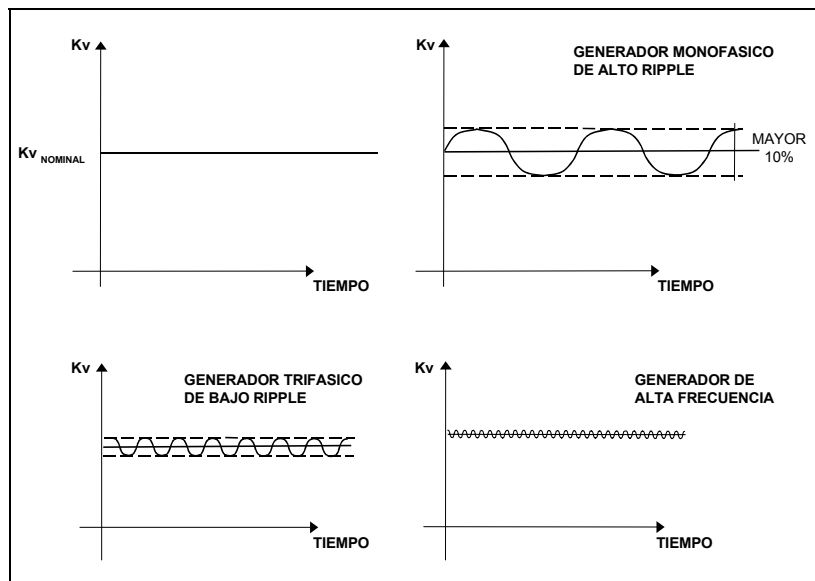


Figura 1.4: Efecto de la forma de onda del voltaje sobre el espectro

1.4.1.4 LA CORRIENTE DEL TUBO:

La emisión de rayos X depende de la cantidad de electrones que chocan con el blanco, es decir, de la corriente del tubo. La relación es directamente proporcional a mayor corriente mayor radiación producida:

$$I \propto mA$$

EN RESUMEN:

La cantidad de rayos X que se formen es directamente proporcional: al número atómico del material del blanco o ánodo utilizado, al potencial aplicado, a la corriente aplicada y a la forma de la onda del potencial aplicado.

La calidad de rayos X que se formen dependerá básicamente del potencial aplicado y de la forma de la onda de este potencial.

1.3.2. OTROS ASPECTOS GENERALES DE LOS RAYOS X

Cambios en el potencial y la corriente: A mayor potencial mayor será la energía de los fotones de rayos X y por lo tanto, mayor su penetración en la materia. Si dejamos el potencial fijo y se aumenta la corriente, el número de fotones se verá aumentado (hay mas electrones en la corriente), lo que se traduce en los equipos radiográficos en una imagen más nítida de los objetos en movimiento. Existe un tiempo máximo en el tubo para cada potencial y corriente dadas, este tiempo es función del tipo de tubo de rayos X. Cuanto más potente sea el equipo mayor tiempo máximo tendrá.

Radiación Secundaria: Cuando el haz de rayos X choca con la materia, parte de la energía del haz primario es absorbida y otra es dispersada o reemitida. Esta radiación emergente de la materia es llamada radiación secundaria y está compuesta por la radiación dispersada y la radiación reemitida. **La radiación dispersada** está formada



por los fotones de rayos X que han cambiado de dirección; este cambio puede ser hasta de 180^a grados. **La radiación reemitida** se genera igual que la radiación característica de rayos X, por lo tanto depende del material sobre el cual interactúa la materia.

Filtración: Existe una gran cantidad de fotones de baja energía, como se muestra en el espectro de rayos X, que no van a llegar a impresionar la placa, estos fotones son absorbidos por el paciente, y no tienen ninguna utilidad en el diagnóstico radiológico. Para evitar este problema se coloca a la salida del tubo de rayos X espesores de absorbente que tienen la propiedad de atenuar en mayor medida los fotones de baja energía, por lo que el espectro se modifica, como se muestra en la figura 1.

La radiación emergente de un tubo de rayos X ya posee cierta filtración, denominada filtración inherente, que en los equipos modernos de rayos X es debida a: 1) La cubierta de vidrio del tubo; 2) El aceite aislador que rodea al tubo; 3) La ventana de plástico de la carcasa del tubo. Esta filtración puede ser equivalente a una lámina de aluminio de 0,5 a 1,5 mm. de espesor. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) recomienda como valores mínimos de la filtración total (la inherente más la añadida) que deben contar los tubos en forma permanente, los siguientes:

- Para voltajes hasta 70 KV. 1.5 mm AL
- Para voltajes entre 70 KV. Y 100 KV. 2 mm AL
- Para voltajes mayores de 100 KV. 2,5 mmAL

Se exceptúan de estas exigencias algunos estudios especiales que se efectúan con tensiones inferiores a 50 KV. Como es el caso de los mamógrafos.

La imagen: El objetivo del diagnóstico radiológico es obtener e interpretar la información adquirida por el examen de la opacidad de un sistema biológico frente a los rayos X. Esta opacidad depende del mecanismo de interacción y del coeficiente de atenuación de las estructuras impactadas. Este coeficiente de atenuación depende de la tercera potencia del número atómico del material en el efecto fotoeléctrico, y el efecto Compton no depende del mismo. El proceso fotoeléctrico predomina en las zonas de bajas energías por lo que se deduce que al aumentar el KV disminuye el contraste. Algunos valores típicos de número atómico equivalente:

Tejido adiposo: 6,3	Músculo: 7,4	Agua: 7,4	Hueso: 11.6
----------------------------	---------------------	------------------	--------------------

- A bajas energías el contraste depende de: a) Las diferencias de los números atómicos de los materiales; b) Las diferencias de espesor; c) Las diferencias de densidad
- A altas energías el contraste depende de: a) Las diferencias de espesor; b) Las diferencias de densidad

Existen órganos y estructuras anatómicas que no pueden distinguirse por medio de los rayos X, porque presentan la misma atenuación que los tejidos adyacentes. Puede alterarse la atenuación de estas estructuras, introduciendo una sustancia que posea un coeficiente de atenuación diferente, denominada sustancia de contraste. La aplicación más obvia de este método es la introducción de material de contraste en el tubo digestivo, aparato respiratorio y urogenital, sistema nervioso y circulatorio.



1.5.- INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA

Las interacciones producidas por los fotones y las partículas cuando inciden sobre la materia e interactúan con los núcleos o con los electrones atómicos, es lo que se conoce como la interacción de la radiación con la materia. Las radiaciones que más interesan son las constituidas por neutrones y fotones (que son neutros eléctricamente) y las constituidas por partículas cargadas (electrones, protones, partículas alfa, etc.). La diferenciación de ambos grupos es muy importante pues los mecanismos de interacción son completamente distintos. Por su poder de penetración y gran cantidad de interacciones que produce en la materia, tienen mayor interés las radiaciones de neutrones y fotones.

1.5.1.- MECANISMOS BASICOS

Las partículas neutras presentan la propiedad de interactuar con los electrones atómicos (fotones) y con los núcleos (fotones y neutrones) en un solo proceso, desapareciendo luego del haz original. Por supuesto existen efectos secundarios que veremos luego, pero esto permite dar un tratamiento más específico. Por otra parte las partículas cargadas, lo hacen básicamente vía interacción coulombiana, tanto con electrones como con núcleos atómicos, en procesos de múltiples etapas. Lo importante es que cuando la radiación, sea partícula o fotón, arranca uno o mas electrones orbitales de los átomos de la sustancia que atraviesa, se produce la ionización de los mismos.

1.5.2.- TIPOS DE INTERACCIÓN DE PARTÍCULAS CARGADAS CON LA MATERIA

La interacción de las partículas cargadas con la materia tiene lugar a través de colisiones elásticas o inelásticas con núcleos atómicos, con electrones orbitales o con cargas libres. Interaccionan por una de las cuatro alternativas siguientes:

- ◆ Colisión elástica con electrones atómicos: La partícula incidente es desviada por el campo coulombiano de los electrones orbitales perdiendo muy poca energía cinética en el proceso; ocurre mas comúnmente en electrones de baja energía < de 100 KeV.
- ◆ Colisión elástica con núcleos: la partícula es desviada por la interacción del campo coulombiano de las cargas positivas nucleares, cediendo una parte de su energía de movimiento. Ocurre en partículas beta.
- ◆ Colisión inelástica con electrones atómicos: Parte de la energía cinética de la partícula incidente se emplea para excitar los electrones del átomo. Estos vuelven a su estado fundamental emitiendo fotones con energía característica del material excitado. Si al energía cedida es suficientemente grande puede arrancar uno o varios electrones, ionizando el átomo y formando un par iónico.
- ◆ Colisión inelástica con núcleos: la partícula incidente es acelerada o frenada por interacción con el campo coulombiano del núcleo cediendo parte de su energía, que se emite como radiación electromagnética, o en excitar el núcleo.

En general el principal proceso por el cual una partícula cargada pierde energía al atravesar la materia, es la interacción con los electrones atómicos. Cuando una partícula cargada de alta energía colisiona con el núcleo atómico por interacción coulombiana se pueden producir bruscas aceleraciones de acuerdo con las leyes de la electrodinámica. Estas aceleraciones darán lugar a la emisión de radiación electromagnética de espectro continuo. Este fenómeno se conoce como **radiación de**



frenado o “Bremsstrahlung y constituye un importante mecanismo de pérdida de la radiación beta; igualmente cuando la energía del haz es mayor que algunos MeV, particularmente con absorbentes de alto Z.

1.5.2.1 Absorción de Partículas Alfa

Su interacción con la materia produce principalmente ionización y excitación en los átomos del material absorbente, no existiendo prácticamente Bremsstrahlung. Las energías de alfa están entre los 3 y 9 MeV, son partículas no relativistas que se absorben fácilmente en la materia. Su alcance dentro de la materia es de algunos centímetros, coincidiendo con el valor de la energía de la partícula expresada en MeV.

Las partículas alfa son proyectiles que, debido a su gran masa, prácticamente no son desviados en su interacción con los átomos de un gas, resultando rectas sus trayectorias y su doble carga positiva las hace fuertemente ionizantes. Esta ionización producida directamente por las partículas alfa se llama **ionización primaria**.

1.5.2.2 Absorción de Partículas Beta

Las partículas beta negativas o positivas de origen nuclear, tienen velocidades que pueden llegar hasta prácticamente la velocidad de la luz. Sus energías son menores en general que las de las partículas alfa, ya que en su mayoría no alcanzan los 4 MeV. Las altas velocidades obliga a tratar la radiación beta en forma relativista.

Las partículas beta son más penetrantes que las alfa, pero su pequeña masa y su alta velocidad hacen que los mecanismos de interacción con la materia sean mucho más complicados que en el caso de las alfa; una partícula beta puede perder gran parte de su energía en la interacción con un solo electrón atómico y se desvían con más facilidad que las alfa. Sus recorridos no son en general rectilíneos.

1.5.3 INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON LA MATERIA

La radiación electromagnética que nos interesa desde el punto de vista de su interacción con la materia, es básicamente la radiación gamma y los rayos X. La única forma de interpretar adecuadamente la interacción de la radiación electromagnética con la materia es a través de su comportamiento corpuscular. Pero se escapa de la finalidad de este manual, así que no será considerada la explicación.

A diferencia de las partículas cargadas, que tienen alcances definidos relacionados con su carga inicial, la radiación electromagnética no presenta esta propiedad al atravesar la materia. Los fotones son absorbidos por los átomos arrancando electrones o son dispersados cediendo energía a los electrones atómicos. Van desapareciendo a lo largo de la trayectoria del haz en la materia, o son eliminados por dispersión.

Existen tres mecanismos principales de absorción de los rayos γ y X por la materia:

- ◆ Absorción o Efecto Fotoeléctrico
- ◆ Dispersión Compton
- ◆ Producción de Pares



Cada uno de ellos puede caracterizarse por un coeficiente de absorción o por una sección eficaz. El coeficiente de absorción total μ , es la suma de los coeficientes correspondientes a los tres procesos. Ahora bien, este coeficiente depende de la energía de los rayos γ o X incidentes y de la naturaleza del material absorbente. Cada uno de los tres mecanismos predomina para un dado material, en determinado rango de energía de la radiación incidente. La figura 2.1 muestra la importancia relativa de estos procesos en función de la energía de los fotones y del número atómico del material

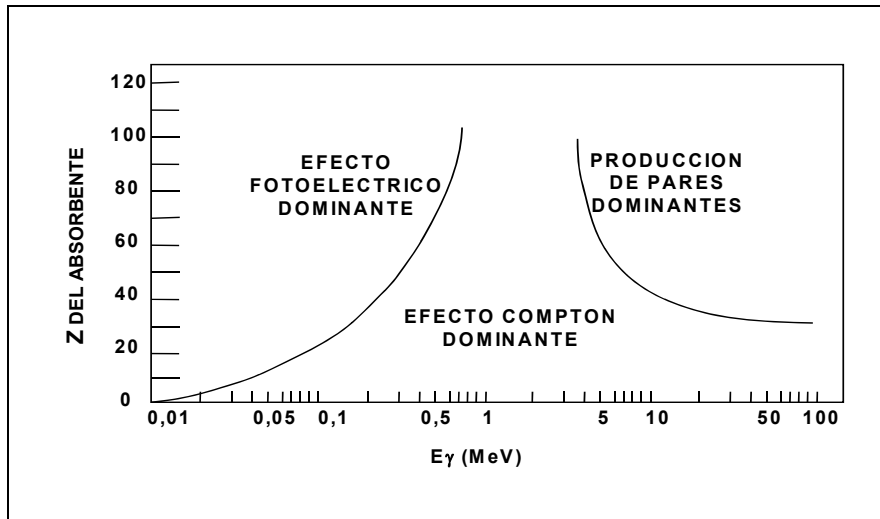


Figura 1.5: Importancia relativa de los tres tipos principales de interacción de la radiación electromagnética con la materia

1.5.3.1 Efecto Fotoeléctrico

En el efecto fotoeléctrico toda la energía del fotón incidente, es cedida a un electrón ligado de un átomo que resulta expulsado del mismo con una energía cinética igual a la energía del fotón, saliendo un electrón eyectado o fotoelectrón. La probabilidad de absorción fotoeléctrica es tanto mayor cuanto más ligado este el electrón, por lo que el 80% de las veces este tipo de interacción se da con partículas de la capa K. Este efecto es importante en la absorción de radiación gamma de baja energía por materiales pesados.

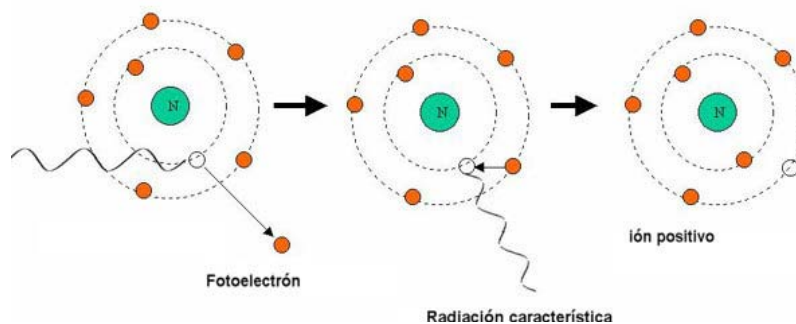


Figura 1.6: Efecto Fotoeléctrico



1.5.3.2 Efecto Compton

A medida que la energía de la radiación aumenta, su longitud de onda decrece y hay una mayor tendencia a interactuar con los electrones individuales y no con el átomo en su conjunto, como en el caso del efecto fotoeléctrico. Los fotones muy energéticos “ven” a los electrones orbitales exteriores débilmente ligados, prácticamente como partículas libres; el fotón no puede absorberse totalmente, existiendo por lo tanto un fotón dispersado que se mueve en dirección distinta a la del cuanto original con una energía y una cantidad de movimiento diferente. Este proceso conocido como efecto Compton, constituye el mecanismo de absorción más importante para radiación γ y X con energías entre los 0.5 y los 10 MeV.

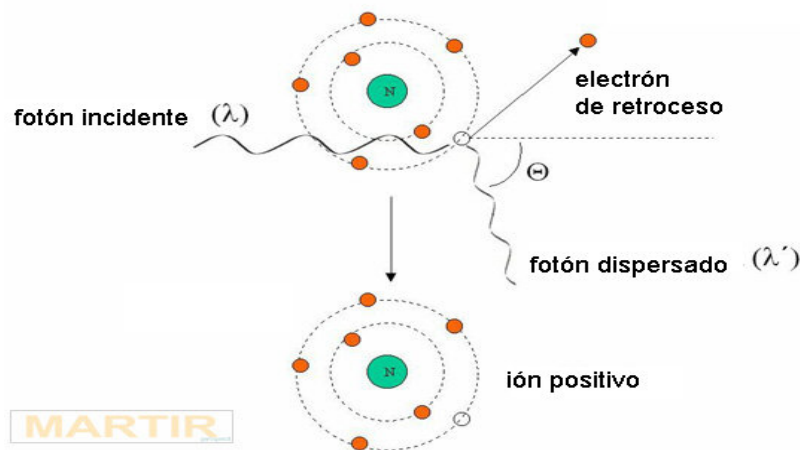


Figura 1.7: Efecto Compton

1.5.3.3 Creación de Pares

Este tercer proceso de absorción de la radiación electromagnética por la materia aparece cuando la energía de los fotones incidentes alcanza al doble de la energía en reposo de los electrones. Consiste en la creación de un par electrón-positrón a partir de un fotón que desaparece en la interacción. Este proceso debe tener lugar en el campo eléctrico existente en la vecindad de un núcleo al que se le entrega cierta energía de retroceso y cierta cantidad de movimiento de forma tal que se cumplan los respectivos principios de la conservación de la energía.

1.5.3.4 Absorción de la radiación electromagnética

La radiación electromagnética es atenuada por la materia al ir eliminándose fotones del haz original en procesos únicos, principalmente por cualquiera de los tres mecanismos antes descritos. Aquellos fotones que no interactúen emergerán del absorbente en la dirección original sin perder energía.

El coeficiente de absorción total, que da la probabilidad que un fotón interactúe con la materia por unidad de recorrido del haz, debe ser igual a la suma de los coeficientes de atenuación parciales por cada mecanismo.

A diferencia de las alfas y las betas, que producen gran ionización primaria en



sucesiva interacciones de las partículas con el medio, las radiaciones electromagnéticas crean solo un par iónico por colisión y únicamente en el caso fotoeléctrico y compton. Son los fotoelectrones, los electrones de retroceso y los electrones y positrones surgidos en la creación de pares los que producen ionización y excitación al ser frenados por la materia. Es por esto que: **a las partículas cargadas se les llama directamente ionizantes y a la radiación electromagnética indirectamente ionizante.**

Cuando se trabaja o manipulan fuentes de radiaciones, o sustancias radiactivas, pueden producirse, **exposiciones externas**: esto ocurre cuando la fuente se encuentra alejada del individuo pero a una distancia que puede recibir la radiación; o **exposición interna o contaminación**: es cuando la fuente puede ser incorporada al individuo. Por ejemplo, pueden producirse **exposiciones externas** cuando se trabaja con equipos de rayos X, aceleradores o material radiactivo. A su vez se puede producir **contaminación** al manipular sustancias radiactivas en forma de: Fuentes selladas que hallan sufrido fugas, o fuentes abiertas.

Tabla 1.1: Tipos de radiaciones ionizantes, ejemplos y características de interacción.

Directamente ionizantes		
partículas cargadas	partículas alfa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida continua de energía en su trayectoria. 2. Ceden su energía en forma de ionización y excitación de los átomos del medio. 3. Su alcance es limitado.
	partículas beta	
Indirectamente ionizantes		
partículas no cargadas (radiación electromagnética)	radiación gamma	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdidas discretas de energía en su trayectoria. 2. Transmiten su energía a partículas cargadas que después ionizarán el medio. 3. No tienen un alcance específico (la probabilidad de interacción aumenta con el espacio recorrido).
	rayos X	
partículas no cargadas	neutrones	



CAPITULO II MAGNITUDES Y UNIDADES DOSIMETRICAS

Nuestros órganos de los sentidos no son capaces de percibir las radiaciones ionizantes. Es por ello que su detección se realiza de forma indirecta a partir de sus efectos. Para medir es necesario conocer las magnitudes que caracterizan la fuente, el campo de radiaciones y su interacción con los diferentes materiales, especialmente los efectos biológicos.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica y la Comisión Internacional de Medidas y Unidades de las Radiaciones (CIUMR y en inglés ICRU) son los organismos internacionales que recomiendan las magnitudes y unidades a emplear tras estudiar la factibilidad y eficacia de su aplicación. Los valores asignados a las diferentes magnitudes pueden obtenerse mediante cálculos o mediciones.

Entre las magnitudes que caracterizan la interacción una de gran importancia es la **transferencia lineal de energía**.

La transferencia lineal de energía está definida por la relación:

$$L_{\delta} = \left(\frac{dE}{dx} \right)_{\delta}, \quad \text{unidad: J.m}^{-1},$$

donde dE es la pérdida de energía que experimentan las partículas cargadas en su interacción con los electrones que encuentran a su paso, al atravesar una capa de material de grosor dx . La energía entregada en cada choque es menor que un valor δ determinado.

Las magnitudes que interesan a los efectos de la dosimetría son: la dosis absorbida, la kerma y la exposición. La dosis absorbida se define como la relación entre la energía media absorbida por un volumen elemental de masa y la masa de dicho volumen:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}, \quad \text{unidad: J.kg}^{-1},$$

en la que $d\varepsilon$ es la energía media impartida por la radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen, y dm es la masa de la materia existente en el elemento de volumen.

El nombre especial de la unidad de dosis absorbida es gray (Gy), siendo $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$. El gray reemplaza al rad como unidad de dosis absorbida, $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$. Esta última unidad no pertenece al SI, por lo que su uso no es aconsejable.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, la dosis absorbida es la energía que el material irradiado ha "absorbido" (como energía de ionización y excitación) por su unidad de masa. El incremento de la dosis absorbida en la unidad de tiempo se denomina tasa de dosis absorbida, siendo su unidad el $\text{J.kg}^{-1}.\text{s}^{-1}$.



Kerma (K)

La kerma en un punto dado se define como:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}, \quad \text{unidad: J.kg}^{-1},$$

donde dE_{tr} es la suma de todas las energías cinéticas iniciales de las partículas cargadas liberadas por las partículas no cargadas de las radiaciones ionizantes en el medio cuya masa es dm .

La kerma se define para un material determinado, aunque puede definirse para un material específico en un medio dado, por ejemplo: kerma en tejidos blandos en un medio circundante acuoso. El nombre especial de la unidad de kerma es el gray (Gy): $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$.

Exposición (X)

Como magnitud física, no como “estar expuesto a” es una de las magnitudes dosimétricas más antiguas. Conceptualmente, es una magnitud que evalúa la intensidad de un campo de radiación electromagnética ionizante (radiación X o γ), actualmente tiende a ser reemplazada por la kerma en aire. Se define a la exposición como:

$$X = \frac{dQ}{dm}, \quad \text{unidad: C.kg}^{-1},$$

donde dQ es el valor absoluto de la carga eléctrica total de los iones de un mismo signo (por ejemplo, de carga eléctrica negativa) producida en aire cuando todos los electrones liberados por los fotones en aire de masa dm quedan completamente frenados en el aire. La unidad tradicional de exposición es el roentgen (R), siendo: $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C.kg}^{-1}$. El roentgen no pertenece al SI por lo que su uso no se recomienda.

A los fines de la protección radiológica, se hace necesario disponer de magnitudes que tengan en cuenta los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, particularmente a bajas dosis y bajas tasas de dosis, que es la condición normal de exposición.

Dosis equivalente:

Esta magnitud se define para un órgano o tejido determinado como:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}, \quad \text{unidad: J.kg}^{-1},$$

donde $D_{T,R}$ es el promedio de la dosis absorbida de radiación R en el órgano o tejido T y w_R es el factor de ponderación para la radiación R. El valor del factor de ponderación ha sido seleccionado por la CIPR para un tipo específico de radiación y una energía dada para dar valores representativos del efecto biológico relativo (RBE) de dicha



radiación para la ocurrencia de efectos estocásticos a bajas dosis. Si el campo de radiación está compuesto por varios tipos de radiaciones ionizantes con distintos valores de w_R se determina la fracción de la dosis absorbida para cada valor de w_R y se realiza la suma indicada. El nombre especial de la unidad de dosis equivalente es el sievert (Sv). En la Tabla 2.1 se muestran los valores recomendados por la CIPR para los factores de ponderación de las radiaciones [2].

Tabla 2.1. Factores de ponderación para la radiación.

Tipo y rango energético	Factor de ponderación de la radiación
fotones de todas las energías:	1
electrones y muones de todas las energías:	1
neutrones de energías:	5
<10 keV	10
de 10 keV a 100 keV	20
de 100 keV a 2 MeV	10
de 2 MeV a 20 MeV	5
> 20 MeV	5
protones (no de retroceso), de energías > 2 MeV:	20
partículas α , fragmentos de fisión núcleos pesados:	

Dosis efectiva:

La probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos dependerá de la dosis equivalente en cada órgano o tejido irradiado; por ello para estimar el riesgo total al organismo producto de la combinación de diferentes dosis en los distintos tejidos u órganos se define la magnitud dosis efectiva:

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T, \quad \text{unidad: J.kg}^{-1},$$

donde H_T es la dosis equivalente en el tejido T y w_T es el detrimento relativo que indica la contribución del órgano o tejido T al detrimento total tras una irradiación uniforme de todo el cuerpo. La unidad especial de dosis efectiva es el sievert (Sv). Los valores recomendados de los factores de ponderación para órganos y tejidos que se muestran en la Tabla 2.2 fueron calculados por la CIPR, teniendo en cuenta cuatro componentes del detrimento: la probabilidad de aparición de un cáncer fatal; la probabilidad ponderada para el surgimiento de un cáncer no fatal; la probabilidad ponderada para el surgimiento de efectos hereditarios severos; la pérdida promedio de años de vida por cada tipo de cáncer.

Los valores de los factores de ponderación, tanto para los diferentes tipos de radiación como para los tejidos se dan para las radiaciones incidentes en el cuerpo desde una fuente externa a él y para las radiaciones emitidas por las fuentes incorporadas al organismo por las vías de ingestión, inhalación o a través de la piel.



Tabla 2.2 Factores de ponderación para tejidos.

Órganos o tejidos	Factor de ponderación para tejido
gónadas	0,20
médula ósea roja	0,12
colon	0,12
pulmones	0,12
estómago	0,12
vejiga	0,05
mamas	0,05
hígado	0,05
esófago	0,05
tiroides	0,05
piel	0,01
superficie ósea	0,01
resto ¹	0,05

Cuando las radiaciones ionizantes que actúan sobre el organismo proceden de una fuente situada fuera de él, la **exposición se denomina externa**. Cuando la fuente penetra en el organismo por las vías de inhalación, ingestión o a través de la piel, la **exposición que provocan se denomina interna**. La incorporación es la cantidad de actividad de un radionucleido que penetra por estas vías, se transporta y se retiene en el organismo.

Como cuando se produce la incorporación de un radionucleido determinado al organismo éste se distribuye por los distintos órganos y tejidos según sus características físico-químicas, aportando de esta forma una tasa de dosis equivalente en cada uno de ellos. Para determinar la dosis equivalente total producida por una incorporación en un tiempo dado, es necesario integrar la tasa de dosis equivalente antes mencionada en el intervalo de tiempo comprendido desde el momento en que ocurrió la incorporación hasta aquel para el cual se calcula. La magnitud así obtenida se denomina **dosis equivalente comprometida** y se expresa como:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} H_T(t) \cdot dt, \quad \text{unidad: J.kg}^{-1},$$

donde τ es el tiempo para el cual se calcula la dosis equivalente comprometida. Los valores de τ recomendados son: 50 años para los adultos y 70 años para los niños, t_0 es el tiempo en el que se produjo la incorporación de la sustancia radiactiva y $H_T(t)$ es la tasa de dosis equivalente en el órgano de interés. Para la dosis equivalente comprometida también se emplea como unidad especial el sievert (Sv).

¹ El resto está compuesto por los siguientes órganos: glándulas suprarrenales, cerebro, intestino delgado, riñones, músculos, páncreas, bazo, útero. Estos órganos son los de mayor probabilidad de ser irradiados y algunos son susceptibles a la aparición del cáncer debido a las radiaciones ionizantes. En el caso excepcional en que un órgano perteneciente al "resto" reciba una dosis equivalente superior a la dosis equivalente máxima en los 12 órganos de la lista, para los cuales aparece especificado el factor de ponderación W_T , es posible aplicar un factor de peso W_T igual a 0,025 para ese órgano y 0,025 para el valor medio de las dosis equivalentes recibidas por los demás órganos del resto.



De forma análoga es posible calcular la dosis efectiva al cabo de un tiempo después de la incorporación. La magnitud obtenida se denomina **dosis efectiva comprometida** y se expresa como:

$$E(\tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} E(t) \cdot dt, \quad \text{unidad: J.kg}^{-1},$$

siendo τ y t_0 definidos de igual manera que en la expresión anterior, $E(\tau)$ es la dosis efectiva comprometida y $E(t)$ es la tasa de dosis efectiva en el tiempo t . Por analogía con lo indicado anteriormente, también a la unidad de esta magnitud se le denomina sievert (Sv).

Cuando se hace referencia a la **dosis efectiva acumulada en un período** dado esto significa que se han considerado todas las dosis efectivas comprometidas debidas a las incorporaciones ocurridas en dicho período.

Las magnitudes anteriores permiten la estimación de la dosis individual. Para evaluar la dosis de un grupo de personas o la población de una localidad es necesario multiplicar la dosis individual promedio de dicha población por la cantidad de individuos que la conforman. Así se obtienen las magnitudes: **dosis equivalente colectiva (S_T)**, en relación con un órgano determinado y **la dosis efectiva colectiva (S)**. Si varios grupos han sido irradiados, la dosis colectiva será el resultado de la suma de las dosis colectivas de cada grupo. La unidad empleada para estas magnitudes es el **sievert-hombre**.

La dosis efectiva se considera un indicador apropiado del detrimento para la salud a los niveles en que se trabaja en condiciones normales y el límite de dosis equivalente se establece para asegurar que no aparecerán efectos determinísticos en la piel y el cristalino. Ambas magnitudes se refieren a la suma de las dosis efectivas o equivalentes recibidas por exposición externa y de las dosis efectivas o equivalentes comprometidas por la incorporación de radionucleidos y son muy difíciles de determinar partiendo de las definiciones anteriores. A los efectos de la medición, las magnitudes que generalmente se tienen en cuenta para evaluar la exposición externa debida a fuentes de radiación son la kerma y la dosis absorbida. Por ello, para evaluar la dosis efectiva o equivalente recibida por el trabajador la CIUMR ha introducido **magnitudes operacionales** que den estimados aceptables para la mayoría de los campos de radiación [5]. Las magnitudes operacionales para el control radiológico de zona son magnitudes medibles con facilidad y entre ellas podemos mencionar: la dosis equivalente ambiental $H^*(d)$ y la dosis equivalente direccional $H'(d)$ y para el control individual, la dosis equivalente personal $H_p(d)$.

La dosis equivalente ambiental $H^*(d)$, en un punto de un campo de radiación, es la dosis equivalente que sería producida por el correspondiente campo alineado y expandido en la esfera de la CIUMR² a una profundidad d sobre el radio orientado en dirección opuesta a la del campo alineado. Para la radiación penetrante se recomienda una profundidad $d = 10$ mm Para la medición se requiere el empleo de un instrumento cuya respuesta sea isotrópica, sobre todo cuando no se conoce la distribución del campo en el volumen efectivo del detector.

² La esfera de la CIUMR es una esfera de 30 cm de diámetro hecha de material tejido equivalente con una composición definida y densidad de 1 g.cm^{-3} .



La dosis equivalente direccional $H'(d)$, en un punto de un campo de radiación, es la dosis equivalente que sería producida por el correspondiente campo expandido en la esfera de la CIUMR a una profundidad d sobre el radio orientado en una dirección específica Ω . Para la radiación poco penetrante se recomienda una profundidad $d = 0,07$ mm. Puede emplearse un instrumento que determine el equivalente de dosis en una capa de material tejido equivalente a la profundidad recomendada, si la superficie de dicha capa es perpendicular a la dirección del campo y si el campo es uniforme en toda la superficie activa del detector.

La dosis equivalente personal $H_p(d)$, es la dosis equivalente en tejido blando, a una profundidad adecuada d , a partir de un punto específico sobre el cuerpo humano. La profundidad d recomendada es de 10 mm para la radiación penetrante y 0,07 mm para la poco penetrante. Puede ser medida con el detector cubierto con un grosor apropiado de material tejido equivalente, situado en la superficie del cuerpo. Las magnitudes operacionales $H_p(0,07)$ y $H_p(3)$ sirven para obtener valores aproximados de la dosis equivalente en la piel y el cristalino respectivamente.

Otra magnitud operacional importante es el Límite Anual de Incorporación (ALI). El ALI de un radionucleido dado es la incorporación por inhalación, ingestión o a través de la piel, en el hombre de referencia, que tendría como consecuencia una dosis comprometida igual al límite anual de dosis correspondiente. La CIPR publicó los valores de los límites anuales de incorporación para los radionucleidos más utilizados y para las diferentes vías de incorporación. Tomando como base los límites anuales de incorporación se pueden determinar otros límites secundarios para las concentraciones de radionucleidos y sustancias radiactivas en diferentes medios que están en contacto con el hombre o a través de los cuales puede producirse la incorporación al organismo.



CAPITULO III EFECTOS BIOLÓGICOS

Desde el descubrimiento de los rayos X en 1.895 y de la radiactividad en 1.896 aparecieron evidencias clínicas; sobre todo debidas a los efectos en la piel, que indicaban que las radiaciones ionizantes eran perjudiciales para los tejidos humanos.

Posteriormente se observó que este tipo de radiaciones no afectaban únicamente a los tejidos expuestos, sino que la exposición del tejido germinal en animales también se traducía en efectos para los descendientes. Se hizo entonces evidente que el ser humano debía estudiar los efectos biológicos de la radiación ionizante con el objeto de protegerse a si mismo y a otras especies de sus efectos perjudiciales, a la vez que se aprovechan los beneficios de su uso.

Tanto es así que el primer caso de lesión ocurrida en seres humanos fue dado a conocer poco después de anunciar Roentgen, en 1.895, el descubrimiento de los rayos X. Ya en 1.902 la literatura describió el primer caso de cáncer inducido por los rayos X.

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son la consecuencia de un número importante de fenómenos desencadenados por el pasaje de radiación a través de un medio. Los eventos iniciales son ionizaciones y excitaciones de átomos y moléculas del medio a lo largo de las trayectorias de las partículas ionizantes.

Estas perturbaciones físicas entrañan una compleja serie de reacciones físico-químicas, luego químicas y finalmente un efecto biológico que dependiendo del punto final ("end point") corresponderá el nivel subcelular, celular y tisular.

La micro distribución de las ionizaciones y excitaciones producidas por la radiación ionizante dependerá de:

- ◆ La dosis
- ◆ La tasa de dosis
- ◆ La energía de la radiación incidente
- ◆ El volumen irradiado
- ◆ La jerarquía del volumen irradiado.

Así mismo, los efectos que pueden producirse por la exposición de la radiación con la materia, se presentan en distintas formas de exposición:

- ◆ **Exposición a la Radiación Externa:** La fuente se encuentra externamente y el ser humano esta en el campo de exposición. Existe irradiación global, parcial y localizada.
- ◆ **Exposición a la Radiación Interna:** La fuente se encuentra en el interior del cuerpo humano. Existe contaminación externa o interna.
- ◆ **Exposición Total:** Ambas exposiciones están presentes.

En cuanto a las actividades que desempeña el hombre, se tiene:

- ◆ **Exposición Ocupacional:** Exposición en los puestos de trabajo como consecuencia de manejar fuentes de radiaciones ionizantes.



- ◆ **Exposición Médica:** Exposición debida a exámenes con radiaciones ionizantes.
- ◆ **Exposición Público:** Todas las exposiciones distintas a las antes mencionadas.

El organismo humano podría ser visto como el producto de la interacción de elementos estructurados en distintos niveles de organización. Dentro de los niveles de organización y entre ellos, existen vías de comunicación entre una gran variedad de estructuras, determinando funciones integradas en orden creciente, desde átomos, moléculas, células, órganos y organismos. La organización jerárquica, determinará una cascada de respuestas específicas ascendentes que comprometerán a todo el sistema en su conjunto en relación a la dosis entregada.

La célula es la unidad fundamental de los servicios; contiene un conjunto de componentes organizados e integrados que permiten su subsistencia, su multiplicación y le permite cumplir funciones específicas dentro del organismo. El tamaño promedio es de 10 a 15 micras, aunque existen más pequeñas como el glóbulo rojo que tiene 7 micras y otras más grandes como el óvulo que tiene 130 a 140 micras. Es posible estimar que un adulto de 70 Kg. Posee entre 4 y 6 10^{13} células.

La célula esta constituida fundamentalmente por un núcleo, y el citoplasma, rodeada por la membrana celular, que sirve además como el límite de la célula. Dentro del núcleo se encuentra el nucleolo y en el citoplasma las distintas estructuras dentro de las cuales podemos citar: mitocondrias, retículo endoplasmico rugoso, ribosomas, aparato de golgi, centríolo, lisosomas, etc.

El núcleo es el lugar de la célula donde tiene lugar fundamentalmente las reacciones que llevan a la división celular. La membrana nuclear lo delimita. El componente fundamental es el ADN (ácido desoxirribonucleico), el cual, es el responsable de la transmisión de los caracteres heredables y además es el blanco mas importante de la radiación. El ADN forma parte de estructuras denominadas cromosomas. Dentro del núcleo se encuentra el nucleolo que participa en la síntesis y empaquetamiento de los RNA ribosomales.

La molécula responsable de llevar toda la información necesaria para dar origen a un nuevo individuo es el ADN. Por individuo se incluyen las bacterias, la mayoría de los virus, los animales y el hombre. El ADN es una molécula de gran tamaño que puede ser imaginada como una doble cadena enrollada sobre si misma con diversos niveles de plegamiento; constituida por moléculas denominas "bases" que pertenecen por su estructura química a las purinas (adenina A y guanina G) y a las pirimidinas (timina T y citosina C); además por grupos fosfatos y un azúcar denominada desoxirribosa.

Cada hebra de la doble hélice se mantiene unida con la complementaria por uniones denominadas "puentes de hidrógenos". El enfrentamiento de una base de una cadena con la otra no se realiza al azar sino que siempre la Adenina se enfrenta con la timina y la guanina con la citosina. El uracilo que pertenece a las pirimidinas, participa en la constitución del ARN.

Cada molécula de ADN junto con las proteínas que la rodean constituye un cromosoma. Que la larga molécula de ADN que constituye un cromosoma esta conformada por una secuencia particular de bases y estas constituyen los genes. Por lo tanto un gen es una porción del ADN que a través de su secuencia de bases y



esta constituye los genes. Por lo tanto un gen es una porción del ADN que a través de su secuencia de bases lleva la información para una determinada característica del individuo, ya sean físicas (por Ej. Color de ojos, tipo de pelo, etc.) o bioquímicas (por Ej. predisposición a enfermedades, alteraciones metabólicas etc.)

Toda esta información “lineal”, definiendo por lineal la secuencia de bases expresada anteriormente, contenida en la molécula de ADN, debe ser transformada en un producto “tridimensional” como son las proteínas.

El ADN es el blanco principal de las radiaciones ionizantes. Toda alteración que implique:

- ◆ El agregado o la eliminación de un nucleótido (definimos por nucleótido a una base con su azúcar y el grupo fosfato).
- ◆ La modificación de una base por un agente químico
- ◆ La rotura de una o ambas cadenas

Reciben el nombre de mutaciones.

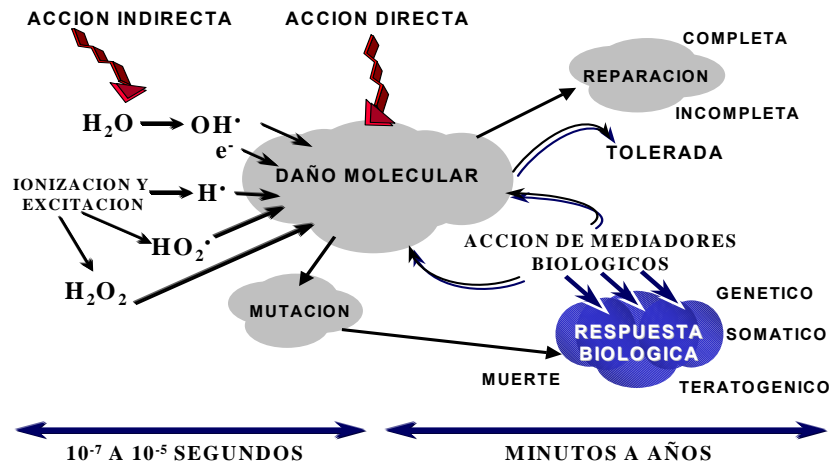


Figura 3.1 Mecanismos de respuesta física, bioquímica y biológica.

Como se muestra en la Figura 3.1, la energía transmitida por la radiación puede actuar de manera directa sobre la molécula biológica causando la ionización o de manera indirecta, a través de los radicales libres que surgen por la ionización de las moléculas del agua que la rodean. Los procesos de absorción de energía: ionización y excitación, así como las alteraciones bioquímicas que desencadenan la respuesta del organismo ocurren en un intervalo de tiempo muy breve, el que se cuenta en fracciones de segundo. Sin embargo, los cambios que se producen se manifiestan a escala celular, tisular y así sucesivamente hasta el nivel de organismo, de manera inmediata o a largo plazo.

Cuando se produce una irradiación, el tiempo entre dos eventos ionizantes es importante, porque es en ese intervalo en el cual la célula puede poner en marcha mecanismos de reparación o de adaptación a la injuria. Esto es, a mayor tiempo entre dos eventos sub-letales mayor es la probabilidad de recuperación del daño.



Los dos mecanismos principales de reparación son: **escisión y resíntesis** que permite la reparación de rupturas simples y las recombinaciones homólogas o heterólogas, reparadoras de las rupturas dobles.

El proceso de ionización producido por las radiaciones lleva a cambios, a veces en forma transitoria, que pueden dañar a las células. Si se producen daños celulares y no se reparan adecuadamente, puede ocurrir que las células afectadas mueran o se vea impedida su reproducción, o bien que se origine una célula viable, pero modificada. Ambos extremos tienen implicancias profundamente distintas para el organismo.

Si el número de células que murieron es lo suficientemente elevado se producirá un daño susceptible de ser observado, que será el reflejo de una pérdida de funcionalidad del tejido. La probabilidad de que se produzcan tales daños será cero a dosis pequeñas, pero por encima de un determinado nivel de dosis (umbral) aumentará rápidamente hasta la unidad. Por encima del umbral aumentará asimismo la gravedad del daño con la dosis. Este tipo de efectos, conocidos anteriormente como **no estocásticos**, se denominan ahora **deterministas**.

El resultado será muy diferente si en vez de producirse la muerte de la célula irradiada, está sobrevive con una alteración en su genoma. Este tipo de efectos se denomina **estocásticos**, es decir de naturaleza aleatoria o estadística. Si la transformación se produce en una célula cuya función es transmitir información genética a generaciones posteriores (célula germinal en gónadas) el efecto de variado tipo y gravedad se expresará en la descendencia de la persona expuesta. Este tipo de efecto estocástico se denomina **hereditario**. Si en cambio la transformación ocurre en una célula somática podría dar lugar, luego de un largo periodo de latencia, a la inducción de un cáncer (**carcinogénesis**).

3.1 Efectos Estocásticos:

Los efectos estocásticos son aquellos en los cuales la probabilidad en que se produzca el efecto de la dosis, mientras la severidad del mismo es independiente de la dosis, y no tiene umbral. Los efectos estocásticos se producen como consecuencia del daño sobre una célula o un pequeño número de células. Ejemplo de efectos estocásticos son los efectos carcinogénicos y los efectos hereditarios de las radiaciones ionizantes.

La manifestación de los efectos estocásticos obedece a una relación dosis/efecto de naturaleza probabilística. Cuando una población se expone a las radiaciones ionizantes, estos efectos aparecen solamente en algunos individuos, y ello aparentemente al "azar", de ahí su nombre "estocástico". Estos efectos pueden ser somáticos como lo son las enfermedades malignas o enfermedades hereditarias.

Estudios epidemiológicos en poblaciones expuestas han demostrado que la frecuencia de enfermedades malignas aumenta con la dosis absorbida. En general, la forma de la relación dosis-efecto se conoce únicamente para dosis muy elevada, mayor de 0.2 Gy. Para dosis bajas, la forma de la relación no es conocida. No se sabe si, por debajo de cierto nivel de dosis, las radiaciones tienen o no algún efecto, es decir, si existe un umbral como para los efectos determinísticos, o no.

Los principios de la protección radiológica se basan en la hipótesis prudente de que hay una relación de proporcionalidad directa entre la dosis y la probabilidad de



los efectos estocásticos, sin umbral.

La magnitud de la dosis recibida no influye en la gravedad del efecto estocástico; no es posible distinguir, para un efecto de este tipo, en el estado actual de conocimientos, entre un caso debido a las radiaciones ionizantes y un caso espontáneo.

Los efectos estocásticos son siempre diferidos en el tiempo. Es preciso que transcurra el tiempo para que aparezcan los efectos genéticos, ya que se manifiestan en la descendencia. En cuanto a las enfermedades malignas, pueden transcurrir varios años o varias decenas de años entre la exposición y la aparición de la enfermedad.

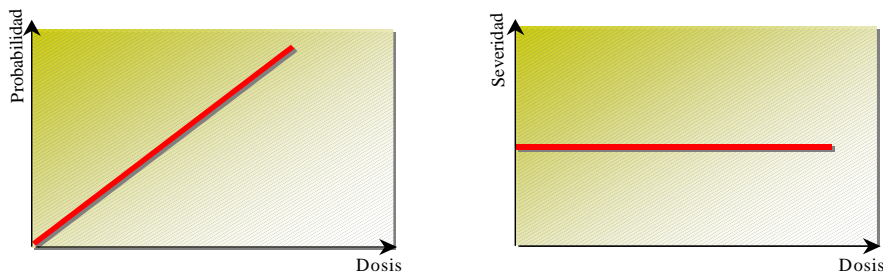


Figura 3.2. Relación entre la probabilidad de ocurrencia y la severidad de los efectos estocásticos con la dosis.

3.2 Efectos Deterministas:

Los efectos deterministas son aquellos en los que la gravedad del efecto y su frecuencia varían en función de la dosis. La relación dosis – efecto tiene umbral.

La secuencia de eventos se caracteriza por una combinación de signos observados y síntomas manifestados, es decir síndromes. Distintos órganos expresan insuficiencia con distintos rangos de dosis.

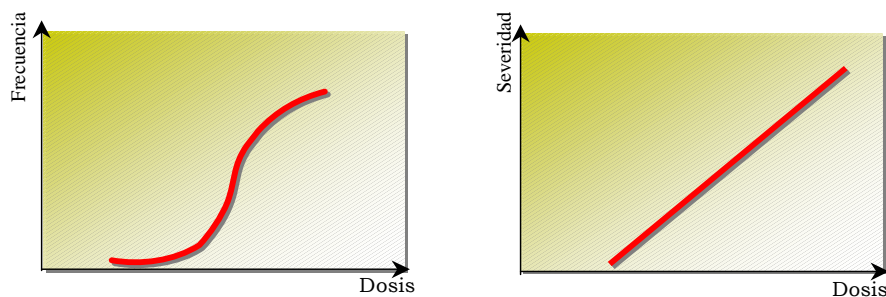


Figura 3.3. Relación entre la frecuencia y la severidad de los efectos determinísticos de las radiaciones ionizantes con la dosis.

El efecto determinista más severo es la muerte. Dosis suficientemente altas recibidas en cortos períodos de tiempo pueden provocar efectos letales en el hombre. La respuesta de un organismo adulto a una exposición aguda (en un tiempo corto,



minutos o inferior), produce signos, síntomas y un cuadro clínico variable que se conoce como **síndrome agudo de radiación**.

De acuerdo a la dosis en todo el cuerpo, se puede distinguir las siguientes formas del Síndrome Agudo de Radiación (SAR):

- ◆ **Hemopoyética:** para dosis comprendidas entre 1-10 Gy
- ◆ **Gastrointestinal:** dosis entre 10-50 Gy (algunos autores distinguen una forma denominada cardiovascular o toxémica entre 20-50 Gy)
- ◆ **Neurológica:** con dosis superiores a los 50 Gy

La severidad de las manifestaciones clínicas depende de las dosis, y se pueden agrupar como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Efectos Deterministas a Diferentes Dosis de Radiación

Dosis	Manifestaciones
0 – 0,25 Gy	No hay manifestaciones clínicas, Se puede detectar un aumento de frecuencia de aberraciones cromosomáticas en linfocitos.
0,25 – 1 Gy	Sin síntomas o náuseas transitorias. En sangre disminución de linfocitos, a veces leve reducción del número de plaquetas. Se detectan aberraciones cromosomáticas en linfocitos. En algunos pacientes se registran cambios en el electroencefalograma. Tratamientos: sintomáticos. Vigilancia médica durante algunos días
1 – 2 Gy	Grado leve de la forma Hemopoyética. En un porcentaje de los sobreexpuestos se presenta náuseas y vomito las primeras horas. A las 6 – 8 semanas disminuye el número de granulocitos neutrófilos y plaquetas, pero esta reducción no es suficiente para facilitar infección y hemorragia. Se debe realizar seguimientos hematológicos. La mayoría de los pacientes se recuperan sin tratamientos
2 – 4 Gy	Grado moderado de la forma Hemopoyética. Es un porcentaje de lo sobre expuesto se presentan náuseas y vómito luego 1 –2 horas. Los niveles más bajos en números de neutrófilos y plaquetas se alcanzan en 3 – 4 semanas, acompañados de fiebre y hemorragia. Con las condiciones terapéuticas actuales todos los pacientes se pueden recuperar.
4 – 6 Gy	Grado severo de la forma Hemopoyética. Las náuseas y vómito aparecen luego de 0,25 – 1 hora. Hay fiebre, y eritema en piel y mucosa. Los valores más bajos en números de neutrófilos y plaquetas ocurren entre la 2 ^{da} y 3 ^{era} semana, la mayoría de los pacientes mueren como consecuencia de infecciones y hemorragia. Sin embargo, si se aplica tratamiento de sostén, la mayoría de los sobreexpuestos tienen posibilidades de recuperarse.
6 – 10 Gy	Grado extremadamente severo de la forma Hemopoyética. Las náuseas y vómito aparecen dentro de los 30 minutos posteriores a la sobre exposición. Presentan diarrea en una a dos horas. Los valores más bajos de neutrófilos y plaquetas se destacan a los 10 y 14 días. Sin embargo, si se aplica tratamiento de sostén, la mayoría de los sobreexpuestos tienen posibilidades de recuperarse.
>10 Gy	Se desarrollan las formas gastrointestinales, cardiovasculares y neurológicas. Cualquiera fuese el tratamiento aplicado la letalidad es de 100%.

3.3 Efectos Prenatales

Los efectos prenatales son consecuencia de irradiaciones durante la vida intrauterina. Los sistemas en desarrollo son cualitativamente diferentes de los sistemas “Adultos”. En primer lugar, son, durante buena parte del desarrollo, sistemas muy indiferenciados. Con un índice mitótico alto y una alta capacidad de proliferación. Nos encontramos, por lo tanto, frente a un sistema cuya capacidad intrínseca de respuesta frente a la radiación es diferente. La gestación humana se completa entre 37 y 42 semanas de edad gestacional.



Los efectos de las radiaciones ionizantes durante el desarrollo prenatal dependen ante todo del período en el cual se produce la exposición a las radiaciones ionizantes. Estos períodos se cuantifican por días o semanas a partir de la última menstruación de la mujer y reflejan distintas etapas del desarrollo embrionario.

El Período preimplantacional: Tiene como rasgo fundamental el de generar el esbozo de las hojas embrionarias que darán origen a los distintos sistemas tisulares. En este momento se verifica una multiplicación exponencial de las células y hasta el momento conocido como “Mórula” de 16 días, la capacidad del sistema es totipotencial. La implantación del huevo de la mucosa uterina acontece aproximadamente el día 7 de edad gestacional. Durante este período el principal efecto de la radiación es la muerte del huevo, dependiendo del momento de máxima sensibilidad.

El período embrionario: Aquí se verifican fenómenos muy complejos de plegamiento dorsoventral del embrión, así como segmentación de las hojas embrionarias primitivas. Todo converge a que en la quinta semana de edad gestacional puedan observarse todos los sistemas finalmente esbozados. A esta etapa seguirá un momento de crecimiento, desplazamiento y diferenciación histológica de los órganos.

El período fetal: Se extiende entre la octava y la treinta y siete semana de edad gestacional. La diferenciación de los sistemas tisulares, como podemos imaginar son procesos extremadamente complejos. Dentro de este período debemos recordar muy especialmente el desarrollo del sistema nervioso central que constituye el sistema más vulnerable.

Los momentos críticos para la generación de retraso mental severo en el ser humano se encuentran comprendidos entre la 8 y 15 semanas de edad gestacional y la 16-25 semanas de edad gestacionaria.

TABLA 3.2 EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES DURANTE EL EMBARAZO

PERIODO	DOSIS UMBRAL	EFEECTO
0 a 6 días; Preimplantación, Fecundación/Anidación	Mayor de 0,01 Gy	Aborto inducido
7 a 40 días	Mayor de 0,005 Gy a 0,001 Gy	Malformaciones
8 a 15 semanas; Desarrollo de los hemisferios cerebrales	Mayor de 0,01 Gy	- Corrimiento del Coeficiente intelectual (IQ) - Retardo mental profundo
16 a 25 semanas; Desarrollo del cerebro y cerebelo	Mayor de 0,2 Gy	Retardo mental
26 semanas al parto	Mayor de 0,1 Gy	Detención del crecimiento craneal

TOMADO DE LA GUIA EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES; ELABORADO POR LA DRA. MYRIAN ESCOBAR; Msc EN SALUD OCUPACIONAL Y DIPLOMADO EN SEGURIDAD RADIOLOGICA; JUNIO DE 2002.



CAPITULO IV

FUENTES: BENEFICIOS Y RIESGOS

4.1- LAS FUENTES DE RADIACION

La humanidad siempre ha estado expuesta a las radiaciones ionizantes. Existen las **fuentes naturales** que tienen dos componentes: las radiaciones cósmicas provenientes del espacio y las radiaciones emitidas por elementos radiactivos que constituyen la corteza terrestre. Estas radiaciones naturales no son homogéneas en el planeta, y existen lugares donde la radiación natural es hasta de 10 mSv/año. El valor medio del fondo natural es 1 mSv/año.

Desde el descubrimiento de la radiactividad, el hombre ha creado **fuentes artificiales** que han incrementado la exposición de la población; se tiene por ejemplo:

- Fuentes industriales
- Fuentes por precipitaciones radiactivas ocasionadas por los ensayos nucleares
- Fuentes médicas.

De las anteriores, **las que producen mayor exposición son las médicas**, aproximadamente el 95% del total.

Tabla 4.1 Dosis individual media debida a fuentes naturales y artificiales

Fuentes de radiación natural	Aporte anual a la dosis individual media (mSv)	Fuentes de radiación artificial	Aporte anual a la dosis individual media (mSv)
Radiación cósmica	0,39	Fuentes médicas	0,30
Corteza terrestre (U, Th, K-40)	0,46	Precipitación radiactiva (fall-out)	0,006
Radón	1,30	Industria nucleoelectrica	0,008
Alimentos y bebidas	0,23	Otros	0,001
Total	2,38		0,315

Las fuentes radiactivas se pueden clasificar en función de cómo se presentan:

a.) **Fuentes Selladas:** Cuando la sustancia radiactiva se encuentra cerrada por barreras ingenieriles (encapsulamiento). Ejemplo fuentes usadas en radioterapia médica, en gammagrafía industrial, medidores de espesor y de niveles en la industria, etc.

b.) **Fuentes Abiertas:** Cuando la sustancia radiactiva no se encuentra encerrada por barreras ingenieriles. Ejemplo: radioisótopos utilizados en medicina nuclear e investigación.

Además de las fuentes radiactivas se tienen los equipos generadores de radiaciones ionizantes:

c) **Equipos de rayos X** para diagnósticos médico o industrial



d) **Aceleradores lineales** (de electrones y rayos X) para terapia médica

4.2 USOS Y BENEFICIOS

4.2.1 Las radiaciones ionizantes en medicina

La aplicación de las radiaciones ionizantes en medicina ha dado lugar a especialidades médicas basadas en la tecnología. Desde su descubrimiento, el crecimiento y desarrollo de las radiaciones ionizantes ha sido paralelo al avance de la medicina. Su extensión ha permitido un mejor conocimiento tanto de la anatomía normal y patológica, como en muchos casos de la fisiología normal y anormal de los seres vivos. La investigación en radiaciones ionizantes no sólo contempla mejorar la tarea cotidiana de interpretar imágenes, diagnosticar y tratar enfermedades, sino también busca nuevos conocimientos en medicina para su propia causa, del mismo modo que también lo hacen otras técnicas no radiológicas.

Se considera que su aplicación en medicina es beneficiosa, aunque si no se opera debidamente, las dosis recibidas son a menudo innecesariamente elevadas, cuando de hecho, pueden reducirse considerablemente sin pérdida alguna de eficacia. Después de las fuentes de radiación natural, la exposición médica es, la mayor fuente de exposición creada por el hombre. La medicina designa la exposición de los individuos sometidos a examen o a tratamientos médicos con ayuda de radiaciones.

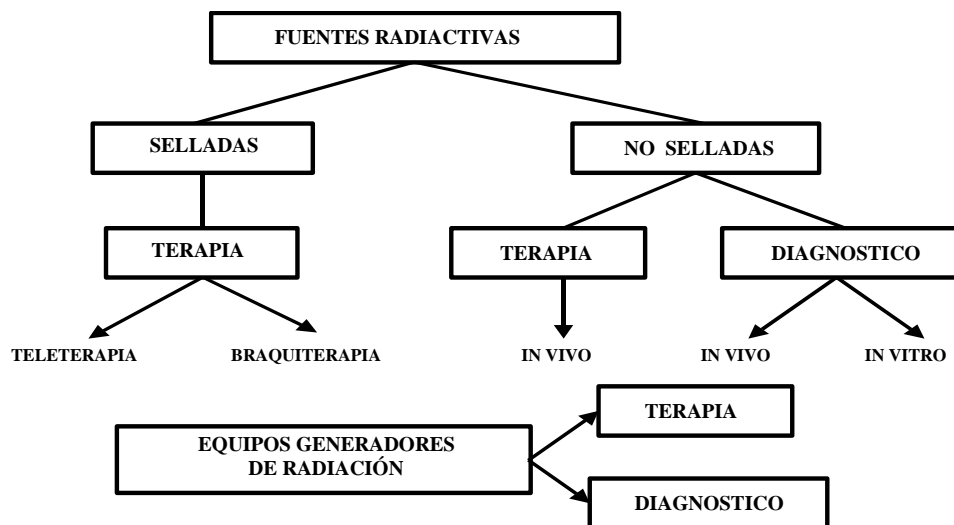


Figura 4.1 Usos de fuentes radiactivas y equipos generadores en medicina

La mayor aplicación de las radiaciones ionizantes en medicina se encuentra en el campo del diagnóstico. Para ello se emplean fundamentalmente rayos X de baja energía y, en aquellos órganos o estructuras del cuerpo humano donde la imagen obtenida mediante ellos no ha aportado suficiente información se ha recurrido al uso, y cada vez con mayor éxito, de otras fuentes de radiación, como son los radionucleidos.

4.2.1.1 Radiodiagnóstico

Los métodos de radiografía y fluoroscopia se aplican prácticamente a todas las partes del cuerpo humano. Con ellos son posibles reconocimientos médicos a nivel de



esqueleto, tórax, abdomen, sistema nervioso, tubo digestivo, vías biliares, aparato urinario, vasos, corazón, exámenes especiales, etc.

Sin duda, los equipos más extendidos son las unidades básicas de radiografía y las exploraciones más realizadas hasta los últimos años han sido las de tórax. Sin embargo, esta práctica está descendiendo notablemente debido, entre otros factores, al descenso de la tuberculosis en nuestra sociedad y a la existencia de mejores métodos para la detección prematura del cáncer de pulmón. Además, aplicando el criterio de que las exposiciones a radiaciones ionizantes deben limitarse a motivos sintomáticos, cada vez menos países incluyen en las exploraciones médicas anuales, este tipo de chequeo.

Merece mención especial la mamografía, técnica que comenzó a utilizarse a partir de los años 50. En la actualidad, gracias a los equipos existentes al efecto (mamógrafos) y los métodos empleados, se considera que dicha exploración es el método más sensible para la detección precoz del cáncer de mama.

También dentro de las técnicas hay que citar los equipos específicos que se aplican en el campo de la odontología. Se trata de pequeños generadores de rayos X que operan, según los siguientes procedimientos:

- Radiografía con película intraoral.
- Radiografía panorámica con tubo de rayos X intraoral.
- Pantomografía.

De momento, el mayor hito en la revolución de la tecnología radiológica, se dio en la década de los años 70 con la aparición de la Tomografía Computerizada (CT). La CT obtiene imágenes de secciones de un órgano representando claramente el aspecto del mismo incluidos tejidos blandos. Por tanto, proporciona un rango dinámico más amplio que la radiografía convencional, con una superior discriminación de tejidos. Esta práctica ha sustituido en muchos casos a la cirugía exploratoria. Además, permite estancias más reducidas de los pacientes en lo que respeta a la fase preoperatoria. En diversas localizaciones tumorales se ha convertido en una herramienta indispensable y cada vez es mayor su necesidad en la planificación de tratamientos con radioterapia.

4.2.1.2 Aplicaciones diagnósticas con radionucleidos (Medicina Nuclear)

Los radionucleidos son empleados para el estudio de diversas patologías, tumores, metástasis, estudios médicos, etc. Hoy su aplicación ha dado lugar a una especialidad diferenciada llamada medicina nuclear, que en el campo del diagnóstico, permite:

- a) El examen funcional preciso de diferentes órganos.
- b) La visualización rápida y no traumática mediante gammagrafías.
- c) El estudio dinámico de los fenómenos rápidos (ej. circulación cardiaca, cerebral, etc.)

Pueden utilizarse radionucleidos puros o bien sustancias portadoras muy diversas, dependiendo del órgano a explorar, marcadas con radionucleidos. El "marcaje" amplía la gama de posibilidades diagnósticas puesto que la sustancia portadora puede ser de índole muy diversa (proteínas, hormonas, compuestos orgánicos), con lo que se permite estudiar una gran variedad de funciones biológicas. Actualmente se utilizan emisores gamma de baja energía y de periodos de semidesintegración cortos, lo cual facilita su rápida eliminación. El radionucleido más



utilizado es el ^{99m}Tc aunque también se utiliza ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{131}I , ^{125}I , ^{123}I , ^{111}In , etc. Estas sustancias se administran vía parenteral o endovenosa.

Para su detección, se emplea un cristal de centelleo, que se acopla a una serie de tubos fotomultiplicadores con el fin de transformar la señal luminosa en eléctrica. En cuanto a exploraciones "in vitro", los radionucleidos poseen un amplio campo de aplicaciones clínicas y de investigación. El radioinmunoensayo o radioinmunoanálisis (RIA, como se le tiende a llamar), es un conjunto de técnicas de gran interés en la clínica humana. Permite análisis tanto cualitativos como cuantitativos, así como la detección en sangre de hormonas peptídicas, esteroideas, drogas, antígenos tumorales, etc. Se manejan emisores beta y gamma de baja y media energía, fundamentalmente ^{125}I , ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{57}Co , etc. y cuando se trata de trabajos de investigación, la diversidad de isótopos es mucho mayor.

A diferencia de los usados en las técnicas de diagnóstico "in vitro", su periodo de semidesintegración es más largo (días e incluso años). Pero, en cualquiera de los casos, las fuentes se presentan abiertas, es decir, en forma no encapsulada, de manera que todo aquello con lo que entra en contacto, es impregnado de partículas radiactivas. El uso de material radiactivo trae consigo la producción inevitable de residuos radiactivos. La tabla 1 muestra los isótopos más empleados en medicina nuclear.

Tabla 4.3 Principales radionucleidos utilizados en medicina nuclear

Radio nucleido	$T_{1/2}$	Tipo de radiación	Aplicación
^{99m}Tc	6 horas	Gamma	Es el más empleado tanto como radionucleido y también como radiofármaco (1)
^{201}Tl	3 días	Gamma	Estudios cardíacos para la detección de angina e <u>infarto</u> de miocardio
^{131}I	8 días	beta gamma +	Diagnóstico y tratamiento tiroideo, estudios renales, marcaje de anticuerpos
^{125}I	60 días	beta fotónica +	Técnicas analíticas de radioinmunoanálisis
^{111}In	2,8 días	Gamma	Marcaje de <u>células</u> sanguíneas. Detección de inflamaciones
^{67}Ga	3,3 días	Gamma	Detección de tumores y procesos inflamatorios crónicos
^{51}Cr	28 días	Gamma	Marcaje de células sanguíneas, estudios hematológicos
^{59}Fe	45 días	Gamma	Estudio de <u>metabolismo</u> del hierro
^{90}Y	2,7 días	Beta	Tratamiento de procesos articulares
^{99}Mo	66 h	beta gamma +	Generadores de ^{99m}Tc
^{32}P	14 días	Beta	Tratamiento de procesos hematológicos
^{18}F	110 min	positrón + fotones de aniquilación	Estudios tomográficos mediante emisores de positrones (PET)

(1) Como radionucleido: gammagrafía tiroidea, estudios cerebrales, Como radiofármaco: estudios de hígado y bazo. Detección de hemorragias digestivas,. Estudios óseos, cardíacos, pulmonares, renales, de vasos linfáticos



4.2.1.3 Radioterapia

Si bien radioterapia significa, etimológicamente, tratamiento con radiaciones en su sentido más amplio, en la realidad se aplica este nombre a una especialidad médica, que se ocupa del tratamiento de determinadas enfermedades, fundamentalmente oncológicas, por medio de radiaciones ionizantes.

Desde las simples aplicaciones de una fuente de radio en la piel, de principios del siglo XX, hasta los sofisticados tratamientos que se realizan ahora, han mediado incesantes e intensas investigaciones médicas, biológicas, físicas y técnicas que permiten conocer con mucha precisión los medios de que se dispone y los resultados que se espera obtener de ellos.

La radioterapia es un procedimiento que compite en igualdad de condiciones con la quimioterapia, la cirugía y la inmunología en el tratamiento de tumores malignos; estos tienen las características siguientes:

- Son agrupaciones de células, que crecen de forma incontrolada, infiltrando y destruyendo los tejidos sanos donde se insertan.
- Pueden formar metástasis a distancia, es decir, tumores semejantes al primario en zonas alejadas de él, por desplazamiento de células tumorales a través de vía hemática y/o linfática.
- Pueden recidivar después de un tratamiento y la probabilidad de que esto ocurra depende del número de células viables o capaces de proliferar que quedan sin destruir durante el tratamiento.

Las radiaciones ionizantes destruyen las células tumorales pero también pueden destruir las células sanas donde aquéllas se asientan o las circundan. La meta de la radioterapia es llevar la máxima dosis de radiación posible a las células tumorales, con un mínimo de dosis a los tejidos circundantes. Ello requiere un conocimiento amplio de los procesos de interacción de las radiaciones con la materia viva y la respuesta de ésta a las radiaciones ionizantes, y a la vez la posibilidad de alternar distintas técnicas de irradiación, que permitan administrar la dosis con un reparto adecuado en el espacio y en el tiempo.

Clasificación de la radioterapia

Las distintas formas de hacer radioterapia se pueden agrupar de acuerdo a distintos parámetros.

a) Por la fuente de radiación empleada.

- **Equipos de radiación:** terapia de contacto RX, terapia convencional, aceleradores de electrones circulares y lineales, aceleradores de otras partículas y ciclotrones.
- **Fuentes radiactivas:** terapia superficial (^{90}Sr), curiterapia (^{226}Ra , ^{192}Ir , ^{137}Cs), telegammaterapia (^{137}Cs , ^{60}Co).

b) Por la energía de las radiaciones utilizadas:

- **Baja energía** (RX de menos de 100 kV, radioterapia superficial o de contacto),
- **Energía media** (desde 100 kV hasta 400 kV, siendo la radioterapia convencional)
- **Alta energía** (telegammaterapia de ^{60}Co y ^{137}Cs , terapia con fotones y electrones procedentes de aceleradores, terapia con haces de partículas de alta transferencia lineal de energía).

c) Por la calidad y características de las radiaciones.

- la irradiación con partículas: electrones (e⁻), protones (p), neutrones (n)
- la irradiación con haces de radiación electromagnética: fotones, gamma o rayos X.

d) Por la distancia entre la fuente y los tejidos irradiados:



- **Braquiterapia:** es la expresión sajona y su origen está en el griego *braqui* que significa próximo. También se le denomina Curiterapia, es nombre de origen francés y es un homenaje a los esposos Curie. Consiste en la inclusión de fuentes radiactivas en las cavidades, o la inserción en los tejidos, se consigue en buena medida la irradiación intensa de un volumen reducido consiguiendo minimizar la irradiación de los tejidos sanos próximos al tumor. utiliza el ^{137}Cs , el ^{60}Co y el ^{192}Ir , como fuentes radiactivas, generalmente en forma de tubos. Esta clase de terapia se emplea, fundamentalmente en tumores ginecológicos. Se aplicaba sola o en combinación con teleterapia. También se usa para otras localizaciones como fosas nasales, cavidad oral, recto, pero su uso es mucho menos frecuente.
- **Teleterapia:** Cuando los tumores que se quieren irradiar no están asequibles a las aplicaciones de braquiterapia, porque se encuentren a varios centímetros de profundidad por debajo de la piel, hay que acudir a la teleterapia, que es, por otro lado, la técnica más generalizada. La teleterapia consiste en la irradiación de un volumen de tejidos situado a una determinada profundidad por debajo de la piel, mediante la incidencia de uno o varios haces de radiación. Los volúmenes irradiados con teleterapia son, en general, mayores que los que se irradian con curiterapia. La irradiación con teleterapia cubre volúmenes que van desde unos cuantos cm^3 hasta la irradiación del cuerpo completo.

4.2.2 Aplicaciones de los radisótopos en la industria

Dentro del campo de la industria, las aplicaciones de los radisótopos son variadas y numerosas y debido a las ventajas que presentan en todos los procesos industriales, se han convertido en una importante herramienta de trabajo.

Las aplicaciones de los radisótopos en la industria se basan en la interacción de la radiación con la materia y su comportamiento en ésta, pudiendo establecerse una clasificación de dichas aplicaciones, de acuerdo con la propiedad en la que se basan, en tres grupos.

a) Acción de la materia sobre la radiación: Al penetrar la radiación a través de la materia experimenta fenómenos de absorción y dispersión. La medida de la radiación, suministra una información muy valiosa sobre el material en el que se produce la interacción de las radiaciones.

b) Acción de la radiación sobre la materia: El poder ionizante de las radiaciones altera las propiedades tanto físicas como químicas de los materiales. En este grupo de aplicaciones, se aprovechan las modificaciones que las radiaciones provocan en los materiales, sin importar lo que suceda con ellas.

c) Trazadores: El empleo de los radisótopos como trazadores se basa en la incorporación o identificación de los mismos con determinado material, para seguir el curso o comportamiento de éste mediante la detección de las radiaciones emitidas.

Otra clasificación que se establece de los radisótopos industriales es atendiendo a la presentación, encontrándonos:

a) Radisótopos no selladas: Los isótopos se pueden presentar en forma líquida, sólida, o gaseosa, contenidos en recipientes cerrados pero no sellados; ej. frascos para los sólidos o líquidos y ampollas de vidrio para los gases.

b) Fuentes radiactivas selladas: Aquí los isótopos se encuentran encerrados en cápsulas selladas de materiales resistentes. Igualmente se consideran como fuentes



radiactivas encapsuladas aquéllas en las que el material radiactivo se encuentra sólidamente incorporado en materiales sólidos inactivos, de forma que esté protegido contra toda fuga.

4.2.2.1 Aplicaciones basadas en la acción de la materia sobre la radiación

Para este grupo de aplicaciones se suelen utilizar fuentes radiactivas, casi siempre encapsuladas, de pequeña o mediana actividad. En este grupo se incluyen aplicaciones tales como:

a) Gammagrafía

La gammagrafía o radiografía industrial es una técnica que se basa en la absorción diferencial que se produce cuando la radiación gamma atraviesa objetos con defectos y como se impresiona ésta en una placa fotográfica. Es ampliamente utilizada en la inspección de soldaduras.

b) Medidas de espesores y densidades

La técnica de medida de espesores y densidades mediante la utilización de fuentes radiactivas se basa en que la intensidad o densidad del flujo de radiación que se transmite o refleja, cuando la radiación atraviesa un material, depende de la densidad del aire y espesor de dicho materia

c) Medidas de niveles

La medida y control de nivel mediante el empleo de fuentes de radiación se basa también en la absorción o retrodispersión de las radiaciones en la materia. Los procedimientos utilizados son muy variados y vienen caracterizados por las posiciones en que se coloca la fuente radiactiva y el detector. De todos los procedimientos, el más relevante quizás sea el basado en la retrodispersión de la radiación, para medidas de nivel en pozos o depósitos subterráneos. Este método no sólo encuentra aplicación práctica para medidas de nivel en líquidos, también se hace uso de él en: llenado de botellas de gas, envasado de productos, determinación del nivel de carga en altos hornos, etc. En general, este método es especialmente útil en los casos de líquidos a elevadas temperaturas, líquidos corrosivos, tanques o recipientes a presión y en todos aquellos casos donde sea imposible o indeseable la utilización de dispositivos de contacto.

c) Medidas de humedad

La determinación de la humedad mediante la utilización de fuentes radiactivas se basa en la moderación de neutrones rápidos al chocar con los átomos de hidrógeno del agua. Este método es de extendida aplicación en análisis de suelos y en construcción de carreteras. Las fuentes de neutrones más utilizadas son: $^{226}\text{Ra}/\text{Be}$ y $^{241}\text{Am}/\text{Be}$.

4.2.2.2 Aplicaciones basadas en la acción de la radiación sobre la materia

Dentro de este campo de aplicaciones puede establecerse una subdivisión:



a) Aplicaciones basadas en la acción bactericida de la radiación.

Utilizan elevadas actividades de emisores gamma. Como ejemplo de aplicación tenemos la esterilización de materiales y la conservación de alimentos. Como fuentes se utilizan equipos de rayos X de tipo industrial o bien fuentes encapsuladas emisores gamma (^{60}Co o ^{137}Cs) con actividades entre 400 TBq (1 TBq = 10^{12} Bq) y 25 PBq (1 PBq = 10^{15} Bq).

b) Aplicaciones basadas en la acción ionizante de la radiación.

Utilizan actividades muy bajas de emisores alfa y beta. Las aplicaciones son: eliminación de electricidad estática, producción de materiales luminiscentes, detectores de humo, etc. El caso específico de los sistemas para la eliminación de la electricidad estática se basa en los fenómenos de ionización que provocan las radiaciones en el medio por el que se propagan. Este método es de utilidad en aquellos casos en los que la acumulación de electricidad estática provoca grandes inconvenientes en los procesos industriales: industria textil, de materiales plásticos, de papel, vidrio, etc. Asimismo, es de utilidad en aquellas industrias en las que se utilizan grandes volúmenes de material inflamable y en aquellas en las que pueden provocarse explosiones por salto de chispa eléctrica. En este caso se utilizan emisores alfa y beta: ^3H , ^{85}Kr , ^{90}Sr y ^{241}Am

Tabla 4.4 Isótopos más utilizados para la medición de espesores y densidades

Radionucleido	$T_{1/2}$	Tipo radiación	Material a controlar (grosor y densidad)
^{14}C	5730 años	Beta	Plásticos delgados
^{63}Ni	100 años	Beta	
^{85}Kr	10,73 años	Beta	Papel y plásticos
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	29 años	Beta	Papel grueso, cintas y láminas de aluminio y de cobre
^{133}Ba	10,4 años	Gamma	Láminas de aluminio y cobre
^{60}Co	5,4 años	Gamma	Para materiales densos
^{137}Cs	30,1	Gamma	

Producción de materiales luminiscentes

Se basan en la propiedad de las partículas alfa y electrones de producir fenómenos de luminiscencia en algunos materiales. Los productos luminiscentes así obtenidos son de utilidad para señalización de aviones, barcos, ferrocarril, etc. Se utilizan emisores de partículas alfa o beta: ^3H , ^{85}Kr , ^{90}Sr , etc.

Detectores de humo

El método de detección consiste en colocar en el interior de una cámara de un detector de radiación, un emisor alfa o beta, que dé lugar a una corriente de ionización constante. La presencia de humo en la cámara provoca una disminución de la corriente de ionización, que se puede detectar con un aparato de medida adecuado. La fuente radiactiva más utilizada es ^{241}Am .



4.2.2.3 Aplicaciones basadas en el empleo como trazadores

La técnica consiste en incorporar radioisótopos no sellados a un material para seguir y estudiar el curso o comportamiento de éste, mediante la detección de las radiaciones. Para ello se pueden seguir dos métodos generales:

- **Método físico:** 1) El material radiactivo se incorpora al sistema; 2) se convierte en radiactivo el propio sistema. En ambos casos no hay reacción química entre el radionucleido y el sistema que se investiga.
- **Método químico:** el material radiactivo se incorpora al sistema mediante reacción química con éste.

Las posibilidades de aplicación son prácticamente ilimitadas:

- **Transporte de fluidos:** Ampliamente utilizado en la medida de caudales, tiempo de resistencia, modelos de circulación, control de transporte en oleoductos.
- **Estudios de desgaste y fricción:** Los estudios sobre desgaste de componentes y piezas metálicas de máquinas tales como: segmentos de pistones, álabes de turbogeneradores, palieres. También son utilizados para el estudio del comportamiento de lubricantes.
- **Investigación de procesos químicos:** Poderoso medio para el estudio de la cinética y de los mecanismos de las reacciones químicas.
- **Contaminación ambiental:** El marcado radiactivo es de gran utilidad a la hora de estudiar la dispersión de determinados contaminantes en la atmósfera y medio acuático.
- Detección y localización de fugas en tuberías y depósitos.
- **Control de homogeneidad de mezclas**, etc.

Existen muchos otros usos:

- **Reactores de Investigación:** se utilizan para exploraciones minerales, producción de radioisótopos, radiografía neutronica, estudios ambientales, biología médica, etc.
- **En la ganadería:** para la reproducción animal, por medio de radioinmunoanálisis, se miden niveles de hormonas (progesterona).
- **En agricultura:** para el mejoramiento genético de los cereales (arroz, frijoles, etc.) por tratamientos mutagénicos (se usa Irradiación)
- **Exploraciones geotérmicas:** utilización de isótopos "ambientales" que ayudaran a la obtención de datos como: la temperatura, proceso a que esta sometido el fluido geotermico, etc.
- **Técnicas isotópicas en hidrología**
- **Lucha contra insectos y plagas.**



4.3 RIESGOS RELACIONADOS CON EL USO DE LAS FUENTES Y SU PERCEPCIÓN

A los efectos de la protección radiológica se asume como riesgo la probabilidad de que un individuo expuesto o su descendencia sufra un efecto dañino para la salud. Como vemos, en la definición de riesgo se conjugan dos conceptos: la probabilidad de un evento y sus consecuencias. Definido así, como un conjunto de probabilidades y consecuencias, su aceptabilidad o no dependerá del beneficio asociado a la situación que lo origina. La exposición a las radiaciones ionizantes, al igual que cualquier otra actividad humana, trae aparejado un nivel de riesgo, similar al que en la vida moderna hay que aceptar para gozar de sus beneficios y es un hecho que el uso de las radiaciones en la medicina, la industria, la agricultura y la investigación es uno de los mayores beneficios recibidos por la humanidad derivados del descubrimiento de la radiactividad y la energía nuclear. Sin embargo, su aceptabilidad no se valora igualmente por los especialistas y por el público. En esto inciden diferentes factores emocionales y cognoscitivos relacionados con la historia de su desarrollo, los accidentes ocurridos en los últimos años y la divulgación sensacionalista que de ellos se ha hecho, la relación más o menos directa de unos u otros con el tema de los beneficios y riesgos, la credibilidad de los juicios y decisiones y por supuesto del nivel de información sobre si el causante del riesgo puede o no ser controlado.

En condiciones normales de operación, ha sido demostrado que aplicando un programa efectivo de protección radiológica se logra una utilización segura. Las dosis de radiación que se reciben y que son aceptadas por la protección radiológica no son suficientes para producir efectos determinísticos y son lo suficientemente bajas como para que de ellas solo se puedan esperar efectos estocásticos. Los simples datos que se muestran a continuación nos pueden servir para comparar los niveles de dosis de los que estamos hablando:

la radiación terrestre aporta una dosis promedio a cualquier persona de:	480 $\mu\text{Sv/año}$
el potasio presente en el cuerpo humano representa una dosis:	170 $\mu\text{Sv/año}$
un vuelo intercontinental representa para una persona recibir:	40 μSv
los rayos X de uso médico aportan una dosis promedio a una persona de:	400 $\mu\text{Sv/año}$
habitar a 13 km de una central nuclear significa recibir:	0,2 $\mu\text{Sv/año}$
producto de la radiación natural, el hombre recibe como promedio:	2,4 mSv/año

Datos similares se representan en la Figura 4.3. Como se puede apreciar, la exposición médica es la mayor contribuyente de la exposición artificial aunque no llega a alcanzar la mitad de la dosis producto de la contribución natural (Radón, terrestre, cósmica e interna). Se espera que la contribución por exposiciones médicas tenga una tendencia al crecimiento debido a la mayor difusión en el uso y disponibilidad de los servicios médicos en el mundo, así como que la dosis producto de los ensayos nucleares en la atmósfera (fallout) vaya disminuyendo debido a que este tipo de ensayo ya no se realiza. En este caso la dosis actual se debe a niveles residuales de radionucleidos de $T_{1/2}$ largos que aún están presentes (fundamentalmente C^{14} , Sr^{90} y Cs^{137}).

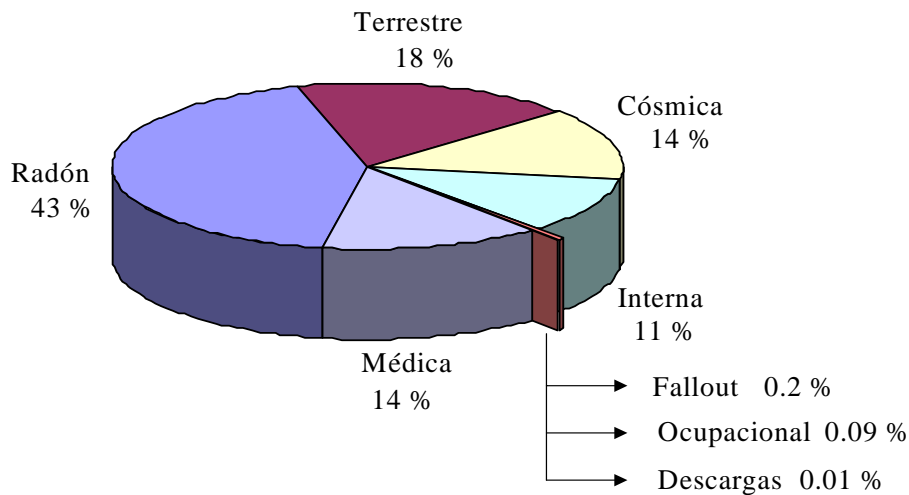


Figura 4.2 . Distribución de la dosis promedio de la población mundial.

En condiciones normales, si juzgamos la dosis por sus consecuencias es evidente que siendo ésta muy pequeña, el riesgo será también muy pequeño.

Si tenemos en cuenta el coeficiente de riesgo asumido por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) que es de 5 % de muertes atribuibles por cáncer para miembros del público por cada Sv [2], se obtendrá que para valores de dosis del orden de fracciones de la recibida por las fuentes naturales de radiación, el riesgo es del orden de 10^{-5} . Para una mejor comprensión, esto significa que, por ejemplo, para una población de 100 000 habitantes expuestos a una dosis promedio de 1 mSv, existe un riesgo de que 5 de ellos mueran debido a cáncer mortal atribuible a la dosis recibida. Lo dicho no es válido cuando tienen lugar los accidentes.

Ahora bien, es un hecho que la mayoría de la población e incluso algunos de los que trabajan con las fuentes, desconocen las ventajas de su aplicación, y sin embargo, admiten sufrir un miedo irracional a la radiación debido, sobre todo, a los problemas derivados de los accidentes. Este hecho evidencia que cualquier noticia acerca de un incidente con material radiactivo, por insignificante que sea, puede generar pánico si no se brinda suficiente información clara y precisa acerca de lo ocurrido y sus consecuencias.

Existe una gran ignorancia en el tema de las radiaciones ionizantes y lo que es peor, se difunden continuamente conceptos erróneos. Por ejemplo, muchas personas creen que irradiación es el tratamiento por radiación, que ocurre una “contaminación” cuando se ha dañado el blindaje de una fuente sellada, que los rayos X “contaminan” y que los alimentos irradiados para su preservación emiten luz por la noche. Es muy común escuchar que el trabajo con radiaciones produce “impotencia” en los hombres.

Por otra parte, la reacción del público es distinta dependiendo del tipo de aplicación de que se trate. Cuando se habla de radiodiagnóstico o de radioterapia, e incluso del diagnóstico con radiofármacos, no se piensa mucho en los riesgos. Sobre las aplicaciones industriales, agrícolas y de investigación la mayoría no tiene adecuado conocimiento, pero se sabe que es algo “peligroso”. Naturalmente, si se suma que no hay certeza de que las fuentes están siendo correctamente manipuladas o existen dudas con respecto a la seguridad de los locales donde éstas se guardan o se utilizan, la reacción es desfavorable. En relación con la energética nuclear y



fundamentalmente con los desechos “nucleares”, la percepción del riesgo por el público es negativa. Las causas: el temor fundamentado que persiste al arma nuclear, la propaganda desencadenada cuando el accidente de Chernobil y la cantidad de información distorsionada que se divulga sobre manifestaciones contrarias a un emplazamiento nuevo o a una transportación de combustible o de desechos radiactivos.

Para el público el riesgo es sinónimo de algo difuso, incomprensible que trae aparejada la posibilidad de que algo malo puede ocurrir. Usualmente el riesgo se asocia a la disposición de ánimo ante la situación que lo origina, de ahí que resulte tan importante divulgar oportunamente y claramente sobre los accidentes, sus consecuencias y sobre todo, del conjunto de medidas que se adoptan para su prevención.



CAPITULO V

PRACTICAS E INTERVENCION. TIPOS DE EXPOSICIONES

Las acciones humanas relacionadas con la exposición de las personas a las radiaciones ionizantes se clasifican en dos tipos y según sus objetivos se definen como:

- **prácticas:** aquellas que al introducir fuentes de exposición o vías de exposición adicionales o extender la exposición a más personas o modificar el conjunto de vías de exposición debidas a las fuentes existentes provocan un incremento en la exposición o en la probabilidad de exposición, o en el número de personas expuestas. Entre ellas están: el uso de las radiaciones ionizantes o las sustancias radiactivas con fines médicos, de investigación, industriales, agrícolas, educativos y de capacitación, así como la generación de electricidad a partir de la energía nuclear, incluida cualquier actividad del ciclo del combustible nuclear.
- **intervención:** aquellas destinadas a reducir el nivel de exposición existente o la probabilidad de exposición a fuentes que no formen parte de una práctica controlada o que se hallen sin control a causa de un accidente. Pueden ser: recuperar el control sobre una fuente, modificar las vías de exposición o reducir el número de personas expuestas. La intervención se lleva a cabo, por ejemplo, para proteger al público cuando ha tenido lugar un incidente o accidente vinculado con alguna fuente, para localizar y recuperar una fuente perdida, para proteger a los trabajadores involucrados en un hecho con una fuente en su puesto de trabajo, para incrementar la excreción cuando ha tenido lugar la incorporación de sustancias radiactivas al organismo y para disminuir la exposición de trabajadores o público debida a la elevada concentración de fuentes naturales o artificiales por contaminaciones pasadas, etcétera.

En relación con las prácticas, los objetivos de la seguridad radiológica se logran cuando:

- El riesgo individual se reduce, independientemente de dónde o cuándo ocurra la exposición, *manteniendo las dosis por debajo de límites especificados.*
- La contribución de la fuente al riesgo individual se limita *restringiendo las dosis debidas a las exposiciones reales y potenciales a un mínimo razonable, reduciendo el número de personas expuestas, y aplicando requisitos administrativos, técnicos, de gestión y de verificación.*

En relación con la intervención, los objetivos se logran cuando:

- En cualquier circunstancia previsible *las dosis individuales se mantienen por debajo de los umbrales de efectos deterministas.*
- *Las dosis resultantes son las más bajas que razonablemente se puedan alcanzar en las circunstancias imperantes.*

En las prácticas, las medidas de seguridad y protección radiológica se aplican a dos tipos de situaciones de exposición, las que se definen según su probabilidad de ocurrencia, como:

- **Normales,** aquellas que se prevé se recibirán en las condiciones normales de funcionamiento de una instalación o una fuente, incluso en el caso de pequeños percances posibles que puedan mantenerse bajo control.



- **Potenciales**, aquellas de cuya ocurrencia no se tiene una certeza absoluta, pero que pueden ser resultado de un suceso o de un conjunto de sucesos de carácter probabilista.

Las medidas que se aplican para restringir la exposición de las personas en las **situaciones normales**, se concretan en **acciones dirigidas a la fuente, al individuo o al ambiente y su finalidad es reducir la Dosis Efectiva**. Debido a que las medidas dirigidas al individuo y al ambiente siempre tienen implicaciones sociales y son las menos deseables, es preferible agotar las medidas dirigidas a reducir la contribución de la fuente. Las medidas aplicables para restringir las **exposiciones potenciales** son preventivas y su finalidad es **reducir el riesgo de ocurrencia** de tales exposiciones.

En ambas situaciones, normales y potenciales, en dependencia de la persona expuesta, se distinguen tres tipos de exposición:

- **Ocupacional**, es la exposición recibida durante el trabajo, con excepción de las exposiciones excluidas del ámbito de las NBIS³ y aquellas causadas por prácticas o fuentes exentas. Además de las situaciones bien conocidas de exposición ocupacional, como pueden ser las relacionadas con el empleo de fuentes de radiación en la industria, la medicina e investigaciones, la exposición ocupacional incluye también: la conservación y operación de sustancias que normalmente no son radiactivas pero que contienen trazas significativas; la operación de aeronaves supersónicas y los vuelos espaciales.
- **Médica**, es aquella sufrida por los pacientes en el curso de su propio diagnóstico o tratamiento, o por personas que no están expuestas profesionalmente mientras ayudan voluntariamente a procurar alivio y bienestar a pacientes; también incluye la sufrida por voluntarios en el curso de un programa de investigación biomédica que implique su exposición.
- **Del Público**, es la exposición sufrida por miembros del público a causa de fuentes de radiación, excluidas cualquier exposición ocupacional o médica y la exposición a la radiación natural de fondo normal en la zona, pero incluida la exposición debida a las fuentes y prácticas autorizadas y a las situaciones de intervención. Causas de esta exposición pudieran ser: el vertido de desechos radiactivos y las expulsiones de sustancias radiactivas al ambiente, el transporte de material radiactivo, los productos de consumo con contenido de radiactividad y el incremento de los niveles naturales de radiación causados por acciones tecnológicas diversas.

Tabla 4.2 Clasificación de las exposiciones.

Según la posición relativa fuente – persona	Práctica		Intervención
	Tipos de exposición		Tipos de exposición
	Según la probabilidad de ocurrencia	Según la persona expuesta	Según la intensidad y duración de la exposición
EXTERNA INTERNA	NORMALES POTENCIALES	OCUPACIONAL MÉDICA PÚBLICO	EMERGENCIA CRÓNICA

³ Se consideran excluidas del ámbito de las NBIS las exposiciones cuya magnitud o probabilidad no sean susceptibles de control, por ejemplo: la exposición debida al ⁴⁰K presente en el organismo, a la radiación cósmica en la superficie terrestre o a la concentración no modificada de los radionucleidos presentes en la mayor parte de las materias primas.



CAPITULO VI

MÉTODOS DE MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN

Los métodos de medición de las radiaciones ionizantes se fundamentan en la detección de los efectos y partículas secundarias surgidos durante los procesos de ionización y excitación del medio al paso de las radiaciones. Existen diferentes métodos de detección de las radiaciones ionizantes: de ionización gaseosa, de centelleo, por semiconductores, filmico y termoluminiscente, entre otros. Los detectores de radiación son dispositivos en los que se genera una señal que puede ser analizada y basan su funcionamiento en los métodos antes señalados, siendo los más empleados: los detectores gaseosos (cámaras de ionización, detectores proporcionales, contadores Geiger-Müller), los contadores de centelleo, detectores semiconductores, las películas fotográficas y los detectores termoluminiscentes (TLD). Un detector o sistema de detección se denomina **dosímetro** cuando es calibrado en alguna magnitud dosimétrica, o sea, cuando su respuesta o indicación se hace corresponder con el valor numérico de la magnitud en cuestión.

Los detectores gaseosos basan su principio de funcionamiento en el registro de las cargas eléctricas producidas en un gas (por ejemplo: aire, xenón, argón, etc.) al paso de las radiaciones ionizantes. Esencialmente, dicha colección de cargas eléctricas se realiza mediante la aplicación de una diferencia de voltaje (campo eléctrico) entre dos electrodos insertados en el volumen del gas.

En la Figura 6.1 se observa, en la zona 1 de las curvas representadas, el crecimiento del tamaño del impulso con la tensión, fenómeno fácilmente explicable teniendo en cuenta la acción de dos efectos antagónicos. Por una parte, los iones y electrones formados tienden a recombinarse, y por otra, el campo eléctrico tiende al arrastre de estos portadores. El predominio paulatinamente creciente de este último efecto tiene como consecuencia el crecimiento observado de ambas curvas, hasta llegar a la zona 2 donde se observa un efecto de saturación, derivado de la total captación de los portadores de carga creados en la ionización primaria por la partícula incidente. El tramo de la curva correspondiente a esta saturación de captación, (zona 2), recibe el nombre de zona de la **cámara de ionización**.

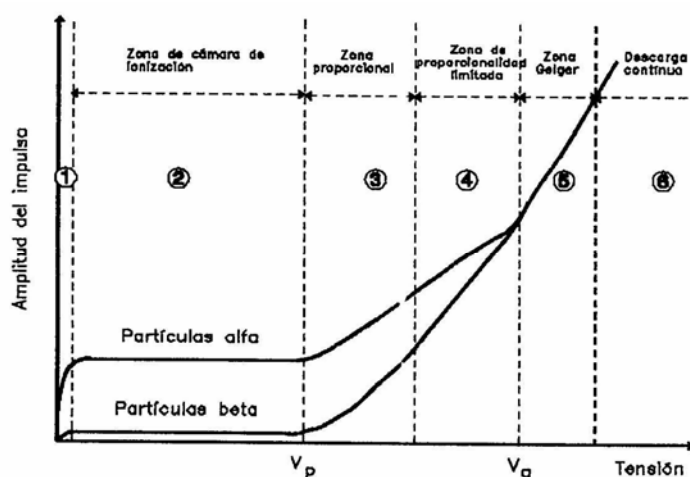


Figura 6.1. Variación de la amplitud de impulso con la tensión aplicada a un detector de ionización gaseosa. Se ha considerado que las partículas alfa se absorben completamente en el gas, mientras que las partículas beta sólo pierden una parte de su energía.



Las cámaras de ionización son uno de los tipos de detectores gaseosos y entre sus aplicaciones se encuentran:

- Medidores de actividad para cuantificar la cantidad de material radiactivo que se suministra a los pacientes en medicina nuclear. Los equipos comerciales de este tipo están calibrados para diferentes radionucleidos.
- Equipos para las mediciones de la tasa de dosis durante el control dosimétrico de área y la evaluación de blindajes. Estos equipos pueden ser capaces de detectar, además de la radiación gamma, la radiación X de baja energía y la radiación beta. Para este último fin están provistos de una ventana fina que facilita la entrada de las radiaciones poco penetrantes.
- Dosímetros personales tipo condensador empleados para el control individual. Estos detectores son condensadores que se cargan eléctricamente antes de su empleo y debido a la ionización del gas interno por la acción de las radiaciones se va descargando. La magnitud de la descarga es un indicador de la dosis de radiación recibida.

Si aumenta el potencial eléctrico por encima de V_p (Figura 5.1), se observa de nuevo que ambas curvas comienzan a crecer (zona 3), manteniendo, como en la cámara de ionización, un curso paralelo. Tal hecho, en apariencia paradójica, es debido a que en esta zona los portadores eléctricos adquieren tal energía que producen ionización secundaria en su choque con moléculas del gas. Por ser el tamaño del impulso proporcional a la energía disipada por la partícula en el detector, se dice que en este tramo de curva el sistema trabaja en la **zona proporcional**.

La zona 4 se caracteriza, al igual que la 3, porque el tamaño del impulso sigue aumentando con la tensión de polarización. Sin embargo, el crecimiento deja de ser lineal, pues la intensa ionización generada produce una carga espacial⁴ que causa una disminución local del campo eléctrico, con el resultado de que ambas curvas presentan trayectorias convergentes; de aquí el nombre de **proporcionalidad limitada** con el que se conoce a esta zona.

En los contadores proporcionales, la proporcionalidad de la amplitud de los impulsos eléctricos con la energía de la radiación incidente hace que la dependencia energética de su respuesta sea muy favorable desde el punto de vista dosimétrico. Se emplean fundamentalmente para la detección de la radiación gamma, X, beta y neutrones.

Por encima del potencial de polarización V_g (ver Figura 5.1), se encuentra la **zona Geiger**, (zona 5), en la que la descarga ocasionada por la partícula ionizante se extiende a todo el volumen del contador, y por ello, el impulso originado posee una amplitud independiente de la energía y naturaleza de la partícula.

En los contadores Geiger-Müller la gran intensidad del campo eléctrico aplicado entre sus electrodos, provoca la amplificación de los impulsos eléctricos en el propio detector. Los costos de estos equipos son relativamente bajos y encuentran diversas aplicaciones: medidores de contaminación superficial, alarmas gamma, equipos medidores de tasas de dosis, etc.

⁴ Con el aumento de la diferencia de potencial aumenta la formación de iones. Los iones positivos, con mayor masa y menor velocidad que los electrones, se acumulan provocando disturbios y modificaciones del campo eléctrico. Esto provoca la aparición de efectos no lineales limitando la proporcionalidad entre la energía del suceso que interacciona y el tamaño del impulso producido.



Finalmente, la entrada en la zona 6 (Figura 10) supone que el detector alcanza la **zona de descarga continua**, en la que el dispositivo puede dañarse irreversiblemente si se mantiene en operación un cierto tiempo.

Entre los detectores sólidos más comúnmente empleados, se encuentran los detectores de centelleo. Estos basan su funcionamiento en el registro de la luz fluorescente emitida por ciertos materiales al recibir la acción de las radiaciones ionizantes. El material centelleante se acopla óptimamente a un tubo fotomultiplicador para la transformación de la señal lumínica en impulsos eléctricos (en virtud del efecto fotoeléctrico) y posterior amplificación. El cristal centelleante y el tubo fotomultiplicador conforman el sistema de detección o sonda, que se acopla a la electrónica necesaria para la selección y cuantificación de los impulsos. Los detectores de centelleo con finos cristales o con delgadas capas centelleantes se destinan para las mediciones de las radiaciones beta o alfa respectivamente. Las características fundamentales de los detectores de centelleo son las siguientes:

- Elevada velocidad de respuesta, elemento muy útil cuando hay que medir tasas de conteo altas.
- Buena linealidad en energías. Como la luz producida es función de la energía entregada por la radiación y el fotomultiplicador es también un dispositivo lineal, su combinación da lugar a un detector de respuesta lineal a energías.
- Mejor sensibilidad a la radiación gamma que los detectores gaseosos debido a la mayor densidad del material centelleante.

Para la vigilancia radiológica individual se utilizan los llamados dosímetros personales. Hay varios tipos, clasificados principalmente por el tipo de detector que usan. Entre ellos podemos encontrar, por ejemplo, los dosímetros de película fotográfica (fílmicos) y los de termo luminiscencia (TL), utilizados en el control dosimétrico rutinario, cuya lectura se efectúa al cabo de un cierto tiempo de uso (normalmente un mes), por lo cual la señal obtenida es la acumulada durante ese período. Por esta razón este tipo de detectores son también llamados dosímetros integrales. Por otro lado, están los dosímetros operacionales de lectura directa que se utilizan en operaciones especiales, como por ejemplo, los dosímetros digitales y los de ionización.

La dosimetría fílmica basa su principio de funcionamiento en la acción que sobre las películas fotográficas ejerce el paso de las radiaciones ionizantes. La película se coloca en una envoltura especial para impedir su velado por la luz natural y después se coloca dentro de una cubierta plástica especialmente diseñada con un sistema de filtros contruidos de diferentes materiales y cuyos objetivos son:

- a) facilitar la homogeneidad de la respuesta del detector para diferentes energías de las radiaciones;
- b) discriminar los diferentes tipos de radiaciones incidentes y sus energías;
- c) detectar la dirección de incidencia de las radiaciones.

Bajo la acción de las radiaciones se ioniza la sal de Bromuro (o cloruro) de plata (AgBr) contenida en la película fotográfica, produciendo iones Ag^+ y Br^- . En la medida que aumente la dosis de radiación absorbida aumentará la producción de iones. Durante el proceso de revelado se reducen los iones de Ag^+ a Ag (metálica) de color negro. Mientras mayor sea el ennegrecimiento de la película revelada mayor será la dosis absorbida por el detector. Los dosímetros fílmicos no se emplean para cuantificar las dosis de radiaciones alfa o beta de baja energía pues éstas no pueden atravesar el papel especial que protege la película de la luz.



Una característica ventajosa de la dosimetría filmica es que, una vez procesada la película fotográfica, se puede disponer de la imagen obtenida en ella como constancia física durante un largo período de tiempo, aunque debe prestarse atención a la ejecución adecuada del proceso de fijación y vigilarse las condiciones de conservación pues se produce una pérdida de la información (hasta el 70 %) en condiciones de humedad superiores al 80 %.

La dosimetría termoluminiscente (TL) se basa en la propiedad que presentan numerosos materiales sólidos de almacenar la energía impartida por las radiaciones ionizantes y emitirla en forma de luz al ser calentados. Este almacenamiento de energía se manifiesta en estos materiales mediante la creación de pares electrón – hueco que quedan atrapados en imperfecciones de la red cristalina, en estados más o menos estables, impidiendo su recombinación inmediata. Al calentar el material se liberan los portadores de carga atrapados, produciendo su recombinación que se acompaña con la emisión de luz. La cantidad de luz emitida por los detectores TL al ser calentados a temperaturas en el intervalo de 220°C a 300°C es proporcional a la dosis de radiación que absorbieron. El material TL más empleado en la dosimetría personal es el Fluoruro de Litio (LiF) al cual se le añaden pequeñas cantidades de talio, magnesio o titanio (llamadas impurezas) con la intención de crear una alta densidad de centros de captura o trampas en la zona prohibida entre las bandas de valencia y conducción, que pueden retener según su clase, selectivamente huecos o electrones. Una característica importante a efectos de la presente aplicación, es la llamada profundidad de las trampas, expresada como la fuerza que mantiene retenidos a los portadores capturados. En general, un cristal posee un sistema complejo de trampas a distintas profundidades. Estos detectores pueden estar en forma de pastillas compactas o en forma de polvo. Cada dosímetro TL puede emplearse varias veces, pues una vez calentados por encima de determinadas temperaturas, recuperan su estado inicial y quedan listos para nuevas aplicaciones.

En relación con los dosímetros fílmicos, los TL son más sensibles (menor umbral de detección), pueden reutilizarse un elevado número de veces sin afectar las características del material y su dependencia energética es mucho mejor. Estos y otros factores hace que los detectores fílmicos hayan sido sustituidos en gran parte del mundo por los TL en aplicaciones de dosimetría personal. Como desventaja fundamental se tiene que durante el proceso de lectura, el calentamiento del material hace que su estructura regrese al estado inicial y por tanto no es posible conservar físicamente la información suministrada. Esta aparente desventaja ha sido de alguna forma contrarrestada con el empleo de medios y métodos informáticos que permiten almacenar toda la información de la medición realizada y el análisis pormenorizado de la misma.

Existen actualmente en el mercado dosímetros digitales de pequeño tamaño, que al alcanzar un valor prefijado de la dosis emiten una señal acústica. Normalmente van provistos de un contador Geiger o de un detector de semiconductor (diodos de Silicio), y proporcionan en todo momento el valor de la dosis acumulada desde su puesta a cero en un sistema de lectura digital, así como la tasa de dosis. Algunos de estos dosímetros presentan el inconveniente de ser excesivamente frágiles, siendo en ocasiones sensibles a choques y a la humedad. Por otra parte, el nivel sonoro de la señal de alarma en ocasiones resulta insuficiente para ser oído por encima del nivel de ruido existente en la operación o molesto para el operador.

Los llamados dosímetros de lapicero consisten en una pequeña cámara de ionización sensible a la radiación X o gamma, un electrómetro de fibra de cuarzo para



medir la carga de un condensador, montado sobre un aislante de alta calidad, y un microscopio, para leer la imagen de la fibra proyectada sobre la escala (retículo).

Otros métodos de medición de las radiaciones son los siguientes:

Químicos: Consisten en evaluar el cambio de propiedades de un medio determinado como resultado de los procesos químicos que ocurren en el mismo luego de la interacción de la radiación ionizante. Por ejemplo, el estudio de algunas propiedades ópticas proporciona cierta información sobre la dosis recibida. El método tiene escasa sensibilidad.

De trazas: Consiste en la medición de las huellas o pistas dejadas por la radiación (generalmente partículas cargadas pesadas) en su trayectoria sobre una emulsión preparada con ese fin. Permite obtener información sobre el número de partículas incidentes y la energía depositada por ellas.



CAPITULO VII

CALCULO DE DOSIS EN LA IRRADIACION EXTERNA

7.1 INTRODUCCION

La dosimetría de las radiaciones ionizantes se ocupa de la determinación, ya sea por medición o por cálculo, de la dosis absorbida resultante de la interacción de la radiación ionizante con la materia. En general se determina la dosis absorbida, y a partir de ella las otras magnitudes de interés tales como el kerma, la fluencia, la dosis equivalente, etc.

Las radiaciones ionizantes están caracterizadas por su capacidad para excitar e ionizar los átomos de la materia con la que interactúan. Algunos de los tipos de radiaciones ionizantes de interés en dosimetría que se pueden enumerar son,

- *Radiación gamma*
- *Radiación X*
 - de baja energía: 0.1-20kV
 - de diagnóstico 20-120kV
 - ortovoltage 120-300kV
 - intermedios 300kV-1MV
 - megavoltage 1MV en adelante
- *Electrones rápidos*
- *Neutrones*
 - térmicos
 - intermedios
 - rápidos
- *Partículas cargadas pesadas*
 - protón (núcleo de hidrógeno),
 - deuterio; partícula alfa (núcleo de helio),
 - piones, etc.

En el cálculo de la dosis absorbida en un medio, es necesario caracterizar:

- * **el campo de radiación**, en cuanto a los tipos de partícula que lo constituyen, la distribución espectral y geométrica, la intensidad, etc. Un campo de radiación se puede definir conociendo, la fluencia de partículas, $\phi(E, r, \Omega, t)$; la fluencia de energía, $\psi(E, r, \Omega, t)$; la tasa de dosis $D(E, r, \Omega, t)$, donde E , r y Ω representan la energía y la distribución espacial del campo, y t su evolución temporal.
- * **el medio material**, con respecto a su características físicas, su geometría, su comportamiento respecto a la radiación ionizante (coeficientes de absorción másico en energía, etc.)
- * **las magnitudes dosimétricas buscadas**, dosis absorbida media, dosis equivalente personal, etc.

Para luego resolver la siguiente expresión



$$D = k \int C(E, r, \omega) I(E, r, \omega) dE dr d\omega \quad (1)$$

donde,

- D cualquier magnitud dosimétrica
 $C(E, r, \omega)$, representa una magnitud que describe el campo de radiación, con una definida distribución energética y espacial
 $I(E, r, \omega)$ representa una magnitud de interacción que describe el proceso existente entre el campo de radiación y el medio material
 K constante de normalización de unidades

La integral (1) se resuelve sobre todo el espectro de energías y para toda posición y orientación en el espacio. La resolución de la misma presenta dificultades a nivel analítico, por lo que es de utilidad realizar un conjunto de simplificaciones que son válidas en el campo de aplicación de la protección radiológica. Las más importantes son:

- la distribución de partículas en la fuente es uniforme en la geometría de la misma.
- no se consideran los efectos de autoabsorción y blindaje de la fuente
- se desprecian los efectos de atenuación
- se desprecia la perturbación introducida por el observador.

En el caso de ser necesario considerar dichos factores, los mismos se introducen como factores de corrección.

La magnitud más simple para describir un campo de radiación en un punto es la fluencia de energía, Ψ . Como se ha definido en capítulos anteriores, la misma está relacionada con la energía R del campo de radiación (de la que se excluye la energía de las masas en reposo), de la siguiente manera,

$$\Psi = \frac{dR}{da} \quad (2)$$

donde, da es el área de una esfera infinitesimal centrada en el punto de cálculo, por la que atraviesan N partículas que transportan la energía R del campo. La unidad es, $J m^{-2}$.

En el caso especial de una fuente monoenergética, es decir que todas las partículas transportan la misma energía E , la energía radiante se expresa,

$$R = E N \quad (3)$$

y la fluencia de energía resulta,

$$\Psi = E \frac{dN}{da} = E \Phi \quad (4)$$

donde Φ es la fluencia de partículas a través de la superficie da ; su unidad es m^{-2} .

La configuración geométrica del campo de radiación en su forma más simple, es establecida por una fuente puntual que emite partículas en forma isotrópica. El valor



de la fluencia en este caso se obtiene dividiendo la intensidad de la fuente por la superficie de una esfera cuyo radio es la distancia entre la fuente puntual y el punto de interés,

$$\Phi = \frac{N}{4\pi r^2} \quad (5)$$

La relación entre los valores de la fluencia producidos por la misma fuente puntual en dos puntos del espacio a las distancias r_1 y r_2 de la fuente, se rigen por la **ley de la inversa del cuadrado de la distancia**, según se deduce a continuación. Las fluencias a r_1 y r_2 de la fuente serán las siguientes,

$$\Phi_1 = \frac{dN}{Area_1} = \frac{dN}{4\pi r_1^2}$$

$$\Phi_2 = \frac{dN}{Area_2} = \frac{dN}{4\pi r_2^2}$$

dado que dN es la misma, resulta que

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad \text{ley de la inversa del cuadrado de la distancia} \quad (6)$$

Por otro lado, si existe interpuesto un medio absorbente entre la fuente y el punto de interés, el valor de la fluencia se obtiene a partir de:

$$\Phi = \frac{N}{4\pi r^2} e^{-\mu x} \quad (7)$$

donde μ es el coeficiente de atenuación lineal del medio y x el espesor del mismo. En el caso de considerar varios medios, es válido el principio de superposición, y la expresión anterior resulta,

$$\Phi = \frac{N}{4\pi r^2} e^{-\sum \mu_i x_i} \quad (8)$$

donde μ_i y x_i son el coeficiente de atenuación y el espesor respectivamente del medio i .

La magnitud dosimétrica kerma, K , en un punto de interés P, expresa la energía transferida al medio por unidad de masa del elemento de volumen centrado en P. Para un haz monoenergético de energía E , el kerma está relacionado con la fluencia de energía, de la siguiente forma,

$$K = \Psi \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_{E,Z} \quad (9)$$

donde,

μ_{tr}/ρ coeficiente másico de transferencia de energía para la energía E en el medio Z



Esta expresión es válida para partículas no cargadas (fotones y neutrones). La expresión correspondiente a campos polienergéticas será tratada en forma separada mas adelante para neutrones y fotones.

En el caso de existir equilibrio electrónico de las partículas secundarias cargadas y breemstrahlung despreciable, la expresión (9) es igual a la dosis absorbida, es decir

$$D = \Psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Z} \quad (10)$$

donde,
 μ_{en} / ρ es el coeficiente másico de absorción en energía para la energía E en el medio Z

7.2 CALCULO DEL FLUJO PARA FUENTES EXTENSAS

7.2.1 Fuente lineal

Se considera el caso de una fuente lineal de longitud L e intensidad s_L (actividad por unidad de longitud en $Bq.m^{-1}$).

Se pueden dar tres situaciones, según la ubicación del punto de cálculo P respecto a la fuente:

- la proyección del punto P intersecta a la fuente
- la proyección del punto P intersecta a la recta que contiene a la fuente
- el punto P se encuentra alineado con la fuente a una distancia l_0 del extremo más cercano.

A continuación se presenta el esquema para dichos casos:

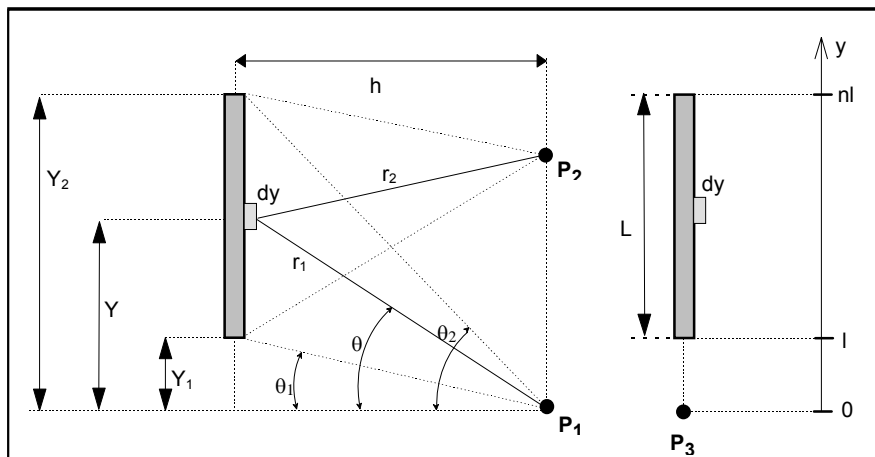


Figura 7.1: situaciones para una fuente puntual

Para los puntos P_1 y P_2 resulta:



$$r = h \sec(\theta)$$

$$y = h \tan(\theta)$$

$$dy = h \sec^2(\theta) d\theta$$

$$\Phi = \frac{S_L}{4\pi} \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{r^2}$$

E integrando se obtiene el flujo para dichos puntos:

$$\Phi_1 = \frac{S_L}{4\pi h} (|\Phi_2| + |\Phi_1|)$$

$$\Phi_2 = \frac{S_L}{4\pi h} (|\Phi_2| - |\Phi_1|)$$

El cálculo del flujo para el punto P₃ es:

$$\Phi_3 = \frac{S_L}{4\pi} \int_l^{nl} \frac{dy}{y^2} = \frac{S_L}{4\pi nl} (n - 1)$$

(11)

siendo la longitud de la fuente L = l(n-1)

7.2.2 Fuente plana, disco de radio r₀

Se considera una fuente plana circular de radio r₀ y con una actividad por unidad de área s_A.

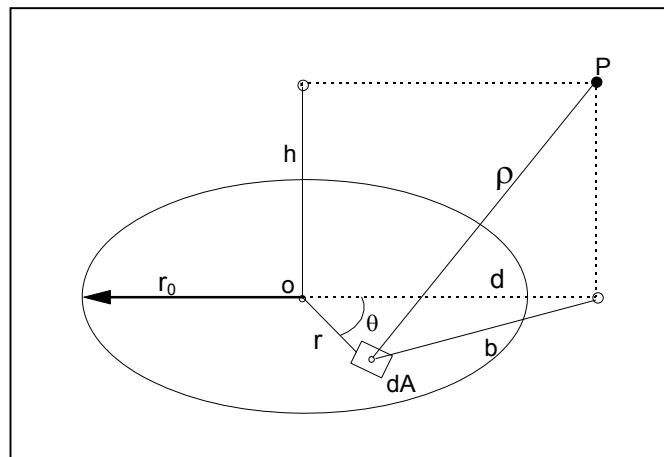


Figura 7.2: Fuente plana circular de radio r₀

El diferencial de fluencia en P producido por un deferencia de área dA, es:



$$d\Phi = \frac{s_A dA}{4\pi \rho^2}$$

$$dA = r dr d\theta$$

$$b^2 = d^2 + r^2 - 2rd \cos \theta$$

$$\rho^2 = h^2 + b^2 = h^2 + d^2 + r^2 - 2rd \cos \theta$$

Integrando $d\Phi$ sobre todo el círculo, se obtiene:

$$\Phi(P) = \frac{s_A}{4} \ln \left(\frac{\left[r_0^2 + h^2 - d^2 + \sqrt{\left[r_0^2 + h^2 - d^2 \right]^2 + 4d^2 h^2} \right]^2}{2h^2} \right) \quad (12)$$

7.2.3 Fuente esférica

El punto de cálculo se encuentra en el centro de la esfera de radio r_0 y se tendrá en cuenta que el medio material que la forma, posee un coeficiente de atenuación μ .

$$d\Phi = \frac{s_V e^{-\mu r} dv}{4\pi r^2}$$

Integrando la expresión de $d\Phi$ se obtiene:

$$\Phi(P) = \frac{s_V}{\mu} (1 - e^{-\mu r_0}) \quad (13)$$

siendo s_V la actividad por unidad de volumen (Bq m^{-3})

Este caso es aplicable al cálculo de la dosis absorbida por inmersión en una nube radioactiva.

7.3 TEOREMA DE RECIPROCIDAD

Las fuentes extensas mostradas aquí, habituales en situaciones prácticas, son simples y con solución analítica. Esto último no siempre es posible cuando se consideran fuentes y medios dispersores de geometría compleja.

Existe una herramienta de cálculo muy importante que puede utilizarse para el análisis de estos campos de radiación, es el denominado **teorema de reciprocidad**. Su enunciado indica: *“Dos fuentes que contienen la misma actividad total producen cada una en la otra, la misma dosis absorbida promedio, cualquiera sea su forma, tamaño y la distancia entre ellas”*.

Este teorema es muy útil cuando se consideran fuentes volumétricas extensas y se quiere calcular su efecto en un punto determinado. El procedimiento es el siguiente:



- Se concentra la actividad de la fuente volumétrica en el punto de interés. Se genera así una fuente puntual y se calcula la dosis que produce esta nueva fuente en cada punto de la fuente extensa original.
- Luego se toma la dosis promedio sobre la fuente extensa y esa será la dosis que la fuente volumétrica provoca en el punto de interés original.

En otras palabras, la dosis promedio sobre un volumen determinado que produce una cierta actividad concentrada en un punto es igual a la dosis que se recibe en ese punto si la actividad estuviera uniformemente distribuida en el volumen considerado.

7.4 CÁLCULO DE LA DOSIS ABSORBIDA EN DISTINTOS MEDIOS

Dados dos medios distintos, I y II, en los que exista la misma tasa de fluencia y equilibrio electrónico, la relación entre las tasas de dosis absorbidas en los mismos es proporcional a la relación entre los coeficientes de absorción máscicos en energía de los materiales que los componen. Para un haz monoenergético resulta entonces,

$$\dot{D}_I = \dot{\psi} \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_I$$

$$\dot{D}_{II} = \dot{\psi} \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{II}$$

$$\frac{\dot{D}_I}{\dot{D}_{II}} = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_I}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{II}} \quad (18)$$

7.4.1 Evaluación de la dosis absorbida

Sea \dot{D} la tasa de dosis absorbida. Para calcular la dosis absorbida en cierto intervalo de tiempo, $(t_0 - t_1)$ se debe resolver la siguiente expresión,

$$D = \int_{t_0}^{t_1} \dot{D}(t) dt \quad (19)$$

En la expresión de \dot{D} , la única dependencia temporal existe a través de la actividad, es decir del número de partículas emitidas por la fuente por unidad de tiempo. Se escribe entonces la actividad como,



$$A = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$$

al integrar la actividad entre $t_0 = 0$ y $t_1 = t$, resulta

$$A = A_0 \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} \right)$$

Se pueden presentar los siguientes casos,

- $T_{1/2} \gg (t-0)$, entonces $A = A_0 t$, por lo tanto $D = \dot{D} t$
- $T_{1/2} \ll (t-0)$, entonces $A = A_0 \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$, por lo tanto $D = \dot{D}_0 \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$

donde $\dot{D}_0 = \frac{A_0 E \varepsilon \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)}{4 \pi r^2}$

Estas expresiones son válidas para cualquiera de las magnitudes dosimétricas.

7.5 EXPOSICIÓN

Dada la **dosis absorbida en aire** (D_{aire}) en condición de equilibrio electrónico y breemstrahlung despreciable (es decir $D = K$), se trata de calcular la cantidad de carga liberada por las ionizaciones producidas en el aire por fotones en la unidad de masa.

Si la energía media necesaria para formar un par iónico en aire es W_{aire} ,

el número de pares iónicos producidos por unidad de masa es $\frac{D_{aire}}{W_{aire}}$,

y la carga total producida por unidad de masa es $\frac{D_{aire}}{W_{aire}} q$

El valor de W_{aire} es 33,97 eV y q es la carga electrónica $1,602 \times 10^{-19}$ C.

La expresión de la exposición puede escribirse como,

$$X = \frac{D_{aire}}{W_{aire}} q = D_{aire} \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{33,97} \frac{C}{eV}$$

$$X = \frac{D_{aire}}{W_{aire}} q = D_{aire} \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{33,97 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \frac{C}{J} \quad (20)$$



donde se han reemplazado los correspondientes valores de q y W_{aire}

La exposición se expresa comúnmente en **Roentgen (R)**. Numéricamente,

$$1R = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

por lo que la ecuación anterior resulta,

$$X = \frac{D_{aire}}{W_{aire}} q = \frac{D_{aire}}{8,69 \cdot 10^{-3}} \frac{R}{Gy} \quad (21)$$

donde D_{aire} se expresa en Gy.

Por lo tanto en condiciones de equilibrio electrónico la dosis absorbida es directamente proporcional a la exposición en un factor W_{aire}/q . Este factor es aproximadamente constante para los electrones en aire. La expresión (21) muestra que a partir de conocer el valor de la exposición es inmediato obtener la dosis absorbida en aire. También es simple obtener la dosis absorbida en materiales distintos del aire midiendo la exposición. A partir de la ecuación (18) se obtiene la relación entre las dosis, la que expresada en función de la exposición resulta:

$$\dot{D}_m = \dot{X} \cdot 8,69 \cdot 10^{-3} \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{medio}}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{aire}} \quad (22)$$

donde, D_m se expresa en Gy y X en R. Si se utilizan unidades SI (la dosis absorbida en Gy y la exposición en $C \text{ kg}^{-1}$), la expresión anterior es,

$$\dot{D}_m = \dot{X} \cdot 33,79 \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{medio}}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{aire}}$$

Para materiales con número atómico próximos al del aire, la relación entre los coeficientes de absorción másico varía muy poco con la energía de los fotones. Por ejemplo, para el caso agua-aire, existe una variación de aproximadamente el 10% para energías comprendidas entre 10 keV y 10 MeV. Esto permite determinar la dosis absorbida en agua, directamente del valor de exposición medido sin conocer con exactitud la energía del haz.

En cambio, para materiales de número atómico alto, por ejemplo hueso, el coeficiente de absorción másico es significativamente distinto al del aire para energías menores que 100 keV (la relación entre ellos varía entre 1 y 5,5). Para energías mayores, en cambio, dichos coeficientes son aproximadamente iguales.

Otra magnitud de utilidad para el cálculo es la llamada **constante específica gamma, Γ** . Esta constante, característica para cada nucleído, indica el valor de la tasa



de exposición en $R\ h^{-1}$ que genera una fuente puntual a un metro de distancia por unidad de actividad. La unidad de Γ es:

$$[\Gamma] = \frac{R \cdot m^2}{h \cdot Ci}$$

La tabla más completa de Γ ha sido publicada por Nachtigall. A modo de ejemplo en la tabla 7.1 se muestran algunos valores.

Tabla 7.1: Constante específica gamma. Γ

Radionucleido	Γ ($R\ h^{-1}\ m^2\ Ci^{-1}$)
Cs-137	0.32
Co-60	1.30
Au-198	0.23
Ir-192	0.39

La tasa de exposición a una distancia r de una fuente puntual se calcula entonces como,

$$\dot{X} = \frac{\Gamma A}{r^2} \quad (23)$$

donde A se expresa en Ci y r en m^2 .

Se ha asumido que la atenuación y la dispersión debido a la presencia del medio circundante es despreciable.

La exposición permite caracterizar adecuadamente el campo de radiación X o gamma y es de utilidad práctica. En la actualidad ante la necesidad de unificar las magnitudes dosimétricas para todo tipo de partículas se está tendiendo a dejarla en desuso. La magnitud dosimétrica fundamental es la dosis absorbida, numéricamente igual al kerma en condición de equilibrio electrónico y breemstrahlung despreciable. Esto lleva a reemplazar el uso de la exposición por el kerma en aire y la constante específica gamma por la **constante de tasa de kerma en aire**, Γ_{δ}

La constante tasa de kerma en aire, Γ_{δ} se define en forma similar a Γ , pero tiene en cuenta además de la radiación gamma, la emisión de rayos X y la producción de breemstrahlung interno, por encima de cierta energía de corte, δ . Su unidad es

$$[\Gamma_{\delta}] = \frac{Gy\ m^2}{s\ Bq}$$

y se expresa como,

$$\Gamma_{\delta} = \frac{r^2}{A} \left(\frac{dK_{aire}}{dt} \right)_{\delta} \quad (24)$$



7.6 CALCULO DE DOSIS DEBIDA A LOS RAYOS X

La dosis producida por los rayos X tiene tres componentes que son:

- La radiación directa
- La radiación dispersa
- La radiación de fuga

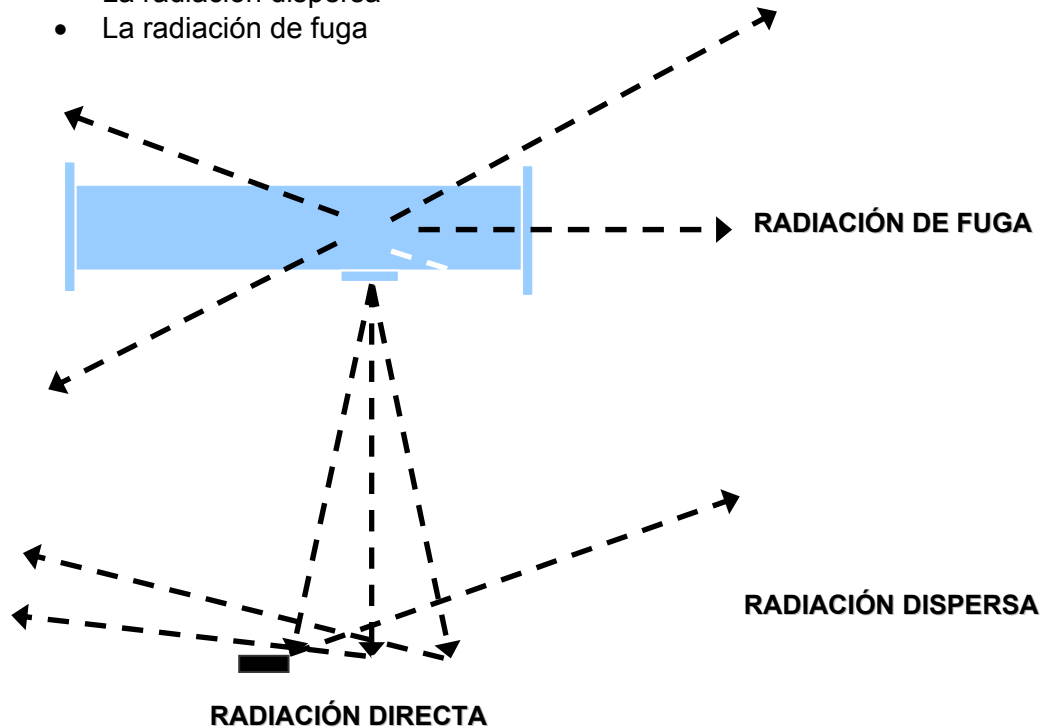


Figura 7.3: Componentes de la dosis por los Rayos X

La radiación directa es el haz útil de radiación que sale del foco del equipo de rayos X. Las tasas de dosis producidas por los generadores de rayos X a ciertas distancias del foco, en el haz directo, se pueden predecir con una exactitud razonable para un potencial y una corriente del tubo, así como una filtración del haz determinados: mediante la siguiente ecuación:

$$H_0 = \frac{R \cdot I \cdot t}{d^2}$$

Donde:

H_0 : es la dosis calculada en mSv

R: rendimiento del equipo, que depende del potencial aplicado al tubo y a su valor, así como del material del ánodo y la filtración total del haz; a continuación se presentan graficas para tal fin

I: Corriente emitida

t: tiempo de irradiación

d: distancia desde el foco del equipo y el punto donde se estima la dosis.

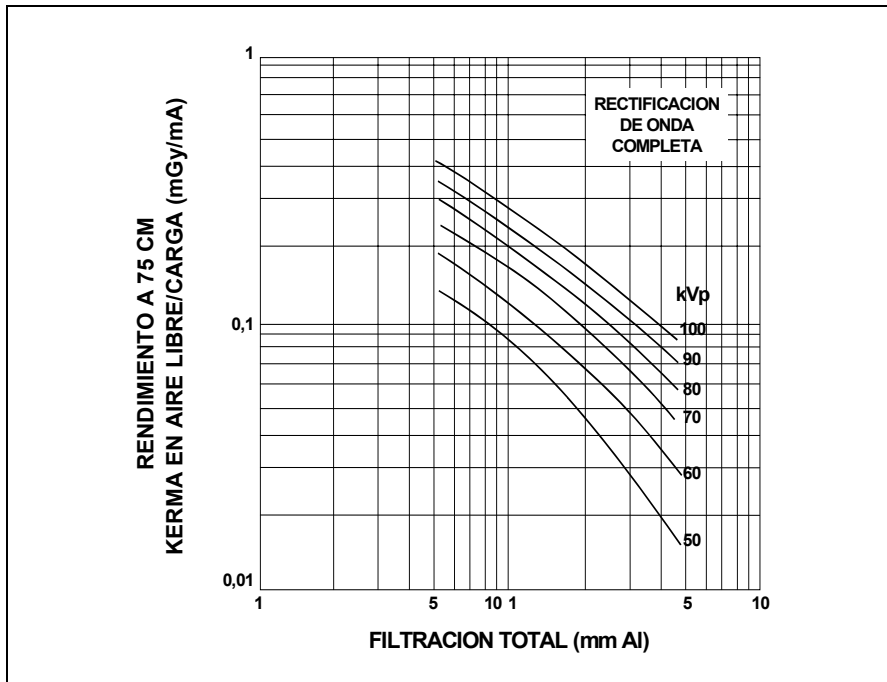


Figura 7.4: Rendimiento a 75 cm de distancia focal

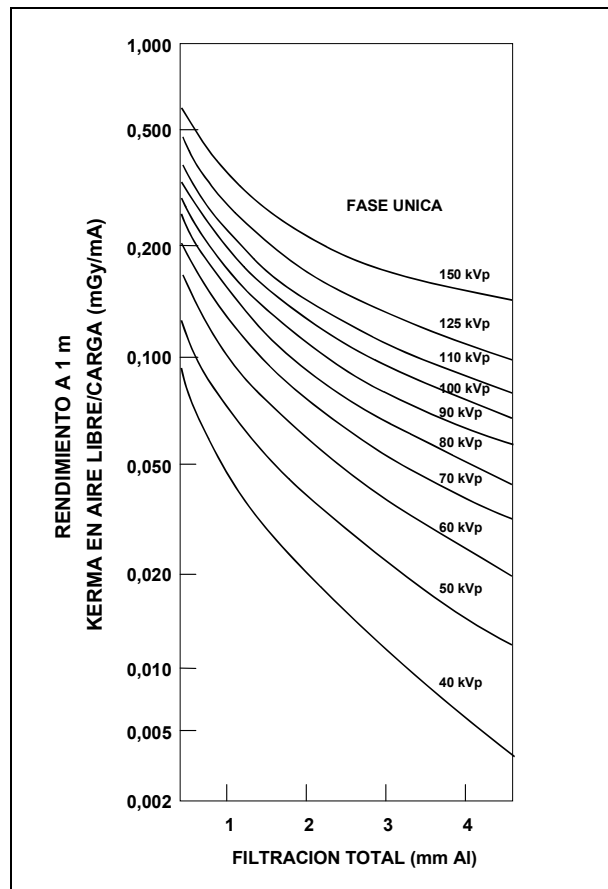


Figura 7.5: Rendimiento a 1 metro de distancia focal



La radiación dispersa es aquella producto de la interacción de la radiación directa con un medio, por ejemplo en un paciente, y por efecto Compton es dispersada en todas direcciones. La dosis recibida producto de la radiación dispersa puede estimarse considerando la capacidad dispersora del medio en el que inciden los rayos X. Para equipos de uso médico es posible emplear la expresión siguiente:

$$H_0 = \frac{R \cdot I \cdot \alpha \cdot S \cdot t}{ds^2 \cdot dc^2}$$

Donde:

H₀: Dosis equivalente [Sv]

R: Rendimiento [Sv.h⁻¹.mA⁻¹.m²]

I: Corriente aplicada al tubo [mA]

α: Coeficiente de dispersión, ejemplo en la tabla siguiente para distintos KV y ángulos de dispersión

t: Tiempo de exposición [h]

ds: Distancia a la superficie dispersora [m]

dc: Distancia desde la superficie dispersora al punto de interés [m]

S: Superficie dispersora [m²]

Tabla 7.2: Coeficiente de dispersión entre la radiación dispersa y la radiación incidente

Potencial	Angulo de dispersión desde el rayo central					
	30	45	60	90	120	135
32 KV	-	-	-	0,00022	-	-
50 KV	0,00050	0,00020	0,00025	0,00035	0,0008	0,0010
70 KV	0,00065	0,00035	0,00035	0,00050	0,0010	0,0013
100 KV	0,00150	0,00120	0,00120	0,00130	0,0020	0,0022
125 KV	0,00180	0,00150	0,00150	0,00150	0,0023	0,0025
150 KV	0,00200	0,00160	0,00160	0,00160	0,0024	0,0026

La radiación de fuga es aquella que atraviesa la carcasa del tubo de rayos X. La tasa de dosis producida por la radiación de fuga es una fracción de la tasa de dosis en el haz útil y se limita mediante requisitos de diseños que deben cubrir los fabricantes. En los equipos de radiodiagnósticos la tasa de dosis de radiación de fuga a un metro del tubo no podrá superar el valor de 1 mSv/h con la carga máxima (mA.min) soportada durante una hora de trabajo. La intensidad máxima de la corriente que soporta un equipo de rayos X si se mantuviera trabajando una hora de forma continua es uno de los datos proporcionados por los fabricantes de los equipos.

$$H_0 = \frac{10 \cdot t}{d^2} \cdot \left(\frac{I}{I_{max}}\right) \cdot \left(\frac{U}{U_{max}}\right)^2$$

Donde:

H₀: Dosis [mSv]

t: Tiempo de exposición [h]

d: Distancia [m]

U: Voltaje de trabajo [kV]

I: Corriente de trabajo [mA]

U_{max}: Voltaje máximo [kV]

I_{max}: Corriente máxima [mA]



CAPITULO VIII

CALCULOS ABREVIADOS DE BLINDAJE

INTRODUCCION

El blindaje es un medio material de un espesor determinado que atenuará la radiación hasta los niveles deseados. La efectividad depende de la interacción entre la radiación y los átomos del medio blindante y del tipo de radiación:

i.) Radiación alfa: Pierde rápidamente su energía en cualquier medio, debido a su carga y masa, lo que les da una alta ionización.

Son frenadas por espesores muy delgados. Por ejemplo hojas de papel y la capa cornea de la piel; no son un gran problema como fuentes externas, pero si existe contaminación interna el riesgo es muy alto, debido a su alto poder de ionización.

ii.) Radiación Beta : Se le considera ligeramente peligrosa como fuente de radiación externa. El proceso de pérdida de energía es parecido al del alfa.

El blindaje necesario para frenar una partícula Beta disminuye con el aumento de la densidad del material. Se prefiere usar un blindaje de bajo número atómico como aluminio, plástico o vidrio y se cubre con un elemento de número atómico alto como plomo, para proteger de las radiaciones electromagnéticas que se produzcan.

iii.) Radiaciones electromagnéticas γ y X : La atenuación de un material absorbente para rayos X y gamma es el resultado de tres efectos muy conocidos :

- El efecto fotoeléctrico
- El efecto Compton
- Producción de pares

Materiales con alto número atómico y alta densidad son muy utilizados para protegerse de estas radiaciones, ejemplo: tungsteno, plomo y aunque menos efectivo, el concreto.

Dependerá del haz el blindaje utilizado; para haces estrechos se tiene que

$$I = I_0 \cdot e^{-ux}$$

donde :

I_0 : Intensidad de radiación inicial

x : Espesor del material blindante

I : Intensidad a través del blindaje de espesor X

u : Coeficiente de atenuación lineal que depende de la energía de radiación y de material.



8.1 MÉTODO DE CALCULO DE BLINDAJE PARA HACES ESTRECHOS DE RADIACIÓN:

Un recurso útil para calcular blindajes de haces estrechos es conocido como el espesor Hemirreductor (HVL). El espesor hemirreductor HVL es el espesor requerido de un determinado material y un radionucleido específico para reducir la exposición a la mitad de su valor. En la tabla 8.1 se indican valores de HVL para distintos materiales y radionucleidos, la formula a utilizar es la siguiente:

$$I = \frac{I_0}{2^n}$$

n : el número de HVL a colocar
I₀: exposición o dosis inicial
I: exposición o dosis deseada

TABLA 8.1 VALORES APROXIMADOS DE ESPESORES HERMIRREDUCTORES (HVL) Y DECIRREDUCTORES (TVL) DE HACES GRUESOS DE RAYOS GAMMA FUERTEMENTE ATENUADOS.

Nucleido	MATERIAL							
	Uranio, cm		Plomo, cm		Acero, cm		Hormigón, cm	
	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL
Co-60	0.7	2.2	1.2	4.0	2.0	6.7	6.1	20.3
Cs-137	0.3	1.1	0.7	2.2	1.5	5.0	4.9	23.3
Ir-92	0.4	1.2	0.6	1.9	1.3	4.3	4.1	13.5
Ra-226	---	---	1.3	4.4	2.1	7.1	7.0	23.3

Nota: Espesores decirreductores son aquellos que reducen décima parte la radiación.

8.2 METODO PARA CALCULO DE BLINDAJE PARA HACES GRUESOS DE RADIACION

Cuando el haz es grueso se utilizan curvas de transmisión, dadas en la literatura, para usar como material blindante acero, plomo y concreto. La formula es:

$$F_t = \frac{I}{I_0}$$

F_t: Factor de transmisión
I₀: Exposición existente en un pto. X
I: Exposición deseada en el pto. X



Con el valor obtenido, se busca en las curvas de espesor correspondiente al tipo de radionucleido que se trate. Las curvas se presentan a continuación.

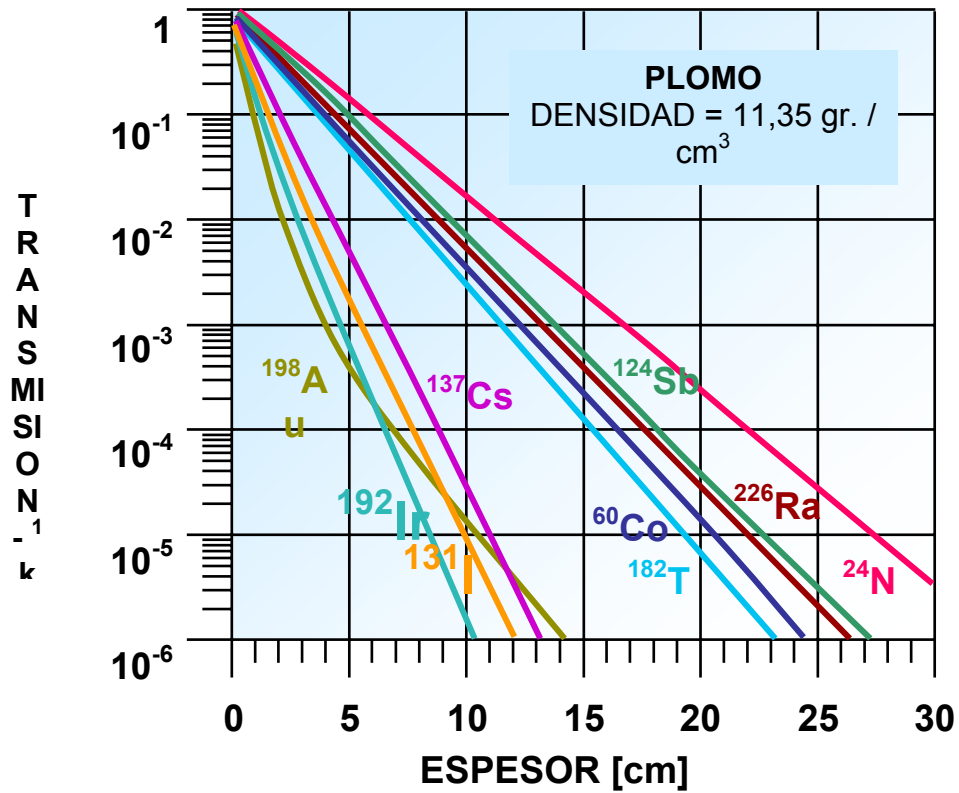


Figura 8.1 Curvas de transmisión en plomo para distintos isótopos.

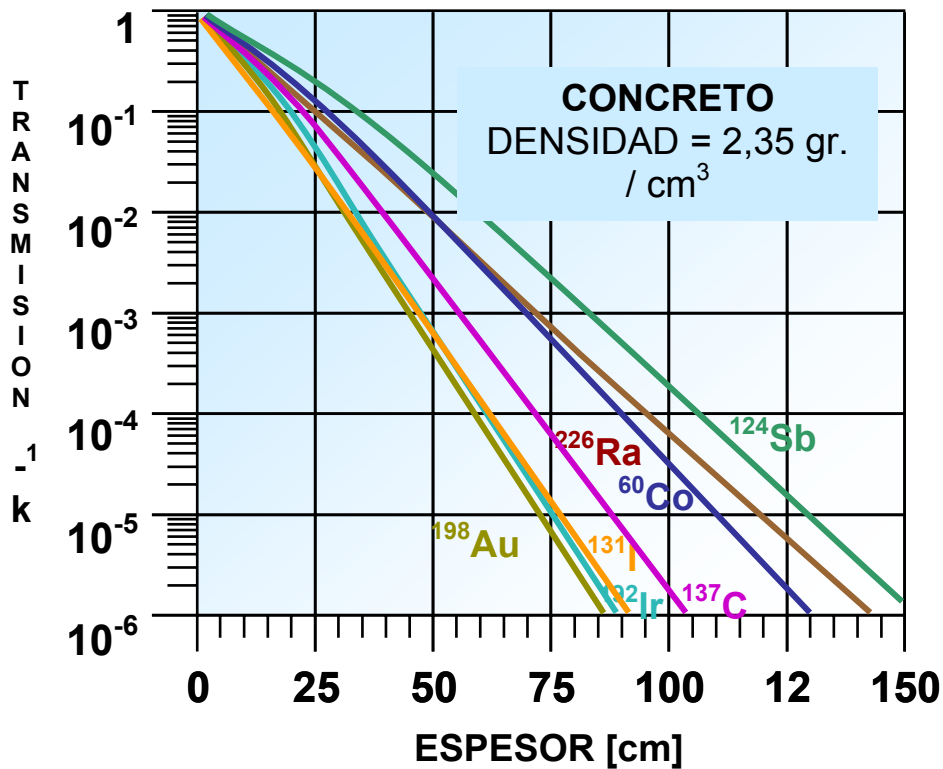


Figura 8.2 Curvas de transmisión en Concreto para distintos isótopos



8.3 CALCULO DE BLINDAJE PARA AREAS DE RAYOS X DIAGNOSTICOS.

8.3.1 BLINDAJE PARA LA RADIACION DIRECTA

Experimentalmente se han obtenido curvas que representan, para distintos kilovoltajes y materiales blindantes, el kerma en aire libre por unidad de carga eléctrica k_a / W en [mGy / mAmin] en función del espesor del blindaje, a una distancia de 1 metro del ánodo del tubo de rayos X. En Los siguientes gráficos se presentan algunos juegos de curvas para plomo y concreto.

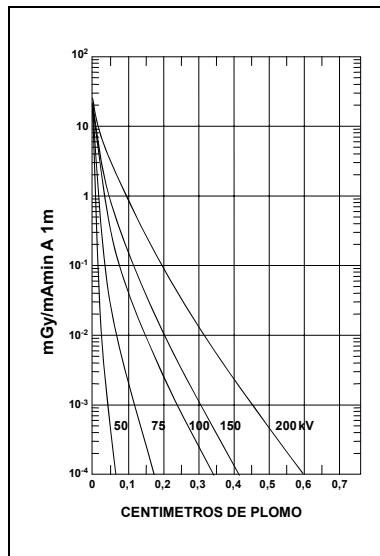


Figura 8.3: Curvas de transmisión para Plomo entre 50 a 200 KV

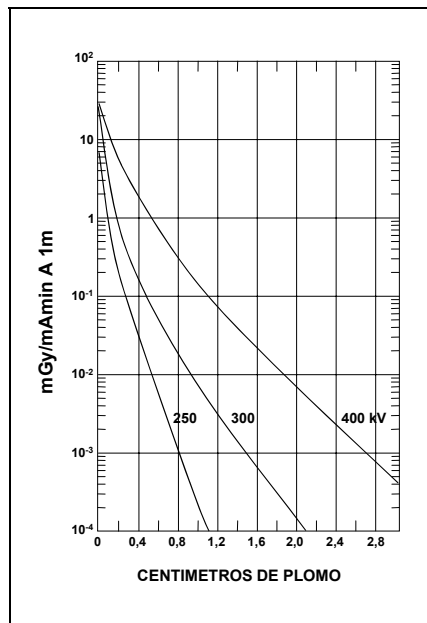


Figura 8.4: Curvas de transmisión para plomo entre 250 y 400 KV

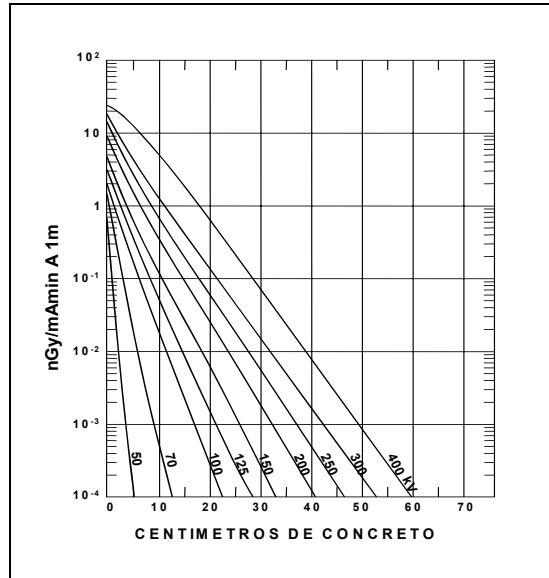


Figura 8.5: Curvas de transmisión para concreto de 50 a 400 KV

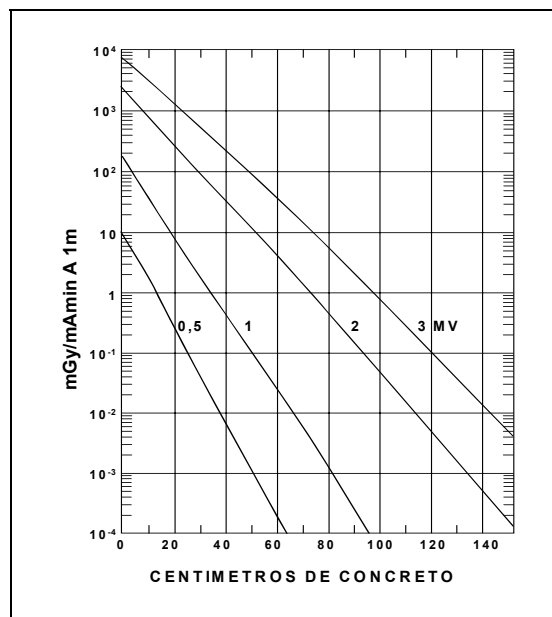


Figura 8.6: Curvas de transmisión en concreto para 500 KV a 3 MV

Si (k_a / W) es el kerma en aire libre por unidad de carga eléctrica a una distancia de un metro del tubo, el kerma en aire libre a una distancia d del tubo para una carga eléctrica mensual W_m será:

$$\frac{k_a}{W} W_m \frac{1 \text{ metro}^2}{d^2}$$

con:

$[k_a]$	mGy
$[W_m]$	min/mes]
$[d]$	m



A efectos de computar sólo la fracción de la carga eléctrica de trabajo para la que el tubo de rayos X está orientado hacia el muro cuyo blindaje está bajo cálculo, en la expresión anterior se debe incluir el factor U , como sigue

$$\frac{k_a}{W} W_m U \frac{1 \text{ m}^2}{d^2}$$

Del mismo modo, como interesa computar solo las dosis durante el tiempo que la sala contigua está ocupada por personas, la expresión anterior debe multiplicarse por el factor de ocupación T ,

$$\frac{k_a}{W} W_m U T \frac{1 \text{ m}^2}{d^2}$$

El Kerma en aire no debe superar, en el punto de interés, el límite autorizado mensual o el surgido del estudio de optimización K_{al} , para personas del público o trabajadores, es decir:

$$\frac{k_a}{W} W_m U T \frac{1 \text{ m}^2}{d^2} \leq k_{al} \left[\frac{\text{mGy}}{\text{mes}} \right] \quad (2)$$

De la expresión (2), puede calcularse el valor máximo del kerma en aire libre por unidad de carga eléctrica a un metro del tubo (k_{amax} / W), que satisface la expresión anterior, es decir

$$\frac{k_{amax}}{W} = \frac{k_{al} d^2}{W_m U T 1 \text{ m}^2} \quad (2)$$

Con este valor y con el kilovoltaje aplicado, se puede entrar en la curva que corresponda de las figuras 6.5 a 6.8 y obtener el espesor mínimo requerido para el blindaje.

8.3.2 BLINDAJE PARA LA RADIACION DISPERSA

Al incidir sobre el paciente y la mesa radiológica, el haz de rayos X es dispersado en todas las direcciones. La intensidad y energía del haz dispersado son inferiores que la del haz primario y dependen del ángulo que ellos determinan.

A los efectos del cálculo se aceptan las siguientes simplificaciones:

- para un ángulo de 90° , la relación entre la intensidad de la radiación dispersa y la de la radiación primaria es inferior a 1/1000.
- tratándose de rayos X de hasta 500 kV se supone que la energía de la radiación dispersa corresponde al mismo kilovoltaje que el de la radiación primaria y para rayos X cuyo kilovoltaje sea superior, se adopta el valor de 500 keV para la energía de la radiación dispersa.
- la distancia d de la expresión es ahora la que existe entre el dispersante (paciente/camilla) hasta la pared cuyo blindaje está bajo cálculo.



- La distancia S , entre el ánodo del tubo y el paciente, influye en el cálculo de manera cuadrática.

En virtud de lo anterior, para calcular el valor límite del kerma en aire libre por unidad de carga eléctrica en el caso de la radiación dispersa, a una distancia d entre paciente/camilla y para una distancia S entre el ánodo y el paciente, la expresión (2) debe corregirse como sigue:

$$\frac{k_{amax}}{W} = \frac{k_{aL}}{W_m} \frac{d^2}{U} \frac{S^2}{T} \frac{1000}{1 \text{ m}^4}$$

Por ejemplo:

para una distancia S de 1 m entre el ánodo y el paciente la expresión resulta:

$$\frac{k_{amax}}{W} = \frac{k_{aL}}{W_m} \frac{d^2}{U} \frac{1000}{1 \text{ m}^2}$$

y para $S = 0,5$ m es:

$$\frac{k_{amax}}{W} = \frac{k_{aL}}{W_m} \frac{d^2}{U} \frac{250}{1 \text{ m}^2}$$

8.3.3 CALCULO DEL BLINDAJE PARA LA RADIACION DE FUGA DEL TUBO

La Comisión Internacional de Protección Radiológica recomienda los siguientes límites para la radiación que puede transmitirse a través de la calota del tubo (radiación de fuga):

- ❖ Para equipos de radiodiagnóstico el límite de la tasa de kerma en aire libre a un metro del cátodo, con el tubo actuando con el máximo kilovoltaje y la máxima corriente de operación continua es, $\dot{k}_{a,FDL} = 0,869$ mGy / hora (en unidades de exposición: 0,1 R/h)
- ❖ Para equipos de radiodiagnóstico el límite de la tasa de kerma en aire libre a un metro del ánodo, con el tubo actuando con el máximo kilovoltaje y la máxima corriente de operación continua es, $\dot{k}_{a,FDL} = 8,69$ mGy / hora (en unidades de exposición: 1 R/h)

A menos que el fabricante garantice un comportamiento más satisfactorio, debe suponerse que todo tubo emite una radiación de fuga a través de la calota que no supera esos límites.

En esas condiciones, el kerma en aire libre a una distancia d del tubo durante un tiempo t de funcionamiento, considerando la fracción de tiempo T que un lugar ha estado ocupado, es:



$$\frac{\dot{k}_{a,FL} \text{ m}^2 \text{ t T}}{d^2} \text{ [mGy]}$$

donde:

$t = \frac{W_m}{60 I}$, siendo I el valor máximo de la corriente correspondiente a operación continua

El valor anterior atenuado por el blindaje a colocar en un factor A (también llamado factor de transmisión), no debe superar el límite autorizado mensual o el que surja del proceso de optimización k_{aL} , es decir

$$\frac{\dot{k}_{a,FL} \text{ m}^2 \text{ t T}}{d^2} A \leq k_{aL}$$

De la expresión anterior puede obtenerse el valor de la atenuación necesaria a ser provista por el blindaje para no superar dicho límite:

$$A = \frac{k_{aL} d^2}{k_{a,FL} \text{ m}^2 \text{ t T}}$$

Para finalmente obtener el espesor del blindaje, utilizando un determinado material, existen tablas que permiten conocer el valor de un espesor hemireductor HVL (o un espesor decireductor TVL) de un determinado material (plomo y concreto en el caso de la tabla 8.2) para radiación X originada por distintos kilovoltajes.

Tabla 8.2- Valores de HVL y TVL para plomo y concreto

kV _{pico}	Milímetros de plomo		Centímetros de concreto	
	HVL	TVL	HVL	TVL
50	0,06	0,17	0,43	2,5
70	0,17	0,52	0,84	2,8
100	0,27	0,88	1,6	5,3
125	0,28	0,93	2,0	6,6
150	0,30	0,99	2,24	7,4
200	0,52	1,7	2,5	8,4
250	0,88	2,9	2,8	9,4
300	1,47	4,8	3,1	10,4
400	2,5	8,3	3,3	10,9
500	3,6	11,9	3,6	11,7
1000	7,9	26	4,4	14,7
2000	12,5	42	6,4	21
3000	14,5	48,5	7,4	24,5
4000	16	53	8,8	29,2
6000	16,9	56	10,4	34,5
8000	16,9	56	11,4	37,8
10000	16,6	55	11,9	39,6



Cuando un blindaje es calculado para la radiación primaria no es necesario, en general, efectuar los cálculos para la radiación de fuga y dispersa. En aquellas direcciones en las que no se orienta el haz primario debe calcularse el blindaje de manera independiente para la radiación dispersa y la fuga.

Si uno de los cálculos arroja un resultado que supera al otro en tres o más espesores hemirreductores se adopta el mayor de ellos y se desprecia el otro. Si los dos resultados difieren en menos de tres espesores hemireductores o un decireductor, se adopta el mayor y se le adiciona 1 hemireductor.

La elección del material a emplear en el blindaje depende de razones económicas y del espacio disponible. El plomo es altamente absorbente para radiaciones de baja energía, como es el caso de la radiación usada en diagnóstico, terapia superficial y media, por lo que en general se lo prefiere en este rango. Para radiación de alta energía, como la utilizada en terapia profunda, la capacidad de absorción del plomo es menor y se utiliza el concreto.

Cuando se utiliza plomo como blindaje, debe tenerse en cuenta que las paredes asociadas ofrecen cierto grado de atenuación según el material con que estén construidas, como se describe en la siguiente tabla.

Tabla 8.3 - Espesor equivalente de plomo para distintas densidades

MATERIAL	Densidad [g/cm ³]	Espesor del material en milímetros									
		50 kV		100 kV				150 kV			
		0,5	1,0	0,5	1,0	2,0	3,0	0,5	1,0	2,0	3,0
Ladrillo	1,8	100	200	70	120	195	260	85	150	260	340
Ladrillo hueco	1,4	135	280	100	65	270	360	115	200	350	490
Hormigón	2,2	62	130	44	80	140	190	60	105	180	250
Hormigón baritado	3,2	15	31	4	9	17	24	7	15	33	51
Acero	7,9	3	6,5	3,2	6,4	13	-	6,6	14	28	-
Yeso	0,84	140	290	110	200	-	-	140	270	-	-
Enduido de bario (con base de yeso)	2	16	-	5	9	16	24	7	15	30	45
Bronce	8,3	3,1	5,4	2,1	3,7	6					



CAPITULO IX

FUNDAMENTOS DE LA PROTECCION RADIOLOGICA

LA PROTECCION RADIOLOGICA

Es una disciplina que tiene como fin **promover la protección** de las personas contra los riesgos derivados del empleo de fuentes y equipos generadores de radiaciones ionizantes, sin renunciar a las ventajas del uso de las radiaciones ionizantes

Para cumplir con lo antes expuesto, la **COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCION RADIOLÓGICA (ICRP)**, creada en 1928, ha establecido una serie de recomendaciones llamada **Sistema de limitación de dosis**, la cual es un conjunto de normas sobre las cuales se basa toda la filosofía y práctica actual de la protección radiológica.

9.1- OBJETIVOS DE LA PROTECCIÓN RADIOLOGICA

El conjunto de requisitos básicos de protección contra las radiaciones ionizantes está contenido en las Normas Básicas Internacionales de Seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica (NBIS Publicación 115). Estas normas son el resultado del esfuerzo conjunto y la colaboración internacional por llegar a criterios unificados sobre la seguridad de las prácticas que emplean radiaciones ionizantes y se fundamentan en las conclusiones más recientes de la información radioepidemiológica sobre los riesgos de la exposición a la radiación de bajo nivel, en los estudios sobre la radiación natural como causa de riesgo para la salud y en las recomendaciones de la ICRP. En su elaboración colaboraron la FAO, el OIEA, la OIT, la OCDE/AEN, la OPS y la OMS.

Los objetivos de la Protección Radiológica son:

- a.) Evitar de manera absoluta los efectos deterministas.
- b.) Reducir la frecuencia de efectos estocásticos.

9.2 SISTEMA DE LIMITACIÓN DE DOSIS

Es un conjunto de normas sobre las cuales se basa toda la filosofía y práctica actual de la protección radiológica. Existen tres principios:

A.) JUSTIFICACIÓN :

Se debe demostrar que el costo total, sobre todos los posibles daños a la salud de las personas, debe estar compensado con las ventajas que la sociedad y las personas obtienen de esta práctica.

El principio de justificación se aplica a cualquier práctica y tipo de exposición, así como a la intervención, y en su aplicación influyen muchos factores, además de los radiológicos, entre ellos los sociales y políticos. Ello se explica porque cualquier decisión humana implica una elección entre varias opciones posibles y su fin es



obtener algún beneficio apreciable. Cuando se trata de la exposición normal o potencial a la radiación, la decisión sobre la admisión o la continuación de una práctica debe incluir la evaluación del beneficio desde todos los puntos de vista, de modo que se logre un compromiso entre su eficiencia y sus consecuencias. Al aplicar la justificación a una práctica propuesta para su admisión o continuación se deben incluir las exposiciones potenciales en la evaluación del detrimento asociado.

B.) OPTIMIZACIÓN:

El criterio adoptado como concepción básica de protección, es que la Optimización debe ser llevada tan lejos como la práctica lo permita, tomando en cuenta los factores sociales y económicos. Este concepto es conocido como ALARA (de la frase en inglés: "as low as reasonably achievable")

Para las exposiciones normales es indispensable que la optimización se aplique durante el diseño de la fuente o práctica, durante su operación y desmantelamiento, así como durante la evacuación de los desechos que pueda generar. El análisis de la optimización debe comprender:

- a) todas las operaciones que se realizan con la fuente;
- b) la forma en que se realizan dichas operaciones (a qué distancia, en qué posición, durante qué tiempo, etc.);
- c) los datos de las mediciones realizadas de tasa de dosis, de contaminación y de dosis individual;
- d) la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales;
- e) la variación de los resultados de las mediciones en diferentes períodos de tiempo, entre diferentes trabajadores y entre grupos, así como sus causas;
- f) las medidas correctivas adoptadas, su frecuencia y resultados;
- g) la disponibilidad de recursos para la protección y seguridad;
- h) el uso que se da a los recursos existentes;
- i) el nivel de preparación y entrenamiento del personal;
- j) el grado de exigencia en el cumplimiento de los requerimientos de parte de cada uno de los que intervienen;
- k) los fallos e incidentes ocurridos, sus causas y consecuencias;
- l) el efecto de las medidas de protección radiológica sobre otros factores de riesgo.

La forma de conducir este análisis, así como su extensión está, por supuesto, en correspondencia con el tipo de fuente o práctica y su naturaleza, así como con los riesgos asociados.

C.) LIMITES DE DOSIS INDIVIDUALES:

El principio de limitación establece que: *la exposición resultante de todas las prácticas relevantes estará sujeta a límites de dosis o al control de los riesgos de tal manera que se asegure que ningún individuo sea expuesto a niveles inaceptables.*

A bajos niveles de dosis, sólo se pueden manifestar efectos estocásticos y su probabilidad de ocurrencia se asume directamente proporcional a la dosis. Esta hipótesis lineal de la relación dosis-respuesta establece que a cualquier incremento de la dosis le corresponderá un incremento en la probabilidad del efecto. Ante estas consideraciones, la elección de límites cuantitativos no es tarea fácil y se basa en criterios no sólo sanitarios, sino también sociales. El límite es un nivel de dosis o de riesgo tal, cuyas consecuencias estén lejos de ser consideradas inaceptables. En otros



términos, el límite de dosis puede ser definido como el contorno entre lo inaceptable y lo tolerable para unas condiciones dadas.

Para indicar la tolerabilidad de una exposición o riesgo se emplean entonces tres términos: inaceptable, que es el nivel de exposición que sobre bases razonables no puede ser aceptado en condiciones normales pero que, sin embargo, puede ser aceptado en situaciones anormales como las de un accidente o en otro contexto como la navegación espacial; tolerable, es el nivel de exposición que no es bienvenido pero que puede ser razonablemente tolerado, y aceptable, es aquel que puede ser aceptado sin más condición, por ejemplo, cuando la protección ha sido optimizada. En la Figura 9.1 se pueden apreciar las regiones de aceptabilidad e inaceptabilidad alrededor del límite. Como aceptable se considera la región de optimización.

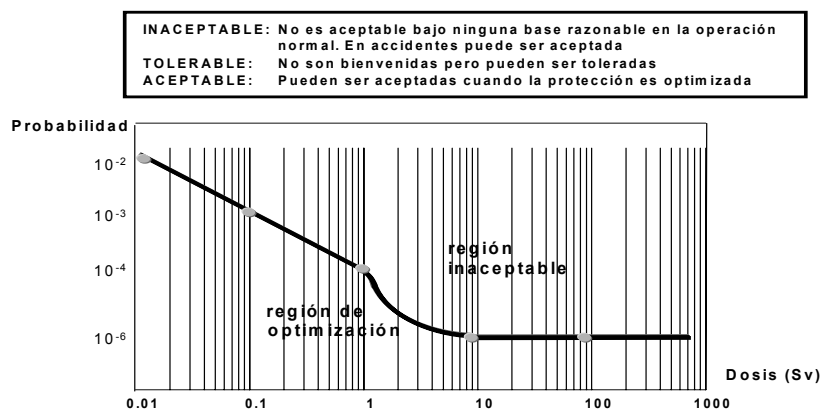


Figura 9.1 Tolerabilidad de una exposición o riesgo

El límite se expresa como la dosis recibida uniformemente en toda la vida o como dosis anual y se define como el valor al cual la exposición ocupacional regular, extensiva y deliberada puede razonablemente ser sólo tolerada. Ello significa que cuando el principio de optimización se aplica con efectividad, es muy probable que la exposición de muy pocas personas, o tal vez de ninguna, se acerque a los valores límites. Los límites de dosis para la exposición ocupacional, para los miembros del público y para aprendices y estudiantes establecidos por la CIPR se aplican a las prácticas, con excepción de las exposiciones médicas y de las exposiciones causadas por fuentes naturales que no puedan ser razonablemente sometidas a control legal. El período de 5 años considerado para promediar el límite de dosis anual se define como períodos deslizantes.

Los límites de dosis se aplican a la suma de las dosis causadas por exposición externa en el período especificado y a las dosis comprometidas causadas por incorporación durante el mismo período. El período para el cálculo de las dosis comprometidas será normalmente de 50 años para los trabajadores ocupacionalmente expuestos y de 70 para los miembros del público.

Los límites de dosis en trabajadores expuestos es de 20 mSv/año, producto de todas las irradiaciones que pudieran haberse presentado. Para el público en general es de 1 mSv/año.

En la tabla 9.1 se presentan los límites recomendados por la comisión internacional de Protección Radiológica. Las exposiciones médicas se encuentran excluidas de esta recomendación.



Tabla 9.1 Limites recomendados por la ICRP 60 año 1990.

APLICACIONES	LIMITES DE DOSIS	
	OCUPACIONAL	PUBLICO
Dosis efectiva	20 mSv/ año promedio definido sobre un periodo de 5 años	1 mSv/año
Dosis equivalente anual en: El cristalino del ojo	150 mSv	15 mSv
La piel	500 mSv	50 mSv
Las manos y los pies	500 mSv	



CAPITULO X

REQUISITOS DE LAS NORMAS BASICAS INTERNACIONALES PUBLICACION 115 DEL OIEA

INTRODUCCION

El conjunto de requisitos básicos de protección contra las radiaciones ionizantes está contenido en las NBIS [18]. Estas normas son el resultado del esfuerzo conjunto y la colaboración internacional por llegar a criterios unificados sobre la seguridad de las prácticas que emplean radiaciones ionizantes y se fundamentan en las conclusiones más recientes de la información radioepidemiológica sobre los riesgos de la exposición a la radiación de bajo nivel, en los estudios sobre la radiación natural como causa de riesgo para la salud y en las recomendaciones de la CIPR. En su elaboración colaboraron la FAO, el OIEA, la OIT, la OCDE/AEN, la OPS y la OMS. Los principales requisitos de las NBIS se dividen en **requisitos a las prácticas y requisitos a la intervención** y se concentran en solo unas páginas.

Las medidas que se establecen en las NBIS están dirigidas a lograr los objetivos de la seguridad radiológica sin renunciar a las ventajas del uso de las radiaciones ionizantes, o sea, asegurar la prevención de los efectos deterministas y reducir la inducción de efectos estocásticos. Para la mejor comprensión de tales medidas, ante todo es necesario detenerse en algunas definiciones y enfoques conceptuales que aparecen en los **requisitos generales**. Ante todo, en las NBIS se definen las partes responsables a las que se aplican la mayoría de los requisitos, entendiéndose por tales:

- La Autoridad Reguladora y para la intervención, las organizaciones interventoras, las que tienen la responsabilidad de introducir y obligar al cumplimiento de los requisitos de las NBIS.
- Los titulares de licencia y registro y las entidades empleadoras los cuales están obligados a aplicar los requisitos de las NBIS según se establezca por la Autoridad Reguladora.
- Otras partes con responsabilidad tales como los suministradores, los trabajadores, los Responsables de Protección Radiológica, los médicos, los profesionales de la salud, los comités de ética, etc. en los que se haya delegado alguna responsabilidad específica.

Aunque el alcance de su aplicación dependerá siempre del tipo de práctica y fuente de que se trate, de la naturaleza de las operaciones y de las posibilidades de exposición, los requisitos generales que establecen las NBIS a las prácticas se agrupan en los siguientes:

1. **Administrativos:** Consisten en la obligación de la notificación, la inscripción en registro y la concesión de licencias como parte esencial de un sistema de control regulador estructurado sobre la base de un mecanismo de autorización e inspección que enfatiza la responsabilidad de la dirección de las instituciones donde se realizan las prácticas o se emplean las fuentes de radiaciones ionizantes sobre la seguridad de sus instalaciones.
2. **Gerenciales:** Se refieren, en primer lugar, a los aspectos que definen la cultura de seguridad, como son: la definición clara de las funciones de cada eslabón de la estructura jerárquica de la institución en materia de seguridad, la adopción de una política precisa de seguridad, la existencia de procedimientos adecuados para



garantizarla y el establecimiento de cauces de comunicación que permitan en todo momento su evaluación y la introducción sin dilación de medidas correctoras. Incluyen además, la necesidad de aplicar programas para asegurar y controlar la calidad y la efectividad de las medidas de protección, los factores humanos que inciden en la seguridad y la conveniencia de identificar y contar con una consultoría calificada en materia de seguridad y protección.

3. **De protección radiológica:** Como se vio en el capítulo referido a los efectos biológicos, la definición de los efectos estocásticos parte de la consideración de una dependencia lineal, sin umbral, del riesgo con la dosis, o lo que es lo mismo: a cualquier dosis por baja que sea le corresponde una probabilidad de efecto y por lo tanto un riesgo. Fundamentado en esta concepción surgió el principio ALARA (en inglés "As Low As Reasonably Achievable"), el que postula que la exposición debe ser reducida al mínimo razonable. Para conseguir esta reducción, junto con el principio de limitación de la dosis, en protección radiológica surgieron los conceptos de justificación y optimización. Cualquier exposición, incluida la exposición por debajo de los límites anuales sólo puede ser admitida si está justificada, o sea si de ella se deriva un beneficio neto. Para medir si la exposición ha sido reducida a un mínimo razonablemente aceptable la protección debe ser optimizada. Los esfuerzos realizados en este sentido en los últimos 20 años han dado por resultado una reducción sensible de las dosis a las que son sometidos los trabajadores y el público durante la aplicación de las técnicas nucleares. Se establece como un requisito para alcanzar la optimización de la exposición ocupacional y potencial, la introducción de restricciones a la dosis y al riesgo. Mediante las restricciones es posible aplicar límites diferenciados de exposición para las prácticas que tienen en cuenta las desigualdades en el diseño de las fuentes y en su contribución a la exposición ocupacional y del público.
4. **Técnicos:** Incluyen las medidas para controlar el uso, transferencia e inventario de las fuentes y las condiciones para su almacenamiento: los requisitos de blindaje, contención y confinamiento durante la operación normal y para prevenir accidentes o atenuar sus consecuencias que componen el concepto de defensa en profundidad, así como la aplicación de buenas prácticas tecnológicas durante su diseño y construcción.
5. **De verificación:** Establecen la necesidad de una evaluación sistemática de la seguridad de las prácticas y fuentes, las medidas para comprobar la correspondencia con los **requisitos técnicos** y las normativas aplicables mediante el muestreo y la medición así como los registros de los datos de las mediciones y de las decisiones relativas a las medidas de protección y seguridad.



CAPITULO XI

REQUISITOS ESPECIFICOS DE LA EXPOSICION OCUPACIONAL

INTRODUCCION

Como ya se definió, exposición ocupacional es toda exposición recibida por el trabajador en el curso de su trabajo, con excepción de las exposiciones excluidas del control regulador y de las exposiciones provenientes de las fuentes y prácticas exentas de dicho control. O sea, la exposición ocupacional es la que se recibe en las prácticas controladas y por lo mismo en ellas se incluyen aquellas exposiciones resultantes de prácticas relacionadas con fuentes naturales que la Autoridad Reguladora considere deban ser objeto de control. Como la exposición de los trabajadores involucrados en las medidas reparadoras que se adoptan durante una intervención se consideran controlables y caen bajo la responsabilidad de la dirección de la institución operadora de la fuente, también se consideran bajo la clasificación de exposición ocupacional.

Usualmente la exposición a las fuentes naturales está excluida y cuando no lo está como generalmente es el caso de la exposición al radón, debe ser considerada como crónica y, de ser necesario, puede ser objeto de intervención. Cuando se dan circunstancias especiales como que la exposición al radón sea requerida por el trabajo, se relacione con éste o sea una incidental en el trabajo pero a niveles tales que resulte necesario controlarlos, dichas actividades pueden ser consideradas como prácticas. En tales circunstancias, a las exposiciones se les aplican los requisitos de la exposición ocupacional. Otras actividades que implican la exposición a fuentes naturales que pueden ser consideradas dentro de la exposición ocupacional son: a) la minería, tratamiento de minerales, manipulación y uso de materiales que contienen una concentración elevada de radionucleidos naturales; b) los procesos donde se concentran los radionucleidos naturales, por ejemplo la formación de costras en tuberías y oleoductos; y c) otros lugares de trabajo donde las tasas de dosis gamma están elevadas debido a la presencia de sustancias radiactivas en el suelo y los materiales de construcción. Pueden considerarse también dentro de la exposición ocupacional a las tripulaciones de aeronaves supersónicas y de vuelos espaciales, así como las que están expuestas al incremento de la radiación cósmica como consecuencia de vuelos a grandes altitudes.

Los requisitos específicos de la exposición ocupacional están referidos a responsabilidades, límites de dosis, optimización de la protección radio-lógica, programas de protección radiológica, intervención en emergencias y vigilancia médica.

Las responsabilidades de los titulares de autorización recaen en su dirección o gerencia principal y consisten en asegurar que las exposiciones se encuentren dentro de los límites establecidos por las normas y regulaciones vigentes, que la protección sea optimizada y que se elaboren e implementen los programas de protección radiológica. Los trabajadores están obligados a contribuir a la protección y seguridad suya y de los demás, así como a retroalimentar a la dirección, especialmente cuando hay problemas.

En la Figura 11.1 se muestran los elementos claves de la organización de la seguridad radiológica que considera la publicación 75 de la CIPR [31] como necesarios para cumplir con los requisitos de seguridad y que se fundamentan en los principios de una buena gerencia.

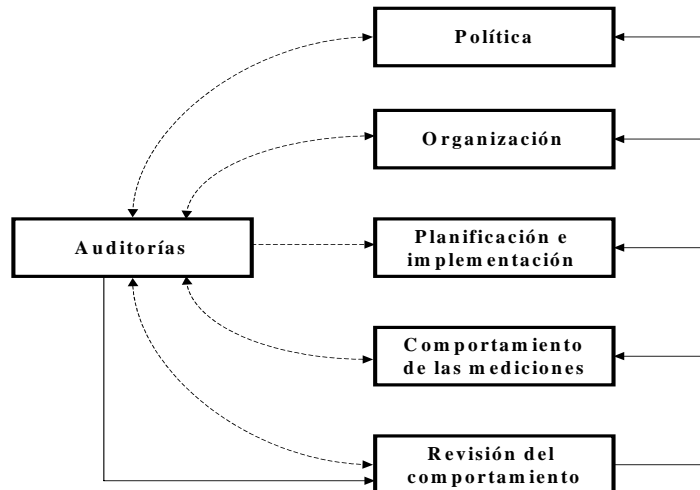


Figura 11.1. Elementos claves para lograr una gerencia exitosa de seguridad.

11.1 Condiciones de servicio

Un problema que preocupa siempre a los trabajadores son las medidas de compensación. En las NBIS se establece (y es importante anotarlo) que las condiciones de seguridad no pueden ser sustituidas con medidas especiales de compensación como son un tratamiento salarial diferenciado y ventajoso, una jornada laboral más corta, vacaciones o días de descanso adicionales, etc. Esto no significa que, siempre y cuando las condiciones de trabajo satisfagan los requisitos de seguridad y protección, la legislación laboral de uno u otro país o las direcciones (gerencias) particulares de una u otra empresa o institución no contemplen la posibilidad de favorecer o estimular a quienes trabajan en condiciones de exposición a las radiaciones ionizantes. La esencia del requisito es que tales medidas no pueden ser ofertadas ni usadas como sustitutas de las medidas de seguridad y protección.

Medidas especiales de protección requieren el embrión y el feto y es por eso que las NBIS establecen que la mujer trabajadora que sospeche o haya confirmado su estado de gestación debe informarlo de inmediato para que le sean modificadas las condiciones de trabajo. Esta modificación es necesaria cuando, en las condiciones laborales de la trabajadora y teniendo en cuenta las probabilidades y consecuencias de las exposiciones potenciales, no se puede asegurar al embrión o el feto un nivel de exposición igual al establecido para el público. El modificar las condiciones de trabajo de la gestante no significa que se le excluya del trabajo. Dentro de las soluciones posibles está transferirla a otro puesto de trabajo, modificarle los objetivos de trabajo, etc.

Los empleos o tareas alternativos han de tenerse en cuenta no sólo para las mujeres embarazadas y en algunos casos, las que están lactando. Estos se deben considerar también cuando un trabajador no pueda continuar desempeñando tareas que impliquen exposición a las radiaciones ionizantes. Situaciones así se presentan cuando los resultados de la vigilancia médica o del control radiológico aconsejan que el trabajador sea separado temporalmente de la exposición a fuentes de radiación.

En las NBIS se establece que ninguna persona menor de 16 años puede ser sometida a exposición ocupacional. Entre los 16 y 18 años se admite la exposición con fines de entrenamiento, bajo supervisión y en condiciones tales que no se superen los límites de dosis especificados en las NBIS.



11.2 Clasificación de zonas

Las zonas de trabajo se clasifican en controladas y supervisadas. La asignación de una u otra clasificación a los locales y áreas de una instalación corresponde a su dirección.

Las Zonas Controladas son aquellas en las que se requiere establecer disposiciones de seguridad y medidas específicas de protección en los procedimientos de operación a fin de controlar las exposiciones previstas, impedir la dispersión de contaminaciones radiactivas en las condiciones normales de trabajo y prevenir las exposiciones potenciales o limitar su alcance. La definición de un área como controlada está en función o no de la necesidad de adoptar procedimientos de control para asegurar niveles óptimos de protección y se fundamenta en la experiencia y el buen juicio.

En las zonas donde no existen posibilidades de contaminación puede ser útil establecer valores de tasa de dosis basados en una fracción determinada de los límites de dosis para determinar sus fronteras. Para evitar estimaciones erróneas del riesgo o costos innecesarios, dichos valores deben ser el resultado de una cuidadosa evaluación de la magnitud y extensión de las exposiciones potenciales que incluya, por ejemplo, el tiempo en que la tasa de dosis permanece cercana o igual al nivel propuesto y la distancia a que esto ocurre. Las zonas donde existen posibilidades de contaminación generalmente son controladas, aunque cuando se trabaja con materiales conteniendo bajas concentraciones de radionucleidos naturales o cuando se trabaja con cantidades muy pequeñas de materiales radiactivos, puede no ser necesaria esta clasificación.

Las Zonas Controladas deben estar debidamente delimitadas, señalizadas con el símbolo de peligro radiactivo y su acceso ser restringido sólo al personal autorizado. En ellas deben usarse dosímetros individuales u otros medios de medición que permitan una evaluación de la dosis, medios de protección como ropas o calzado especial cuando es necesario y deben observarse procedimientos de operación y de seguridad prescritos de manera documental. El alcance de estas medidas está en función de la magnitud esperada de las exposiciones previstas y potenciales. A los efectos prácticos, aunque esto signifique que el tamaño de las áreas puede ser mayor que el requerido por la protección radiológica, es muy conveniente que la delimitación de las zonas se realice empleando edificios, paredes, pasillos u otros elementos constructivos u ornamentales de la edificación. Cuando se trabaja con fuentes portátiles es necesario contar con medios para delimitar las fronteras de la zona controlada de forma fácilmente identificable. Esto es importante por ejemplo para las instalaciones de radiografía industrial y se utilizan barreras, cintas, parabanes, etcétera.

El personal que no trabaja habitualmente en las zonas controladas pero que deba visitarla por razones de mantenimiento, controles administrativos, entrenamientos, etc. debe ser instruido en las medidas a observar durante su permanencia en el área y es un requisito evaluar la dosis recibida por estas personas.

Las Zonas Supervisadas son aquellas que no fueron definidas como controladas pero en las que, debido a la probabilidad de exposiciones previstas o potenciales, las condiciones de trabajo deben mantenerse bajo revisión aun cuando no se necesiten medidas específicas de protección. Por ejemplo, los laboratorios donde se emplean cantidades pequeñas de materiales radiactivos o se manipulan bajas concentraciones de radionucleidos naturales que no requieren de la clasificación de Zonas Controladas



deben ser consideradas Zonas Supervisadas; algunos locales o puestos de trabajo cercanos a las Zonas Controladas deben ser Zonas Supervisadas cuando se entienda que las medidas y procedimientos de control aplicados no son suficientes.

Las Zonas Supervisadas también se delimitan físicamente y se señalizan con los símbolos apropiados. Periódicamente se les somete a control radiológico, el que incluye el monitoreo de área e individual en algunos casos, para determinar la necesidad de introducir nuevas medidas de seguridad, o modificar sus fronteras. Es muy conveniente que para el acceso a estas áreas sea requisito cumplir algunas formalidades. Al igual que para las Zonas Controladas su definición debe estar basada en la experiencia y el buen juicio. Una medida razonable será que fuera de sus límites se garanticen niveles de seguridad y protección aceptables para el público.

11.3 Verificación de la limitación de la dosis

Como se recordará, las magnitudes en las que se expresan los límites de dosis son la dosis efectiva y la dosis equivalente. La dosis efectiva se considera un indicador apropiado del detrimento a la salud debido a los efectos estocásticos esperados para los niveles en que se trabaja en condiciones normales y el límite de dosis equivalente se establece para asegurar que no aparecerán efectos determinísticos en la piel y el cristalino. Ambas magnitudes se refieren a la suma de las dosis efectivas o equivalentes recibidas por exposición externa y de las dosis efectivas o equivalentes comprometidas por la incorporación de radionucleidos. Para evaluar la dosis efectiva recibida por el trabajador es necesario la introducción de magnitudes operacionales que den estimados aceptables para la mayoría de los campos de radiación. Las magnitudes operacionales para el control radiológico de área son: la dosis equivalente ambiental $H^*(d)$ y la dosis equivalente direccional $H'(d)$, que ya fueron definidas, y para el control individual la dosis equivalente personal $H_p(d)$. La dosis por exposición interna se calcula a partir de la incorporación, o sea, mediante la estimación de la actividad de los radionucleidos incorporados al organismo vía inhalación, ingestión o la piel y su multiplicación por el valor apropiado de la dosis equivalente comprometida por unidad de incorporación correspondiente al órgano o tejido de que se trate.

Para demostrar el cumplimiento de los límites de dosis efectiva para la exposición ocupacional se compara la dosis efectiva total obtenida en un año con el límite de dosis correspondiente. Tal como se vio, el límite de dosis efectiva para la exposición ocupacional es de 20 mSv. No obstante, si la dosis anual de un trabajador supera los 20 mSv es muy conveniente aplicar las siguientes medidas: revisar si la dosis fue optimizada, adoptar medidas para que la dosis acumulada dentro del período de los 5 años considerados no sea superior a 100 mSv e informar a la Autoridad Reguladora sobre las circunstancias que determinaron tales valores.

11.4 Programa de protección radiológica

Para garantizar los requisitos de seguridad es indispensable que en las instituciones donde se realicen prácticas se elaboren planes o programas de protección radiológica que satisfagan las necesidades de cada práctica y permitan luego su optimización. Estos planes deben sistematizar las acciones de seguridad y estar dirigidos, en primer lugar, a garantizar los niveles identificados como aceptables. Deberán cubrir los aspectos de la protección del personal, el público y cuando proceda, de los pacientes, así como de la seguridad de las fuentes y deberán permitir evaluar si los esfuerzos que se dedican a la protección son razonables y suficientes, o si, por el contrario hay que dedicar más recursos y personal a determinados aspectos. En su elaboración deben tenerse en cuenta todos los elementos de la protección



radiológica y si dichos elementos se ajustan o no a la práctica en cuestión, para así no olvidar o pasar por alto alguno que pudiera resultar importante.

El programa de protección radiológica además de ser ajustado a la complejidad de la práctica en cuestión debe estar documentado y describir, con un nivel apropiado de detalle lo siguiente:

- a) la asignación de responsabilidades entre los distintos niveles de dirección, incluyendo las disposiciones administrativas para ello;
- b) la designación de las zonas controladas y supervisadas;
- c) las instrucciones particulares de seguridad, los procedimientos de trabajo y las formas de supervisión de su cumplimiento;
- d) los procedimientos de vigilancia radiológica individual y de los puestos de trabajo;
- e) el sistema para el registro de toda la información relevante en relación con el control de las exposiciones, las decisiones sobre seguridad y protección radiológica y el control individual de la dosis;
- f) el programa de capacitación y entrenamiento del personal;
- g) los métodos para revisar y auditar periódicamente el comportamiento del programa de protección radiológica;
- h) el plan de medidas de intervención;
- i) la vigilancia de la salud de los POE.

El primer paso para la elaboración de un programa es definir su objetivo. Tratándose de la protección radiológica dicho objetivo deberá ser el de conformar un sistema eficiente que garantice todos los aspectos de la seguridad en condiciones normales y de emergencia que satisfagan los requisitos de las correspondientes regulaciones y que se ajusten a las necesidades particulares de las prácticas o fuentes involucradas. En el análisis para la elaboración del programa, se tendrán en cuenta las particularidades de la seguridad del diseño de las fuentes, los locales y sus características constructivas, la ubicación de la institución y características de las instalaciones vecinas, la posible presencia de público y su frecuencia, los recursos materiales con que se cuenta para la medición y la protección, así como el personal de que se dispone para ejecutar las diferentes tareas. El programa debe también tener presente las medidas y recursos necesarios para actuar en caso de tener lugar alguna de las exposiciones potenciales previstas.

11.5 Control radiológico ocupacional

Según las recomendaciones de la CIPR, el control radiológico operacional debe ser enfocado de modo que contemple tanto la evaluación "a priori" de las operaciones a fin de identificar las fuentes de las que razonablemente se pueda esperar una exposición potencial, de hacer estimados realistas de las dosis y de determinar las medidas de protección radiológica necesarias, como el establecimiento de un régimen de control en correspondencia con el tipo y complejidad de los riesgos que satisfagan el principio de optimización. Sobre estas bases, los componentes básicos del control radiológico ocupacional que debe contemplar el programa de protección radiológica son: a) el control de las fuentes de radiación; b) el control de la exposición; c) las normativas, límites y niveles de referencia que sirvan de parámetros de comparación y evaluación y d) la evaluación de la exposición y la vigilancia radiológica.

Como establecen los requisitos generales de las NBIS vistos en el capítulo correspondiente, el **control de las fuentes** se lleva a cabo durante toda su vida útil mediante su almacenamiento adecuado, inventario, registros de recepción, entrega, utilización y movimientos, comprobaciones de hermeticidad y actividad si procede y la



conservación de la documentación que certifica su actividad y vigencia y las verificaciones efectuadas, así como a través del control de las transportaciones y de los vehículos empleados para la transportación si éstas se efectúan. Cuando ha cesado su utilidad o cuando han pasado a formar parte de materiales para los que no se prevé una utilización ulterior, el control comprende el registro de los desechos radiactivos generados, su colección, almacenamiento para decaimiento y evacuación o traspaso a una institución especializada en su tratamiento o conservación.

Los registros de desechos deben contemplar el tipo según una clasificación preestablecida, la cantidad (volumen), la identificación del envase, la fecha de recolección, los radionucleidos principales contenidos, un estimado de la actividad, los resultados de las mediciones realizadas y la fecha de posible evacuación cuando se almacenan para decaimiento.

Cuando se transportan materiales radiactivos es necesario controlar los movimientos, la cantidad y tipo de los materiales transportados, las características de diseño de los bultos radiactivos y la identificación y estado de los vehículos de transporte.

Si se trabaja con fuentes selladas, son esenciales para el **control de la exposición** los requisitos de blindaje y manipulación a distancia, la existencia de dispositivos de bloqueo de puertas, de desconexión automática de la fuente y de sistemas de aviso y señalización, todos los cuales deben formar parte del diseño de la fuente y su recinto. El programa de protección radiológica contemplará entonces su correcta selección y las medidas para la verificación de la efectividad de los blindajes y para la evaluación del funcionamiento de los medios de manipulación a distancia, de restricción de acceso y de alarma y señalización. Si se trabaja con fuentes no selladas, es indispensable el empleo de medios para el confinamiento de las fuentes y la contención de las contaminaciones, como son campanas, cajas de guantes, cámaras herméticas y otros medios tecnológicos que además garantizan el blindaje necesario. Para lograr un ambiente adecuado de trabajo y evitar la dispersión de contaminantes, los sistemas de ventilación y filtración del aire deben ser independientes de otras áreas de trabajo, deben garantizar una multiplicidad de intercambio ajustada a la actividad y características de las fuentes con que se trabaja y ser diseñados para asegurar una circulación del aire desde los locales de menor posibilidad de contaminación a los de mayor posibilidad. Con este mismo fin es fundamental el diseño de los locales dotándolos de superficies lisas, poco porosas y sin adornos, así como de esclusas y locales a la entrada de las áreas de trabajo con facilidades para el cambio de ropas, el control de la contaminación del vestuario, el calzado y otros objetos y la descontaminación del personal y de los medios individuales de protección. En el acabado se debe tener en cuenta el empleo de recubrimientos de los pisos, paredes, techos y las superficies de los puestos de trabajo con materiales lavables, resistentes a la acción de los agentes químicos que se aplican para la descontaminación. Durante el trabajo debe contemplarse la utilización de bandejas, papel absorbente, guantes, ropa de protección y, de ser preciso, calzado y medios para la protección de las vías respiratorias.

Otro componente del control de la exposición que debe contemplar el programa de protección radiológica es la realización sistemática de evaluaciones preliminares de seguridad cada vez que se piense acometer nuevos trabajos. El grado de esfuerzo, detalles y formalidad de estas evaluaciones dependerán de la magnitud de las exposiciones normales que se prevean y de la probabilidad de las potenciales. Ella debe incluir, como mínimo: la identificación y caracterización de las fuentes involucradas en las operaciones que se realizarán; un estimado real de las dosis



producto de las exposiciones normales y potenciales y la identificación de las medidas y requisitos de protección para cumplir con el principio de optimización.

El control de la exposición requiere que el programa incluya también medidas de carácter organizativo-administrativo para establecer la clasificación de las zonas en controladas y supervisadas, entre las que se encuentran definir su extensión y denominación, determinar sus niveles de acceso y dictar las regulaciones que dentro de ellas se deberán observar.

Las instrucciones de seguridad radiológica, los procedimientos de operación y de seguridad, las normativas vigentes, las restricciones a la dosis y al riesgo, los niveles de investigación y registro para las exposiciones, para la contaminación superficial y del aire en los locales de trabajo o a la salida de los sistemas de ventilación, son indicaciones de desempeño que sirven de **parámetros de comparación** para medir la eficacia del programa de protección radiológica, de modo que su establecimiento, revisión y actualización son tareas que no pueden estar ausentes del control radiológico ocupacional.

Entre los procedimientos generales de seguridad que deben ser documentados y aprobados se distinguen:

- a) la descripción y modo de empleo de los registros de protección radiológica, tales como: expediente radiológico individual, vigilancia radiológica, desechos radiactivos e inventarios;
- b) los procedimientos de vigilancia radiológica individual, de los puestos de trabajo y del medio ambiente, de transportación de sustancias radiactivas, de recolección y almacenamiento de desechos, de descontaminación de superficies, de solicitud, recepción y entrega de material radiactivo, de comprobación de la hermeticidad de las fuentes selladas, de control de los visitantes, de evacuación de efluentes, de calibración de equipos de medición y de equipos emisores de radiación, de supervisión y auditoría y de delimitación de zonas radiológicamente peligrosas, entre otros posibles.

Los procedimientos de operación deben comprender todo lo que el trabajador debe conocer antes de comenzar una tarea: a) lo que va a hacer, b) los riesgos que implica, c) el nivel de monitoreo que se requiere, d) los medios de protección a utilizar, e) las posibles contingencias y f) como conducirse ante cambios inaceptables u otros incidentes. Los procedimientos de operación deben incluir también las leyendas y señales que advierten sobre los niveles de exposición, las áreas de riesgo, la posición de la fuente u otras informaciones importantes para su seguridad y el requisito de asentar las indicaciones observadas en los registros de trabajo.

Los niveles de investigación y de registro son una herramienta para evaluar cuantitativamente la necesidad de revisar los procedimientos o la forma en que éstos se llevan a cabo y forman parte de los denominados niveles de referencia.

La vigilancia radiológica y la evaluación de la exposición es una parte del programa de protección radiológica que debe comprender no solamente la medición y el muestreo, sino también la interpretación y la evaluación de sus resultados. La vigilancia radiológica comprende tanto la vigilancia radiológica individual como la vigilancia radiológica de los puestos de trabajo. Los objetivos de la vigilancia radiológica son: a) demostrar el grado de adecuación del sistema de supervisión en general, de las tecnologías y métodos empleados; b) estimar la exposición de los trabajadores para probar el cumplimiento de los requerimientos legales; c) confirmar la aplicación de buenas prácticas en el trabajo; d) evaluar y desarrollar los



procedimientos de operación mediante la revisión de los datos recogidos individualmente y por grupos, o sea, utilizar los datos de la vigilancia radiológica individual para identificar los rasgos buenos y malos de los procedimientos aplicados y del diseño de las instalaciones; e) suministrar información útil para motivar a los trabajadores a reducir su exposición y f) facilitar información para la evaluación de las dosis en caso de exposiciones accidentales.

La vigilancia radiológica de los puestos de trabajo se clasifica según su finalidad y alcance. Según su finalidad puede ser: *rutinaria (de control)*, cuando se diseña fundamentalmente para demostrar que las condiciones de trabajo son satisfactorias y que se cumplen los requerimientos legales; *específica (operativa)*, cuando se aplica a una tarea en particular para decidir sobre ella o para optimarla y *especial* cuando se persigue un fin investigativo, por ejemplo, durante la puesta en marcha, después de modificaciones importantes o cuando ha tenido lugar un suceso anormal. La vigilancia radiológica de los puestos de trabajo incluye el monitoreo de la exposición externa, de la contaminación superficial y de la contaminación del aire de los locales. Su naturaleza y frecuencia deben ser suficientes para valorar, desde el punto de vista radiológico, las condiciones de los puestos de trabajo, evaluar la exposición y revisar la clasificación de las zonas. Se organiza en función de las magnitudes a medir, del lugar y el momento de las mediciones, de los métodos a emplear y de las acciones que sería necesario adoptar cuando son excedidos los valores de referencia. La vigilancia radiológica de los puestos de trabajos es la única fuente de información para estimar las dosis anuales de aquellos trabajadores que no están sujetos a la vigilancia radiológica individual.

La naturaleza, frecuencia y precisión de la vigilancia radiológica individual se establecen en consideración de la magnitud y las posibles fluctuaciones de los niveles de exposición previstos y de la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales. Se aplica donde es apropiado, adecuado y factible y comprende el monitoreo de la exposición externa y el monitoreo de la dosis debida a las incorporaciones (monitoreo de la contaminación interna).

Para llevar a cabo un monitoreo eficiente, el programa de protección radiológica debe contemplar: a) la especificación del tipo y extensión del control radiológico a realizar; b) la selección, ensayo, calibración y mantenimiento de los instrumentos y dosímetros apropiados; c) la recolección de muestras, la medición y estimación de la dosis; d) el procesamiento e interpretación de los datos de las mediciones; e) el mantenimiento de los registros adecuados y f) la implementación de medidas de aseguramiento de la calidad. Para la medición y el muestreo deberán tenerse en cuenta la cantidad y rangos de medición de los equipos y los procedimientos de medición, verificación e interpretación los resultados. La confiabilidad de las mediciones depende de la calibración de los instrumentos y dosímetros, la que deberá hacerse con fuentes de radiación cuyas tasas de emisión sean trazables a patrones mantenidos por laboratorios de calibración dosimétrica primarios o secundarios. El sistema de registro debe servir para demostrar el grado de cumplimiento de las regulaciones y permitir la evaluación de la exposición y el análisis de su tendencia.

11.6 Medidas para casos de emergencia

A partir de la valoración hecha de los posibles sucesos anormales, sus causas y consecuencias, el programa de protección radiológica deberá contemplar la autoridad y responsabilidades de los diferentes niveles de la estructura en caso de emergencias,



el orden y las formas de aviso, las fuerzas y medios que participan y los planes de entrenamiento de las brigadas de emergencia.

Las fuerzas y medios incluyen tanto al personal de la institución como a otro personal de apoyo (bomberos, policía, asistencia médica) los equipos y medios de medición y de comunicaciones de emergencia, su localización y estado, los recursos necesarios para la descontaminación, para los primeros auxilios, para la recuperación de las fuentes y para la colección y tratamiento de los desechos radiactivos.

Para declarar una emergencia es necesario el establecimiento previo de valores que indiquen la gravedad de la situación y permitan la adopción de diferentes medidas de protección, así como la intervención de las fuerzas y medios de apoyo exterior.

Entre las medidas para casos de emergencia se debe contemplar el monitoreo individual del personal que participa en la intervención, ajustado a tres categorías: 1) los trabajadores a quienes se ha dado la misión de salvar vidas o de evitar que se alcancen o intensifiquen los posibles daños a la población, 2) la policía, los médicos, choferes y otro personal de apoyo cuya misión consiste en proteger al público mediante la adopción de medidas protectoras y que de actuar podrían incurrir en exposiciones y 3) los trabajadores que participan en las medidas de recuperación tales como reparaciones, descontaminaciones y recogida de desechos radiactivos. Los datos de las dosis recibidas por los trabajadores durante una intervención se recomienda que sean registrados aparte de los de las dosis ocupacionales normales. Esta clasificación responde a las condiciones de trabajo bajo las cuales se encuentra el personal y los límites que se aplicarán. Para el primer grupo, específicamente para los que participan en el control de un accidente y para los que se encuentran involucrados en acciones protectoras la dosis efectiva no deberá sobrepasar el valor del límite de dosis máximo anual para la exposición ocupacional excepto cuando se trate de salvar vidas o prevenir lesiones graves, evitar grandes dosis colectivas, o cuando se trate de impedir la evolución de situaciones catastróficas. En tales circunstancias se aplica un nivel orientativo de 100 mSv para todas las acciones excepto las dirigidas a salvar vidas, para las que se ha recomendado el valor de 500 mSv de dosis efectiva máxima. Evidentemente, este valor pudiera ser excedido siempre que los beneficios a terceros sean mayores que el riesgo propio de quienes participan en la intervención. Una vez que la emergencia está bajo control, las medidas reparadoras que se adopten pueden ser consideradas dentro de los límites de la exposición ocupacional y como tal deberán ser controladas.

11.7 Vigilancia médica ocupacional

De acuerdo con las NBIS los programas de vigilancia médica ocupacional de los POE deben:

- a) basarse en los principios generales de la salud ocupacional;
- b) tener por objetivo la evaluación de la aptitud inicial y permanente de los trabajadores para las tareas a que se les destine.

Otro de los objetivos de la vigilancia médica es brindar una información de partida que puede utilizarse en caso de exposiciones accidentales, enfermedades ocupacionales, en caso de asesorías específicas a trabajadores, relacionadas con los riesgos radiológicos a los cuales ellos están o podrían estar expuestos y como apoyo en el manejo de trabajadores sobreexpuestos.

Tanto los exámenes iniciales como los subsiguientes deben ser exhaustivos en la identificación y detección de impedimentos psicofísicos que limiten las capacidades de



trabajo en condiciones de exposición ocupacional o aumenten la vulnerabilidad a los efectos de las radiaciones ionizantes. No obstante hay tres situaciones que merecen atención particular:

- a) la aptitud del trabajador para soportar el trabajo usando medios de protección de las vías respiratorias,
- b) la aptitud de un trabajador con enfermedades de la piel como eczemas o psoriasis para manipular fuentes no selladas,
- c) la aptitud de un trabajador con desórdenes psicológicos para trabajar con fuentes de radiación.

Los exámenes médicos periódicos deben centrarse en confirmar que durante el trabajo con radiaciones no se ha desarrollado ninguna condición clínica que pudiera perjudicar la salud del trabajador. La periodicidad de los exámenes médicos ejecutados debe ser similar a los de cualquier otro programa de vigilancia médica (típicamente anual o bienal) excepto para aquellos trabajos donde exista un riesgo potencial de daño a la piel, particularmente a las manos, donde debe examinarse la piel de forma periódica.

La aptitud para el trabajo en condiciones de exposición ocupacional quedará determinada por la valoración integral de los elementos del examen médico. El dictamen de aptitud debe fundamentarse en el análisis de las cualidades psicofísicas de cada trabajador para el desempeño de sus funciones laborales específicas.

Los registros de la vigilancia médica deben ser confidenciales y conservarse por un período de tiempo mínimo igual al de la actividad laboral del trabajador. Sin embargo debe valorarse si es factible aumentar el período de conservación debido a la posibilidad de que se presenten litigios legales.



CAPITULO XII

REQUISITOS ESPECIFICOS DE LA EXPOSICION DE PUBLICO

INTRODUCCION

El público se encuentra expuesto a fuentes de diversos orígenes y magnitudes. Ellas abarcan desde la radiactividad natural, hasta la exposición derivada del ciclo del combustible nuclear y la industria de armamentos. Se conoce y acepta con facilidad que las prácticas vinculadas con la utilización de fuentes de radiación en la medicina, la industria, la agricultura, la investigación y la generación de energía precisan de la aplicación de requisitos de protección radiológica que incluyan entre sus finalidades la protección del público, sin embargo, es menos común y en algunos casos desconocido que el trabajo con fuentes naturales en ocasiones también requiere de medidas de control.

Los radionucleidos presentes en el medio es posible clasificarlos de acuerdo con el proceso que determinó su origen. Si utilizamos este criterio podemos distinguir dos grandes grupos, uno el de los radionucleidos formados como resultado de procesos naturales, los que son conocidos como radionucleidos naturales y otros originados por la acción del hombre, también llamados radionucleidos artificiales.

Como es de esperar, la concentración de los radionucleidos naturales en los diferentes objetos ambientales y por tanto, los valores de exposición del público a esta fuente, no es uniforme en todos los lugares del planeta, variando incluso en varios órdenes de magnitud. Este hecho está determinado por varios factores entre los que se encuentran: el origen de los minerales y del suelo, la posición geográfica, las condiciones climáticas e hidrológicas, así como las modificaciones tecnológicas introducidas por el hombre.

La exposición del público, es considerada como aquella sufrida por miembros del público a causa de fuentes de radiación, excluidas cualquier exposición ocupacional o médica y la exposición a la radiación natural de fondo normal, pero incluida la exposición debida a las fuentes y prácticas autorizadas y a las situaciones de intervención.

La exposición del público, en la que inciden: la liberación de materiales radiactivos al ambiente, el vertido de desechos, algunos productos de consumo, el incremento de los niveles naturales, entre otros factores, tiene algunos elementos que deben ser considerados con especial atención: a) toda fuente o práctica que sea considerada bajo control es también una fuente de exposición al público, incluidas las fuentes naturales cuando sus niveles sobrepasan los normales del fondo y b) se consideran fuentes de exposición del público las exposiciones crónicas objeto de intervención como las debidas al radón en interiores.

12.1 OPTIMIZACION

Los requisitos específicos para la exposición del público están referidos en primer lugar al aseguramiento de la optimización de su protección mediante la aplicación de restricciones a las fuentes bajo control y a la limitación de la exposición del grupo crítico atribuible a tales fuentes, de forma tal que su exposición total, o sea, la debida a la suma de los aportes de todas las vías y fuentes, no sobrepase el límite anual impuesto de 1 mSv. El grupo crítico se caracteriza, entre otros aspectos, por un valor homogéneo y máximo de dosis. Las restricciones a las fuentes, a su vez, deben ser



seleccionadas de modo que, dejando una reserva para cambios imprevisibles y exposiciones futuras, la contribución de esa fuente o práctica en específico sea solo una pequeña fracción de la contribución del fondo natural a la carga radiacional de la población.

Para garantizar la seguridad del público, los encargados del control de las fuentes están obligados a establecer, implementar y mantener un grupo de medidas tendientes a lograr la seguridad del diseño y la operación de las fuentes, disminuir su contribución a valores que estén por debajo de los límites establecidos, a monitorear el ambiente para confirmar que dichos valores se cumplen y a elaborar planes de emergencia en correspondencia con la naturaleza y magnitud del riesgo a ellas asociado. El monitoreo del ambiente que se lleva a cabo para evaluar la exposición del público consiste en un programa:

- a) capaz de asegurar la verificación del cumplimiento de los niveles de exposición provenientes de la práctica,
- b) avisar si se produce un incremento de dichos niveles que entrañe una violación de las restricciones impuestas,
- c) responder eficientemente a una situación de emergencia
- d) comprobar los presupuestos asumidos durante la evaluación preoperacional sobre las consecuencias radiológicas de los vertidos de sustancias radiactivas al ambiente.

En relación con estas últimas se contempla la optimización de las medidas para su control sometiéndolos a las restricciones establecidas o aprobadas, las que se definen considerando:

- a) los procedimientos prácticos satisfactorios existentes,
- b) las incertidumbres sobre su impacto en las generaciones futuras,
- c) los posibles cambios de la práctica, de los hábitos y distribución de la población, de las condiciones dispersantes del medio y la modificación del grupo crítico
- d) las contribuciones de otras fuentes o prácticas, incluidas las posibles fuentes y prácticas futuras evaluadas sobre bases realistas.

12.2 VERTIDOS

Antes de verter al medio ambiente cualquier sustancia radiactiva sólida, líquida o gaseosa proveniente de una fuente el responsable de la fuente deberá determinar sus características y actividad, los métodos y puntos de vertido, determinar, por medio de un estudio preoperacional adecuado, las vías de exposición significativas por las que se pueda causar la exposición del público, evaluar las dosis a los grupos críticos y sobre estas bases, fundamentar a la Autoridad Reguladora los límites de vertido autorizados y las condiciones para su aplicación.

12.3 DESECHOS RADIATIVOS

Como componente importante de la contribución a la exposición del público, los desechos radiactivos también deben estar sujetos a requisitos y especificaciones. En primer lugar se establece la necesidad de reducir el volumen y actividad de los desechos generados y por tanto su impacto para las generaciones actuales y futuras. En segundo lugar se obliga a que los desechos se sometan a gestión y a que esa gestión se realice de ser posible, por tipos separados de desechos atendiendo al contenido radionucleídico, concentración, volumen, $T_{1/2}$ y propiedades físicas y químicas teniendo en cuenta las opciones existentes de evacuación.



12.4 CONTROLES DE LAS INSTALACIONES

A fin de reducir la exposición del público que visita las instalaciones, en los requisitos se establece que el control deberá garantizarse brindando una información adecuada y precisa sobre las medidas de protección que deberán ser observadas en las zonas controladas, acompañando a los visitantes de zonas controladas con personal debidamente calificado, conocedor de las medidas de protección y seguridad aplicables en esa área, ejerciendo un control adecuado sobre la entrada de visitantes a las zonas supervisadas y utilizando una adecuada señalización. Este requisito es válido, sobre todo, para los visitantes de los hospitales donde se realizan tratamientos con fuentes.

Otra fuente de exposición del público es la posible irradiación externa provocada por las instalaciones y la contaminación radiactiva en espacios cerrados. Esto atañe principalmente al personal que no trabaja directamente vinculado con las fuentes pero que forma parte de la plantilla de la institución donde ellas se emplean y que deben ser considerados público a los efectos de su exposición, tanto en condiciones normales como potenciales. Para ambas exposiciones se definen requisitos tendientes a garantizar el control de las fuentes y el diseño de sistemas de blindaje y contención adecuados que impidan la dispersión de los contaminantes hacia lugares de acceso del público y restrinjan su posible exposición.

En la vida cotidiana encuentran amplio uso numerosos productos de consumo que emiten radiaciones ionizantes. En algunos de ellos la radiación es la base de funcionamiento del dispositivo, mientras que en otros es un fenómeno consustancial ajeno a su finalidad.



CAPITULO XIII EXPOSICION MEDICA Y PROTECCION DE PACIENTES

INTRODUCCION

Entre las exposiciones a la radiación, tanto las normales como las potenciales, se contempla la exposición médica, la que fue definida como aquella que reciben los pacientes en el curso de su diagnóstico o tratamiento, la que reciben las personas que no están expuestas profesionalmente pero que conscientemente ayudan a procurar alivio y bienestar a los pacientes, así como la que reciben los voluntarios en el curso de un programa de investigación biomédica que implique su exposición.

13.1 REQUISITOS ADMINISTRATIVOS

Como en el resto de las prácticas, todo aquel que se proponga utilizar las radiaciones ionizantes con fines médicos deberá notificar a la Autoridad Reguladora ese propósito y solicitar la correspondiente autorización. Teniendo en cuenta las características de la exposición médica, dicha solicitud deberá incluir además de otra información establecida, la calificación en materia de protección radiológica de los facultativos médicos que van a ser designados nominalmente en la inscripción en registro o la licencia; o bien una declaración afirmando que sólo los facultativos médicos que posean las calificaciones en protección radiológica especificadas en el reglamento correspondiente o que se especifiquen en la inscripción en registro o la licencia, tendrán permiso para prescribir una exposición médica. La Autoridad Reguladora debe exigir también que la capacitación profesional que se establezca para todo el personal vinculado con la exposición médica, en dependencia de la función que realice dentro de la institución sea acreditada por una institución reconocida. Este tipo de acreditación es muy conveniente que se exija, por ejemplo, al físico médico, al terapeuta y a los técnicos que operan las instalaciones.

Es una particularidad de la exposición médica que los pacientes se beneficien de las dosis que reciben, bien sea porque les sirvan para diagnosticar una enfermedad que los aqueja, para tratarla o sencillamente porque le dan una esperanza de alargar su vida; pero, por otra parte, es posible que tales dosis sean lesivas para los tejidos sanos, sobre todo en terapia en que las dosis son generalmente altas. Otra complicación surge cuando las dosis terapéuticas al tejido tumoral son insuficientes (inferiores a las planificadas). Como en estas condiciones los errores pueden traer consecuencias fatales, son requisitos cardinales de la exposición médica los siguientes:

- a) que sean prescritas debidamente por facultativos médicos autorizados;
- b) que sea misión y obligación primordial de dichos facultativos el velar por la protección y seguridad de los pacientes;
- c) que los procedimientos diagnósticos o terapéuticos prescritos sean realizados por profesionales o técnicos de la salud que hayan recibido capacitación apropiada;
- d) que en las aplicaciones terapéuticas, incluidas la teleterapia y la braquiterapia se confíe a un experto calificado en física médica el cumplimiento de los requisitos de calibración, dosimetría y garantía de calidad o que dichas tareas se efectúen bajo su supervisión;
- e) que se restrinja la exposición de aquellas personas que prestan voluntariamente su asistencia para el cuidado, alivio o bienestar de los pacientes sometidos a exposición médica;
- f) que los criterios de capacitación de los facultativos médicos y de otro personal que participe o tiene responsabilidades en la exposición médica sean especificados por



la Autoridad Reguladora o estén sujetos a su aprobación, en consulta con los órganos profesionales competentes.

13.2 REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Justificación

A la exposición médica se le aplican los requisitos de justificación y optimización. La justificación se logra poniendo en la balanza, por una parte, los beneficios del diagnóstico o la terapia y, por otra, el detrimento que el empleo de las radiaciones ionizantes pudiera causar comparado con los beneficios y riesgos de otras técnicas de posible utilización que no impliquen exposición médica. En la justificación de cada tipo de examen mediante radiografía, fluoroscopia o medicina nuclear se tendrán en cuenta las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Según las recomendaciones de la CIPR, se pueden distinguir tres niveles de justificación de una práctica en medicina. Primero, la justificación la aplica la Autoridad Reguladora cuando en el análisis del solicitante se sopesan los beneficios y daños del empleo de una técnica con radiaciones en comparación con otras técnicas convencionales. Como en la mayoría de las aplicaciones médicas de las radiaciones el balance es favorable, la justificación se da por sentada. Ahora bien, aunque la técnica esté justificada es necesario justificar los procedimientos aplicados genérica e individualmente, lo que se tiene en cuenta en los otros dos niveles sucesivos de justificación.

La justificación genérica significa que el procedimiento produce un beneficio neto en la generalidad de los casos que presenten una sintomatología específica, por ejemplo, una radiografía de tórax se justifica siempre que medien síntomas relevantes. Su objetivo es valorar si, en la mayoría de los casos, el procedimiento confirmará el diagnóstico o el tratamiento con certeza. El beneficio neto incluye el beneficio directo a la salud del paciente a su familia y a la sociedad y hay que considerar también la exposición ocupacional y la del público, así como la potencial. Por ejemplo, entre una fluoroscopia y una radiografía para el diagnóstico de una patología en específico puede ser que, como resultado de la justificación genérica, se seleccione la primera, a pesar de introducir mayor riesgo, debido a factores económicos en determinadas circunstancias, como pueden ser las de un país con escasos recursos en las que este procedimiento aún aporta un beneficio neto. Es conveniente revisar periódicamente las decisiones que se adopten sobre la justificación en la medida en que se disponga de nueva información sobre los riesgos y los beneficios del procedimiento. La justificación genérica de un procedimiento corresponde a las organizaciones profesionales, de conjunto o no con la Autoridad Reguladora.

En el tercer nivel de justificación se analiza si el procedimiento propuesto puede ser aplicado a un paciente en particular. Como vimos, cualquier procedimiento simple de diagnóstico que haya sido justificado genéricamente solo requiere para aplicarse, como elemento adicional, que no se disponga de la información que el médico necesita. Bajo esta condición, dicho procedimiento podrá ser utilizado en cualquier paciente en particular que presente los síntomas especificados en el procedimiento. Sin embargo cuando se trata de procedimientos complejos de diagnóstico o procedimientos de terapia, esta condición no es suficiente y se requiere la justificación individual. Para ello el radiólogo y el médico que prescribe el diagnóstico o la terapia, deberán analizar de conjunto toda la información disponible referente a los detalles del procedimiento en cuestión, las particularidades del paciente, otras alternativas a



aplicar, las dosis que se recibirán y los antecedentes del caso y sobre estas bases decidirán la justificación.

Se considera injustificado cualquier examen radiológico con fines ocupacionales, legales o de seguro médico que se efectúe con independencia de indicaciones clínicas, a no ser que se espere que proporcione información útil sobre la salud del individuo examinado, o que quienes lo pidan justifiquen, en consulta con órganos competentes, ese tipo específico de examen. Los exámenes masivos de grupos de población que impliquen exposición médica se estiman injustificados a no ser que las ventajas previstas para los individuos examinados o la población en su conjunto sean tales que compensen los costos económicos y sociales, incluido el detrimento radiológico. Al efectuar la justificación debe tenerse en cuenta el potencial de detección de enfermedades que posea el procedimiento propuesto, la probabilidad de un tratamiento eficaz de los casos detectados y, en lo que respecta a ciertas enfermedades, las ventajas que tenga su control para la comunidad. La exposición de seres humanos con fines de investigación médica se estima injustificada a no ser que: a) esté en conformidad con las disposiciones de la Declaración de Helsinki y se ajuste a las directrices elaboradas para su aplicación por el Consejo de Organizaciones Internacionales de Ciencias Médicas (COICM) y la OMS y b) se supedite al asesoramiento de un comité de ética o de cualquier otro órgano institucional al que las autoridades nacionales hayan confiado funciones análogas.

Optimización

El principio de optimización en las exposiciones médicas debe tenerse presente en el diseño de las instalaciones (locales y equipos) y de los procedimientos, así como en su aplicación en la práctica diaria. Una instalación médica óptima será aquella en la que sea posible detectar rápidamente los fallos de cualquier componente del sistema, así como la que reduzca al mínimo la incidencia de errores humanos, de forma que restrinja la posibilidad de exposiciones al paciente fuera de lo planificado. En buena medida ello se logra cuando los equipos generadores de radiación y las fuentes empleadas en las prácticas médicas satisfacen las normas aplicables de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y de la Organización Internacional de Normalización (ISO), en especial las relacionadas con la presencia de mecanismos fiables de control del haz de radiación, incluidos los dispositivos que indiquen claramente su apertura y cierre.

En la medicina es sumamente importante prestar atención no solamente al diseño de los equipos y locales, sino también a la optimización de los procedimientos porque éstos tienen una influencia directa en la atención del paciente. La opción óptima en el diagnóstico médico debe ser el resultado de sopesar muy bien el factor de la exposición con la información que se desea obtener. La reducción de la exposición que se alcance debe ser suficiente para compensar la pérdida de información de carácter médico y la utilización de recursos adicionales. En la optimización de la protección al paciente, el parámetro fundamental a considerar es la dosis individual existiendo múltiples medidas de bajo costo que permiten reducir la dosis al paciente sin detrimento de la información diagnóstica, lo que no siempre significa que haya que reducir la dosis. En los procedimientos de exploración diagnóstica con contraste, por ejemplo, el empleo de rejillas antidifusoras para reducir la radiación dispersa y alcanzar la calidad de la imagen deseada, significa aumentar las dosis de 2 a 4 veces. Por el contrario, en radiología pediátrica, teniendo en cuenta la edad del paciente se prioriza la disminución de la dosis eliminando las rejillas, diafragmando mejor el haz y utilizando equipos de alta sensibilidad.



Cuando se trata de optimizar el diseño de los equipos y procedimientos, lo fundamental no es la dosis colectiva como en la exposición ocupacional, sino la dosis colectiva por unidad de práctica, lo que se fundamenta en el hecho de que el incremento de la atención médica aumenta la cantidad de equipos y por lo tanto la dosis colectiva total. La dosis colectiva por unidad de práctica refleja mejor la particularidad de la exposición médica y tiene en cuenta la dosis por tipo y número de exámenes médicos. Una peculiaridad de los procedimientos de garantía de calidad en la exposición médica consiste en garantizar hasta donde sea factible, que la exposición se limite a la región objeto de examen o tratamiento para evitar el daño inducido en los tejidos sanos. Con este fin se utilizan dispositivos colimadores alineados con el haz de radiación y se selecciona o ajusta la instalación para que el campo de radiación en la región objeto de examen o tratamiento sea el estrictamente necesario para que las tasas de dosis fuera del campo útil, debidas a la fuga o la dispersión de la radiación, se reduzcan al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse.

En un sistema óptimo de seguridad radiológica para la exposición médica es fundamental: a) el establecimiento de procedimientos adecuados de trabajo, calibración, garantía de calidad y manejo de los equipos de diagnóstico y terapia; b) la calificación del personal, la capacitación y entrenamientos de los facultativos médicos y el personal de enfermería, así como de los físicos médicos que planifican los tratamientos, del personal de nivel superior que los apoya y de los demás técnicos relacionados con la operación de las fuentes y las instalaciones, en los procedimientos de trabajo y en materia de seguridad y protección. No menos importante es la comunicación entre los facultativos médicos y el resto del personal de modo que se eviten las incomprensiones y las confusiones. Un requisito de buena práctica al respecto es el de indicar claramente y por escrito toda prescripción de diagnóstico o tratamiento, así como definir las responsabilidades y funciones de cada persona vinculada con la exposición médica.

Entre las consideraciones a tener en cuenta en la exposición médica se distinguen aquellas específicas del radiodiagnóstico, la medicina nuclear y la radioterapia. Aunque ello es válido para todos los procedimientos diagnósticos con exposición a las radiaciones, en el radiodiagnóstico se recomienda que el médico valore, ante todo, la necesidad de la exposición y si los objetivos del estudio no pueden ser satisfechos con otras técnicas menos riesgosas. Igualmente se recomienda examinar con cuidado la información anterior que se posee para evitar estudios repetidos y precisar bien la que se necesita obtener. De todos son conocidos los factores que influyen en el médico y el paciente para estas decisiones. El médico desea estar seguro y el paciente cree que si no le hacen la placa no le han hecho nada, pero esta cultura debe ser modificada sobre todo teniendo en cuenta que el radiodiagnóstico es la fuente artificial que más aporta a la carga radiológica de la población. Un factor sobre el que se hace hincapié en la actualidad para reducir la exposición debida al radiodiagnóstico es el mejoramiento de la calidad de las imágenes, el que se logra con un adecuado programa de garantía de calidad, así como con la introducción de técnicas o tecnologías modernas y más precisas. También en Medicina Nuclear los esfuerzos se dirigen a reducir las dosis de radiación tanto como se pueda, con la mejor calidad posible de la información diagnóstica. Se hace énfasis en la aplicación de un programa de aseguramiento de la calidad, en la utilización de técnicas y tecnologías modernas, en la selección del radiofármaco y su actividad, así como en la introducción de métodos para bloquear la incorporación de los radionucleidos en otros órganos que no sean los de interés y para acelerar su excreción del organismo. En terapia los esfuerzos se dirigen a impartir las dosis necesarias al tumor con el mínimo de



afectación de tejidos sanos y se hace énfasis en la aplicación de un programa de aseguramiento de la calidad que cubra todos los aspectos de la práctica.

13.3 CALIBRACIÓN Y DOSIMETRÍA CLÍNICA

Otros requisitos de la exposición médica se refieren a la calibración de los equipos generadores de radiación y las fuentes, a la dosimetría clínica y al aseguramiento de la calidad. La calibración de las fuentes y los equipos debe hacerse por laboratorios de calibración reconocidos antes de la puesta en marcha, después de cada mantenimiento y regularmente a intervalos establecidos, en cuanto a las magnitudes requeridas como: actividad, dosis absorbida, tasa de dosis absorbida, kerma, tasa de kerma, etc., según se trate o se requiera, para una fecha de referencia determinada. Mediante la dosimetría clínica se deben determinar y documentar valores de referencia para el radiodiagnóstico como la dosis de entrada en superficie, los productos dosis - área, la dosis en órganos y otros similares; en radioterapia las dosis absorbidas máximas y mínimas planificadas para el volumen blanco para cada paciente y en todos los procesos radioterapéuticos las dosis absorbidas en los órganos de interés. La finalidad de la dosimetría clínica es la de asegurar el valor de la dosis que debe recibir el volumen blanco garantizando el mínimo de exposición a los demás tejidos y órganos.

13.4 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

En la exposición médica es muy importante que todas las actividades relacionadas con la protección radiológica se realicen dentro del ámbito de un programa de aseguramiento de la calidad. Para ello, el responsable o el servicio de protección radiológica de la institución debe colaborar con las demás personas encargadas de los procedimientos, los registros y el mantenimiento de las instalaciones. El programa de aseguramiento de la calidad de la exposición médica debe incluir el control de los procedimientos de seguridad y operación, el control de las especificaciones de los equipos, fuentes y protocolos terapéuticos o de diagnóstico, la calibración y verificación de los instrumentos de dosimetría y vigilancia radiológica, la medición de los parámetros físicos de las instalaciones generadoras de radiación, de las fuentes y de captación de imágenes; el control del mantenimiento, reparación y modificaciones de los equipos e instalaciones, el registro de los exámenes realizados a cada paciente y sus resultados y en la medida de lo posible, la realización de auditorías regulares e independientes.

13.5 NIVELES ORIENTATIVOS

Para el radiodiagnóstico y la medicina nuclear se establecen niveles orientativos que sirven de indicación de las dosis que razonablemente pueden alcanzarse en pacientes adultos de tamaño corporal medio y que ofrecen orientación sobre la buena práctica actual. Estos valores pueden utilizarse como una guía para la introducción de medidas correctivas cuando las dosis o actividades impartidas se diferencian notablemente y como punto de partida para la optimización de la protección a los pacientes. Al aplicar estos valores deben tenerse en cuenta el tamaño corporal y la edad. No obstante, los mejores valores orientativos serán los que se deriven de los resultados de encuestas de calidad a gran escala para cada una de las instalaciones de radiodiagnóstico que se poseen, así como las actividades de radiofármacos suministradas a los pacientes en los exámenes más frecuentes.



13.6 RESTRICCIONES DE DOSIS

Las restricciones de dosis en la exposición médica se aplican a las personas que fuera de su ocupación y de manera consciente, prestan voluntariamente su asistencia para el cuidado, alivio o bienestar de los pacientes sometidos al diagnóstico o tratamiento con radiaciones ionizantes, así como para los visitantes de pacientes ingresados con implantes de fuentes o que hayan recibido tratamiento terapéutico con radionucleidos. Los valores de las restricciones deberán ser establecidos por un comité de ética médica u otro órgano institucional al que se hayan conferido tales atribuciones. La restricción que se establezca debe ser tal que garantice que sea improbable que la exposición de la persona exceda de 5 mSv durante todo el período que dure el examen o tratamiento y que la dosis a los niños sea menor que 1 mSv.

Para restringir la exposición de los familiares y del público a los valores recomendados, se establece que los pacientes que hayan recibido tratamiento con radionucleidos no sean dados de alta hasta que la actividad de las sustancias radiactivas presentes en su cuerpo haya descendido por debajo de los niveles recomendados. Es imprescindible que el paciente reciba instrucciones escritas acerca de los riesgos del contacto con otras personas y de las precauciones que debe adoptar, así como que se registre su alta, el nivel de radiactividad en su cuerpo y quede constancia del acto de entrega de las instrucciones.

Todo tratamiento terapéutico administrado por equivocación a un paciente, a un tejido no prescrito, utilizando un fármaco incorrecto, o con una dosis o fraccionamiento de la dosis que difieran considerablemente de los valores prescritos por el facultativo médico pueden provocar efectos secundarios agudos en el paciente y deben ser considerados como una situación anormal objeto de investigación. Igualmente se deberá considerar cualquier exposición considerablemente mayor que la prevista o que tenga como resultado una dosis que sobrepase repetida y ampliamente los niveles orientativos establecidos. Las causas de estos sucesos pueden ser un fallo del equipo, un error, contratiempo u otro suceso desacostumbrado. La investigación que se lleve a cabo debe contemplar la evaluación de la dosis recibida, tanto externa como por incorporación, su distribución por órganos y tejidos, cuando procede las medidas de protección necesarias con el paciente y las acciones correctivas para evitar su repetición. Se deberá informar de lo ocurrido a la Autoridad Reguladora, al paciente o sus familiares y al médico. Los requisitos analizados anteriormente relacionados con el diseño de los equipos, la capacitación y entrenamiento del personal, la calibración, la dosimetría clínica y el aseguramiento de la calidad son condiciones que reducen la probabilidad de tales sucesos.

13.7 REGISTROS

Otro requisito que no puede dejarse de nombrar es el relacionado con los registros. En la exposición médica es fundamental que se registre toda la información que permita hacer una evaluación retrospectiva de las dosis administradas a los pacientes. En el radiodiagnóstico y la fluoroscopia esta información incluye el número de exposiciones y su duración. En la medicina nuclear los radiofármacos empleados y su actividad. En radioterapia la descripción y la dosis al centro del volumen blanco de planificación, las dosis máxima y mínima administradas al volumen blanco de planificación, la dosis estimada en otros órganos de interés, el fraccionamiento de la dosis y el tiempo total de tratamiento. Otros registros incluyen los resultados de las calibraciones y las comprobaciones periódicas de los parámetros significativos, físicos y clínicos seleccionados en los tratamientos.



CAPITULO XIV

PROGRAMAS DE PROTECCION RADIOLOGICA. PARTICULARIDADES EN RADIOLOGIA DIAGNOSTICA E INTERVENCIONISTA

INTRODUCCION

Con un Programa de Protección Radiológica se busca: **organizar y mantener funcionando un sistema de condiciones y medidas que garanticen el cumplimiento de los requisitos de seguridad y protección radiológica.**

Todo programa de protección radiológica en medicina consta de siete elementos fundamentales:

1. Organización y Dirección
2. Selección y Capacitación del personal
3. Control de la Exposición Ocupacional
4. Control de la Exposición del Público
5. Control de la Exposición de pacientes
6. Planificación y preparación para emergencias
7. Garantía de Calidad.

Dependiendo de las prácticas que se realicen y el nivel de riesgo de las mismas, algunos de los elementos pueden ser más o menos relevantes. Pero lo que se desea lograr es:

- Asegurar los niveles considerados aceptables: en cada etapa de su revisión identificar los aspectos deficientes.
- Optimizar la protección: evaluar si los esfuerzos son razonables y suficientes

14.1 PARTICULARIDADES DEL PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN RADIODIAGNÓSTICO Y RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA

Aunque sus beneficios justifican plenamente los riesgos derivados de la exposición de pacientes, trabajadores y público, es un hecho que la práctica del radiodiagnóstico, entre todas las aplicaciones de las radiaciones ionizantes, contribuye de la manera más significativa a la dosis de la población. Por esta razón es necesario continuar insistiendo en la reducción de las dosis individuales que aporta esta técnica introduciendo mejoras tecnológicas en el equipamiento, adecuando el diseño de las salas de rayos X, optimizando los procedimientos operacionales e implantando programas de garantía de calidad para su funcionamiento.

Un factor de primordial importancia en cualquier programa encaminado a reducir las dosis en radiodiagnóstico es la selección y capacitación del personal técnico encargado de la exposición del paciente, ya que de su conocimiento de la instalación y su funcionamiento, así como de las medidas de protección radiológica, dependerán la seguridad de la operación del equipo, la calidad de la imagen resultante y la protección del paciente. Otro factor que influye en la disminución de la exposición de los trabajadores y el público es el diseño satisfactorio del equipamiento y los locales donde se usan. Un buen diseño de los colimadores y de la coraza del tubo, por ejemplo, contribuyen a reducir la radiación dispersa y de fuga, mientras que un buen



diseño del local y su correcta ubicación impiden la exposición innecesaria de personas.

Las instalaciones que utilicen equipos de radiodiagnóstico deberán contar con un programa de protección radiológica que basándose en los criterios de justificación de la práctica, optimización de la protección y limitación de dosis establezcan condiciones óptimas de seguridad para los trabajadores, públicos y pacientes.

El sistema que se presenta a continuación se basa en recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica y de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Un buen control debe tomar en cuenta la existencia en cualquier Instalación de radiaciones ionizantes de:

14.1.1 SEGURIDAD RADIOLOGICA DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS

Los equipos de radiodiagnóstico médico deben cumplir en el campo de la seguridad radiológica con las normas y reglamentaciones. No obstante es conveniente resumir las principales recomendaciones internacionalmente aceptadas referidas a aspectos de seguridad radiológica de las instalaciones de radiodiagnóstico. La sala de rayos x y el área para la consola de control deben:

- Poseer barreras con blindaje suficiente como para garantizar que se mantengan niveles de dosis tan bajos como sea razonablemente posible, sin superar los límites o restricciones dosis para exposición ocupacional y exposición del público.
- Disponer de señalización reglamentaria y de restricciones para el acceso.
- Ser de acceso exclusivo para el paciente y para el personal del equipo médico necesario para la realización de los estudios y procedimientos radiológicos. Excepcionalmente se permite la participación de acompañantes.

En particular, la sala de rayos x deberá contar con blindaje de espesores adecuados en las paredes, piso, techo y puertas, compatibles con los límites de dosis vigentes y los factores de ocupación de los locales vecinos (véase capítulo 6 de esta guía).

En el local de la consola de control deben existir barreras estructurales de dimensiones y blindaje que proporcionen atenuación suficiente para garantizar la protección del operador. Dentro del área y en la posición de disparo, el operador deberá poder comunicarse eficazmente con el paciente y observarlo mediante un sistema electrónico (televisión) o un visor (ventanilla) apropiado que tenga, por lo menos, la misma atenuación calculada para la estructura. En caso de utilizarse un sistema de observación electrónico se deberá prever la existencia de un sistema de reserva o sistema alternativo para casos de falla electrónica.

En caso de que la consola de control esté dentro de la sala de rayo x, se puede utilizar un biombo (mampara) fijado permanentemente al piso con una altura mínima de 210cm. La consola de control deberá estar ubicada de manera que durante las exposiciones ninguna persona pueda entrar a la sala sin ser visto por el operador.



La sala de rayos x debe tener señalización visible en la parte exterior de las puertas de acceso, conteniendo el símbolo de radiación ionizante y leyendas que indiquen "rayos x" y la prohibición de que ingresen personas no autorizadas.

Una señalización sobre la parte externa de la puerta de acceso (luz roja) deberá ser accionada durante los estudios y procedimientos radiológicos indicando que el generador está encendido y que hay exposición. Alternativamente puede adoptarse un sistema de accionamiento automático de señalización luminosa conectado directamente al mecanismo de disparo de rayos x, para fluoroscopia y tomografía computada. El procedimiento de cálculo de blindaje para una sala de rayo x se describe en el capítulo 6.

Conforme lo establece la Resolución 401: Norma Sanitaria sobre Autorización y Control de las Radiaciones Ionizantes de uso médico, odontológico y veterinario (ver capítulo 9), periódicamente las instalaciones de rayos x serán supervisadas previamente a fin de verificar:

- Las condiciones de seguridad de las instalaciones por medio de la evaluación de los niveles de exposición en los lugares que puedan ser ocupados por el personal o el público; estos niveles deberán ser tales que aseguren el cumplimiento de los límites de dosis establecidos.
- La seguridad de los métodos de trabajo
- El empleo de los medios de protección adecuados.

14.1.2 EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

14.1.2.1 CLASIFICACION DEL AREA DE TRABAJO:

Todas las salas de rayos x, donde se realizan los estudios y procedimientos, deberán ser consideradas como **zona controlada**. Se puede considerar como zona supervisada aquella que se ubica detrás de la consola de control, siempre y cuando ésta se encuentre fuera de la sala de rayos x. Esta clasificación se ubica en la norma Venezolana COVENIN 2257 vigente

14.1.2.2 DOSIMETRIA PERSONAL:

Los trabajadores de la zona controlada y todo personal que participe en los estudios y procedimientos radiológicos debe tener un control dosimétrico personal obligatorio. El dosímetro personal deberá ser utilizado por el trabajador durante el desempeño de sus tareas en la instalación, sin poder retirarlo de la misma. Este control se establece en la Norma Venezolana COVENIN 2258 vigente. Además de este control existen otros controles que se realizan en las zonas de trabajo. En la tabla 14.1 se presentan en función del tipo de práctica en la cual se labore. La NVC 2258 denomina a esta conjunto de controles Vigilancia Radiológica.



TABLA 14.1 VIGILANCIA RADIOLOGICA DE TRABAJADORES

ACTIVIDAD	V.R. DE ZONA	V. R.. EXTERN A DOSIMETRIA	V.R. DE LA CONT. SUPERFICIAL	V.R. DE LA CONT. INTERNA
Radiodiagnóstico médico y odontológico	SI	SI	NO	NO
Teleterapia	SI	SI	NO	NO
Braquiterapia	SI	SI	NO	NO
Medicina Nuclear	SI	SI	SI	SI
Radioinmunoensay o	SI	SI	NO	NO
Radiografía Industrial	SI	SI	NO	NO
Instrumentación y Control Industrial	SI	SI	NO	NO
Reactores Nucleares	SI	SI	SI	SI
Manejo de desechos Radiactivos	SI	SI	SI	SI

FUENTE: Tomado de la norma venezolana COVENIN 2258-95, Vigilancia Radiológica. **Requisitos.**

14.1.2.3 VIGILANCIA RADIOLOGICA DE ZONA:

El objetivo es verificar si los niveles de dosis o exposición de trabajadores y del público, están de acuerdo con los límites nacionales vigentes en el país. Debe efectuarse en toda área de trabajo con radiaciones, y en el mismo se verifica si los blindajes reúnen las condiciones de protección necesarias en paredes, pisos y techos; o de medir los niveles de exposición a los que esta expuesto un trabajado, donde el único factor de protección es la distancia entre el trabajador y la fuente, de esta manera se verifica el tiempo de permanencia del trabajador, en ese lugar de trabajo

INSTRUMENTOS A UTILIZAR

Para efectuar el monitoreo de áreas, se emplean instrumentos portátiles medidores de la tasa de exposición o de dosis, provistos de detectores:

- 1.- Cámaras de Ionización
- 2.- Contador Proporcional

METODOLOGÍA

- ❖ Diseñar el croquis con las dimensiones del área a monitorear y localizar en el mismo las fuentes o equipos, así como los accesorios que posean.
- ❖ Anotar en el croquis los puntos de interés dentro y fuera del área.
- ❖ En general las medidas son hechas en las puertas, cabinas, paredes, etc.
- ❖ Si no existen blindajes entre la fuente y algún trabajador, las medidas son realizadas en el punto donde se coloca el trabajador regularmente a realizar sus actividades o labores.
- ❖ Si la exposición es alta al realizar las mediciones, solicitar equipamiento de protección (delantal, guantes, etc.) a fin de protegerse de las radiaciones.
- ❖ Seleccionar el equipo adecuado según la radiación a medir y el rango de energía.
- ❖ Chequear las baterías y verificar la calibración del equipo.
- ❖ Anotar las medidas identificando el punto donde se realizó mediante letras o



números en el croquis y en la tabla de anotaciones.

- ❖ En la tabla de anotaciones debe indicarse si en el punto donde se realizó la medición, el haz de radiación se encontraba incidiendo directamente o no sobre el punto. (Sobre todo en áreas de Radiodiagnóstico con rayos X y equipos de teleterapia). La referencia se muestra en la tabla 8.2.

TABLA 14.2: TABLA REFERENCIAL PARA LAS MEDIDAS DEL MONITOREO AMBIENTAL O LEVANTAMIENTO RADIOMÉTRICO.

Lugar de Operación	Parámetros de la Radiación	Posición del haz	Punto Evaluado (ver Croquis)	Valores Obtenidos
Sala de Rayos X	KV., mA, tiempo	Dirigido a la pared de interés	En letras o números	mR, uR, etc
Sala de Tomografía	KV., mA, tiempo	Dirigido a la mesa	En letras o números	mSv, uSv, etc.

Los datos obtenidos se deben comparar con los límites autorizados en cada país: En Venezuela los límites son los establecidos en la Norma Venezolana COVENIN 2259 vigente, o los valores de restricción de la instalación:

- **Trabajadores: 20 mSv/año (0,4 mSv/semana)**
- **Público: 1 mSv/año (0,02 mSv / semana)**

14.1.2.4 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA:

La sala de rayos x debe contar con elementos de protección radiológica necesarios para los estudios previstos en la misma. En los servicios con unidades de fluoroscopia se deberá contar con un mandil plomado, un par de guantes plomados y un protector de tiroides por cada sala, como mínimo. En los casos de unidades de hemodinamia y procedimientos intervencionistas, se deberá contar con una vestimenta plomada, anteojos plomados, protector de tiroides por cada persona que participe en el procedimiento o con cortina plomada transparente (pantalla de protección suspendida) como sustitución a los dos últimos dispositivos.

Los espesores mínimos de los dispositivos de protección personal son:

- a. 0,25mm. Equivalentes en plomo para radiación dispersa;
- b. 0,50mm. Equivalente en plomo para haz primario o radiación dispersa en procedimientos especiales.

14.1.2.5 CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS:

El correcto funcionamiento de los equipos para medición de dosis y tasa de dosis deberá ser verificado periódicamente. Los instrumentos de medición deberán calibrarse regularmente en un laboratorio de calibración dosimétrica, según lo establecido en la Norma Venezolana COVENIN 2258 vigente.



14.1.3 PRACTICAS ESPECÍFICAS:

En esta sección se tratan aspectos de protección radiológica referidos a estudios de fluoroscopia, pediátricos, mamográficos, dentales, a exámenes con equipos móviles y a exámenes durante el embarazo. Este tema se sustenta en la Norma Venezolana COVENIN 218/I vigente

14.1.3.1 FLUOROSCOPIA:

La fluoroscopia deberá utilizarse fundamentalmente para estudiar los fenómenos dinámicos más que para evaluar los detalles anatómicos; por lo tanto, deberá llevarse a cabo sólo si la información requerida no se puede obtener tan solo por medio de una radiografía. El promedio de dosis absorbida en aire (en la zona de entrada en la piel del paciente) no deberá exceder 50 mGy/min y deberá ser, en general, mucho menor que dicho valor.

La fluoroscopia directa implica para el paciente dosis mucho más altas que las derivadas de la fluoroscopia con intensificación de imagen, y produce imágenes de menor calidad. El uso de la fluoroscopia directa esta prohibida en el país. Por lo anterior, la fluoroscopia directa para exámenes de tórax deberá ser reemplazada por la radiografía, puesto que la dosis en el paciente debida a la radiografía puede llegar a ser tanto como 100 veces menor que la derivada de la radioscopia directa, a la vez que permite obtener un registro permanente del estudio.

La fotofluoroscopia (abreugrafía) ha sido ampliamente utilizada para exámenes con rayos x de tórax en estudios realizados a la población para la detección de tuberculosis, pero la dosis en el paciente puede ser hasta 10 veces más alta que la debida a una radiografía convencional. Los equipos de abreugrafía deben desactivarse y sustituirse por otro tipo de equipamiento.

14.1.3.2 PRACTICAS CON EQUIPOS MOVILES DE RAYOS X:

La dificultad principal para realizar radiografías con un equipo móvil de rayos x es la incertidumbre en cuanto a las posiciones relativas del tubo y la película radiográfica, particularmente cuando se emplea una rejilla antidifusora. Esto puede conducir a la necesidad de repetir radiografías, con la irradiación adicional resultante del paciente. No deberá utilizarse la así denominada "fluoroscopia manual" o "fluoroscopia de cabecera". La fluoroscopia no deberá llevarse a cabo con un equipo móvil, a menos que se emplee un intensificador de imagen. Aún así, la fluoroscopia puede ocasionar dosis excesivamente altas al paciente. Solamente se permitirá la realización de estudios radiológicos con equipos móviles o portátiles en camas de la instalación médica o domicilio cuando sea difícil o inaceptable desde el punto de vista médico, transferir al paciente a una instalación con equipo fijo.

14.1.3.3 RADIOLOGÍA PEDIATRICA:

Es posible hacer un ahorro importante en la dosis recibida por el paciente pediátrico si se dispone de un técnico radiólogo capacitado especialmente en métodos pediátricos. En cualquier institución que realice un número importante de exámenes radiológicos pediátricos, deberá haber por lo menos un técnico radiólogo asignado a la radiografía en niños.



14.1.3.4 MAMOGRAFÍA:

La dosis absorbida en el tejido mamario durante la mamografía deberá ser tan baja como, sea razonablemente posible, sin sacrificar la información de diagnóstico necesaria. Actualmente, las técnicas preferidas para realizar mamografías utilizan blanco y filtro de molibdeno con pantalla intensificadora de tierras raras y la película radiográfica pertinente con blanco de tungsteno y filtro de aluminio con una placa xerográfica. La mamografía deberá llevarse a cabo con un equipo de rayos x diseñado especialmente. Bajo ninguna circunstancia la filtración total permanente deberá ser menor que 0,03 mm de molibdeno para mamografía de película-pantalla o 0,5 mm de aluminio para xeromamografía.

14.1.3.5 EXAMENES DENTALES:

La mayoría de las recomendaciones concernientes a otros exámenes de diagnóstico radiológico son aplicables a la radiografía dental y deberán ser aplicadas a ella. En particular, el uso de películas radiográficas de alta velocidad y filtración apropiada garantizará que se mantenga a un nivel mínimo la dosis absorbida en la piel en el punto de entrada del haz.

14.1.3.6 EXAMENES CON RAYOS X DURANTE EL EMBARAZO:

Debido al riesgo de irradiación durante el período embrionario, (véase capítulo sobre efectos biológicos), la posibilidad de embarazo es uno de los factores que deben ser considerados cuando se decide realizar un examen radiológico que incluya el bajo abdomen en una mujer en condiciones de gestar. Durante los primeros 10 días siguientes al comienzo de un período menstrual, no existe ningún riesgo de irradiación, fetal, ya que no existe concepción. La irradiación en útero durante el resto del primer mes siguiente al de la menstruación (es decir, durante aproximadamente las primeras dos semanas luego de la concepción) genera un riesgo al futuro niño, probablemente pequeño. Sin embargo, en los exámenes con rayos x se deberá prestar atención a los factores que permitan reducir al mínimo la dosis en el embrión que pudiera estar presente, se sepa o no que la mujer está embarazada.

La irradiación de la paciente embarazada, en un momento en que el embarazo no ha sido aún advertido, produce a menudo ansiedad acerca de los posibles efectos de dicha irradiación en el feto, aún cuando las dosis absorbidas sean, por lo general, pequeñas. Tal preocupación puede incluso llevar a inducir la interrupción del embarazo; no obstante, sobre la base del incremento de riesgo relativo, la irradiación fetal derivada de un procedimiento de diagnóstico raramente justifica la terminación de un embarazo. Cuando surge tal preocupación, un experto calificado deberá estimar la dosis absorbida y el riesgo asociado para el feto. Con el informe de dicho experto, formulado en forma responsable, la paciente deberá estar entonces en posición de tomar una decisión en cuanto a la continuidad del embarazo.

Cuando las mujeres embarazadas deben someterse a otros exámenes radiológicos en donde el haz de rayos x irradie al feto en forma directa, se debe poner especial cuidado en verificar que el examen sea realmente necesario en ese momento y no pueda posponerse hasta después del parto. Algunas veces, el riesgo derivado de la irradiación al feto es menor que el resultante de no realizar un diagnóstico apropiado; por ende, el examen radiológico deberá efectuarse cuando la indicaciones médicas lo prescriban. En tales casos, deberá tenerse mayor cuidado que el usual en reducir al mínimo, el tiempo de irradiación y el número de radiografías, reduciendo también al mínimo la dosis absorbida por el feto en cada irradiación. No obstante, no deberán



efectuarse alteraciones de la técnica radiográfica que ocasionen una reducción en el valor del diagnóstico.

Las radiografías de zonas del cuerpo de la futura madre alejadas del feto –tales como el tórax, cráneo o extremidades-, pueden realizarse en forma segura en cualquier momento durante el embarazo, siempre que se limite adecuadamente el campo de rayos x.

14.1.3.7 EXAMENES CON RAYOS X EN MUJERES CON CAPACIDAD PARA GESTAR:

Es prudente suponer que cualquier mujer que se presente para una radiografía en un momento en que tenga un retraso de su período menstrual o una falta evidente del mismo, está embarazada, a menos que exista información indicando lo contrario. Para reducir al mínimo la frecuencia de irradiación involuntaria del feto se recomienda que se coloquen anuncios de prevención en lugares adecuados dentro de las secciones de diagnóstico con rayos x y en otras áreas donde se usen equipos para el diagnóstico con rayos x excepto en radiología odontológica. Por ejemplo:

SI EXISTE LA POSIBILIDAD DE QUE USTED ESTE EMBARAZADA, NOTIFIQUE AL MEDICO O AL RADIÓLOGO ANTES DE SU EXAMEN CON RAYOS X

14.1.3.8 RADIOGRAFIA OBSTETRICA:

En muchos casos en particular, durante la evaluación de la maduración fetal y localización placentaria, son preferibles los exámenes ultrasónicos a los que emplean rayos x. En efecto, los exámenes ultrasónicos no utilizan radiación ionizante y son confiables. Cuando se dispone del equipamiento, el uso de ultrasonido reduce en gran parte la necesidad del examen con rayos x del útero grávido.

Si bien la pelvimetría radiográfica resulta algunas veces de gran valor, deberá intentarse sólo en la rara ocasión en que realmente sea así, y no deberá llevarse a cabo en forma rutinaria. En particular, la proyección superoinferior de la cavidad pélvica, no deberá utilizarse debido a las dosis recibidas por el feto injustificablemente altas.

14.1.4 EXPOSICIÓN MEDICA:

14.1.4.1 COMO EVITAR DOSIS INNECESARIAS:

La protección radiológica en la medicina ha sido materia de interés desde el comienzo del siglo XX. El grado de seguridad ahora es alto, y un examen radiológico –recomendado sobre la base del informe clínico de un médico calificado- generalmente brinda al paciente un beneficio que tiene un valor mayor que el riesgo inevitable de la irradiación. No obstante, no deberán existir excusas para llevar a cabo exámenes con dosis innecesariamente altas. El principio de que todas las dosis se mantengan “tan bajas como, sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales” deberá ser aplicado siempre. Deberá tenerse especial cuidado, en la aplicación de este principio, a fin de que no exista pérdida de la información clínica necesaria.



Una atención cuidadosa en la realización de los exámenes radiológicos resultará, en muchos casos, en una reducción considerable de la dosis debida a radiación x, sin perjuicio de su valor para el diagnóstico. Es particularmente importante:

- **Reducir las dosis absorbidas por los tejidos en la región del cuerpo examinado al mínimo compatible con la obtención de la información necesaria para el paciente.**
- **Limitar, en la medida de lo posible, la irradiación a otras partes del cuerpo.**
- **Evitar la repetición de irradiaciones innecesarias.**

La cantidad de radiación incidente en un paciente que se necesita para generar una imagen útil para el diagnóstico depende de muchos factores técnicos y físicos. Los factores conducentes a la reducción de las dosis incluyen la eliminación de la radiación que no contribuyen a la formación de la imagen útil para el diagnóstico y la elección correcta de un receptor de imagen que responda a los requerimientos de diagnóstico para cada caso específicos. No obstante, existe un límite debajo del cual la radiación incidente sobre el receptor de imagen no contiene información suficiente para tener valor diagnóstico.

14.1.4.2 TÉCNICAS GENERALES:

Tamaños del campo de radiación.

Entre los medios técnicos más importantes para limitar la irradiación innecesaria del paciente se encuentra el empleo de un campo de radiación tan pequeño como sea practicable y posicionado correctamente sobre el paciente. La reducción de dicho campo al tamaño mínimo practicable resulta siempre beneficiosa para el paciente. En efecto, esta disminución reduce el total de la energía entregada al paciente y, por lo tanto, la masa de piel y de tejidos internos irradiada. También reduce la cantidad de radiación dispersa que alcanza al receptor de imagen, mejorando así la calidad de la imagen.

En muchas proyecciones radiográficas, las gónadas (en especial, los testículos) pueden ser mantenidas fuera del campo de radiación; esto puede lograrse centrando y ajustando cuidadosamente dicho haz, de manera de irradiar sólo el área de interés. Cuando los testículos están ubicados sólo a unos pocos centímetros fuera del borde del haz, la dosis absorbida en los mismos pueden ser un décimo o menos que cuando quedan dentro del haz.

Existen dispositivos que reducen automáticamente el haz de rayos x al tamaño del chasis de la placa radiográfica usada. Cuando este tipo de dispositivo automático se utiliza para examinar áreas más pequeñas que la película radiográfica más pequeña disponible, la limitación del haz deberá ajustarse de modo que sólo sea irradiada al área de interés.

En particular, las zonas del cuerpo examinadas en los bebés son frecuentemente más pequeñas que las películas radiográficas disponibles. La limitación del haz debería emplearse para ajustar su tamaño al área de interés, y no al tamaño de película radiográfica o al cuerpo del bebé en su totalidad. Esta acción es particularmente importante cuando se utiliza un dispositivo automático de limitación del haz, ya que de otro modo el haz se ajustaría automáticamente al tamaño total de la película radiográfica. Esta situación se presenta por lo general durante un examen del



tórax de un recién nacido. Si en tales circunstancias no se ajusta el equipo automático de limitación del haz, se puede llegar hasta irradiar totalmente el cuerpo.

Protección de determinados órganos.

Las gónadas deberán ser protegidas cuando deban necesariamente ser expuestas directamente al haz o dentro de los 5 cm de éste, a menos que tal protección excluya o degrade información importante para el diagnóstico. El uso de blindajes para las gónadas puede reducir la dosis absorbida en los testículos hasta en un 95%, mientras que la reducción de la dosis absorbida en los ovarios – en aquellos casos donde el blindaje es clínicamente aceptable- puede ser aproximadamente el 50%.

Los ojos deberán estar protegidos cuando se realizan exámenes radiológicos que impliquen altas dosis absorbidas en los mismos –tales como la tomografía del peñasco-, siempre que dicha protección no excluya o degrade información importante para el diagnóstico. Esto resulta de especial importancia si se requieren múltiples exámenes. La dosis absorbida en los ojos puede reducir de un 50% al 70% mediante el blindaje de los mismos. El uso de la proyección postero-anterior antes que la proyección antero-posterior puede reducir la dosis absorbida en los ojos en un 95%.

En los órganos más radiosensibles, tales como gónadas, cristalino y tiroides, deberán colocarse blindajes adecuados de por lo menos 0,5 mm equivalente en plomo, cuando necesariamente estuvieran en el haz primario de radiación o a una distancia de hasta 5 cm de éste, excepto cuando excluya o afecte informaciones diagnósticas importantes.

Para los equipos dentales de rayos x cuyo dispositivos de limitación del haz funcione adecuadamente, el uso de delantales de protección que cubran las gónadas es de valor relativamente pequeño, particularmente si el haz está dirigido fuera de las gónadas.

Distancia desde el punto focal a la piel o al receptor de imagen.

En un medio no absorbente, la intensidad de la radiación producida por una fuente puntual varía inversamente con el cuadrado de la distancia a la fuente. Por lo tanto, cuando la distancia del punto focal a la piel (o la distancia correspondiente del punto focal al receptor de imagen) disminuye, y el tamaño del haz y la intensidad de la radiación en el plano del receptor de imagen se mantienen constantes, la intensidad de la radiación sobre la superficie de la piel del paciente por donde el haz entra en el cuerpo se eleva fuertemente.

En la radiografía y la fluoroscopia con equipos móviles, la distancia del punto focal a la piel no debería ser menor de 30 cm; en la radiografía y fluoroscopia con equipos fijos, la distancia del punto focal a la piel no deberá ser menor de 45 cm. Para distancias desde el punto focal al receptor de imágenes menores de 100 cm, la calidad de la información diagnóstica es menor cuando, las distancias del punto focal al receptor de imagen son más cortas. Por lo tanto, distancias grandes del punto focal al receptor de imagen tienen ventajas clínicas. La radiografía del tórax debería realizarse con una distancia desde el punto focal al receptor de imagen de por lo menos 120 cm.

Filtración total del haz de rayos x.

Un filtro ubicado en el haz de rayos, atenúa preferencialmente a los componentes indeseables de dicho haz; de otro modo, estos componentes-que son los de menor energía- serían absorbidos en su mayor parte por el paciente y agregarían muy poco a la información diagnóstica sobre el receptor de imagen. El uso de un filtro de espesor adecuado dá lugar a un haz de radiación más penetrante y, por lo tanto, implica una dosis absorbida menor en la región de la piel del paciente por donde ingresa el haz de rayos x. La filtración total del haz para el diagnóstico radiológico convencional deberá



ser equivalente a no menos de 2,5 mm de aluminio, de los cuales 1,5 mm deberán ser permanentes.

Para equipos dentales convencionales con valores de tensión que no excedan los 70 V, la filtración permanente total en el haz de rayos x deberá ser equivalente a no menos de 1,5 mm de aluminio. Para tensiones mayores, la filtración total deberá, ser equivalente a no menos de 2,5 mm de aluminio, de la cual 1,5 mm deberá ser permanente.

La calidad de la radiación de un haz de rayos x se expresa por medio de diferentes parámetros uno de los cuales es el semiespesor en milímetros de aluminio. Existen tablas de la calidad de la radiación en función de la filtración total y de la tensión del tubo para los equipos empleados en diagnóstico. Si se desconoce la cantidad de filtración en el haz, deberá medirse el valor del semiespesor del haz de rayos x. Se puede determinar, entonces, la filtración total para una tensión en particular.

Materiales de fibra de carbono.

El uso de materiales de fibra de carbono en la camilla donde es apoyado el paciente, en las rejillas antidifusoras y en el chasis radiográfico –en lugar de materiales convencionales- permite la transmisión de una proporción mayor del haz de rayos x. Por ende, a una tensión en el tubo de 80 kv., el uso de materiales de fibra de carbono permite reducir la dosis absorbida por la piel del paciente. A partir del uso combinado de materiales de fibra de carbono en la camilla que sirve de apoyo al paciente, en las rejillas antidifusoras y en los chasis radiográficos, la reducción total de la dosis absorbida por la piel del paciente –en la región que enfrenta el tubo- se encuentra en un rango de aproximadamente 30% a más del 50%. Si no se cambia la tensión del tubo, las reducciones de los porcentajes en la dosis absorbida en tejidos más profundos del cuerpo será similar.

Control de la irradiación y registro del tiempo de irradiación.

Los interruptores que operan todo equipo deberán construirse de modo tal que la irradiación pueda ser finalizada manualmente en cualquier momento, y no podrá ser posible repetir irradiaciones sin la liberación del interruptor de control, excepto en el caso de técnicas especiales donde se requieran irradiaciones múltiples.

Al realizar una fluoroscopia, el operador debe conocer el tiempo de irradiación. A tal efecto, el equipo deberá estar equipado con un cronómetro de integración, que termine la irradiación cuando transcurre el tiempo preestablecido. El equipo deberá contar también con una alarma que, antes de la finalización de la irradiación, de una señal sonora de aviso durante un período de tiempo adecuado. El cronómetro también deberá estar preparado para su puesta a cero si fuese necesario; además no, deberá ser posible eliminarlo. Los interruptores que accionen equipos fluoroscópicos deberán ser del tipo de resorte a presión –tanto si se los opera con la mano o con el pie- y deberán estar protegidos para que no puedan ser accionados en forma accidental.

El registro del tiempo de irradiación en fluoroscopia es útil para recordar a los operadores que deben mantener el tiempo al mínimo.

Pantallas intensificadoras y películas radiográficas.

Las pantallas intensificadoras fabricadas con materiales fluorescentes altamente eficientes –tales como tierras raras, bario y tantalio- requieren una irradiación menor que las pantallas convencionales para producir radiografías con una calidad de imagen similar. La decisión respecto que combinación de pantalla-película se debe utilizar implica por lo general lograr un compromiso entre la reducción de la dosis y el aumento de la información para el diagnóstico, teniendo en cuenta también el costo.



Este balance será diferente en diversos exámenes con rayos x y para distintas instituciones.

Las películas radiográficas sin pantalla no deberán ser usadas en diagnóstico radiológico debido a que necesitan dosis relativamente altas y no están preparadas para producir imágenes de alto contraste.

Procesamiento de la película radiográfica.

Es preciso contar con técnicas correctas de procesamiento de películas para obtener radiografías de óptimo valor para el diagnóstico con una dosis de radiación mínima al paciente. El procesamiento incorrecto puede ser causa de rechazo de radiografías y, por ende, dar lugar a repeticiones de la irradiación que podrán ser evitadas. Por otra parte, las técnicas inadecuadas de procesamiento pueden fácilmente duplicar la dosis requerida para producir una radiografía satisfactoria.

En el procesamiento manual, deben seleccionarse el revelador y fijador correctos para el tipo de película radiográfica a ser utilizada. Las temperaturas de procesamiento correctas, el tiempo de revelado y la reposición de los reactivos químicos son elementos esenciales para el revelado de buena calidad de una película radiográfica.

En el procesamiento automático, es particularmente importante el control de calidad, el cual deberá realizarse diariamente a través del uso de tiras de película expuestas en un densitómetro poco antes de su procesamiento. Deberá evaluarse la densidad y contraste de las tiras de película en forma cuantitativa; si la densidad o el contraste exceden los límites de control, deberá realizarse una acción correcta antes del procesamiento de las radiografías.

En general, es conveniente que los técnicos radiólogos observen todas sus radiografías inmediatamente después de su procesamiento, de modo de poder detectar y corregir cualquier error de técnica, equipo o procesamiento.

Reducción del número de irradiaciones repetidas.

La decisión de repetir una irradiación deberá basarse en la posibilidad de que la nueva radiografía aporte información adicional que no se encontraba disponible en la radiografía anterior, y no por razones puramente estéticas. Según varias encuestas publicadas, se repite innecesariamente del 3 al 15% de las radiografías. Las causas principales de las repeticiones, identificadas en la mayoría de estos estudios, fueron los errores cometidos en el posicionado del paciente o que las radiografías eran demasiado oscuras o demasiado claras

Toda repetición de exposiciones debería ser anotada en el registro del estudio del paciente y supervisada por el Responsable de la protección radiológica del Servicio.

Se recomienda firmemente el uso de una lista de referencia de los factores técnicos (es decir, kVp y mA a utilizar, según el tamaño del paciente) como una ayuda para la irradiación adecuada. El control automático de la irradiación es una alternativa valiosa, siempre que los detectores de radiación sean elegidos y mantenidos en forma apropiada, y que el paciente esté ubicado correctamente durante cada examen radiográfico.

14.1.4.3 Garantía de calidad.

El objetivo de los programas de garantía de calidad para diagnóstico radiológico consistente en implementar procedimientos para el monitoreo, periódico o continuo del comportamiento de las instalaciones radiológicas, a fin de obtener una información para el diagnóstico óptima a un costo mínimo y con dosis mínimas a los pacientes. Todas las instalaciones radiológicas deberán establecer programas de garantía de



calidad cuya estructura y alcance estén determinados por las necesidades y complejidades de cada instalación.

Las pruebas de aceptación de equipos nuevos o usadas de rayos x recientemente instalados aseguran que los mismos satisfacen las especificaciones de rendimiento de los fabricantes, y cumplen con las especificaciones de compra del usuario y con los estándares fijados por las autoridades de Salud Pública.

14.1.4.4 NIVELES DE DOSIS DE REFERENCIA

El Organismo Internacional de Energía Atómica en sus normas básicas de seguridad para la protección contra la radiación ionizantes y para la seguridad de las fuentes de radiación “Colección de Seguridad N° 115 (1997)” ha establecido niveles orientativos de dosis, tasa de dosis y actividad aplicables a la exposición médica. En particular, para el radiodiagnóstico médico ha recomendado niveles orientativos de las dosis de entrada en la superficie del cuerpo en diferentes procedimientos de diagnóstico radiológico, los cuales se presentan en las tablas 8.4, 8.5, 8.6 y 8.7

Tabla 14.3 Niveles orientativos de dosis aplicables en Radiografía Diagnóstica a un paciente adulto típico

Examen	Dosis de entrada en superficie por radiografía^a (mGy)	
Columna vertebral ILumbar	AP	10
	LAT	30
	ASL	40
Abdomen, Urografía y colecistografía intravenosa	AP	10
Pelvis	AP	10
Articulación de la cadera	AP	10
Tórax	PA	0,4
	LAT	1,5
Columna vertebral torácica	AP	7
	LAT	20
Dental	Periapical	7
	AP	5
Craneo	PA	5
	LAT	3
Notas: PA: proy. Posteroanterior; LAT: proy. Lateral; ASL: proy. De la articulación sacrolumbar; AP: proy. Anteroposterior.		
a: en aire, retrodispersión. Estos valores son aplicables a una combinación placa-pantalla convencional con una sensibilidad relativa de 200. Para las combinaciones placa-pantalla de alta sensibilidad (400-600), los valores deberían dividirse por un factor de 2 a 3.		



Tabla 14.4 Niveles orientativos de dosis aplicables en Tomografía computada a un paciente adulto típico

Examen	Dosis promedio en cortes múltiples ^a (mGy)
Cabeza	50
Columna vertebral lumbar	35
Abdomen	25

a: Derivada de mediciones efectuadas en el eje de rotación en maniquies equivalentes de agua, de 15 cm de longitud y 16 cm (cabeza) y 30 cm (columna vertebral lumbar y abdomen) de diámetro.

Tabla 14.5: Niveles orientativos de dosis aplicables en Mamografía a una paciente adulta típica

Dosis promedio a la mama por proyección craneocaudal ^a
1 mGy (sin rejilla)
3 mGy (con rejilla)

a: Determinada en una mama comprimida de 4,5 cm compuesta por 50% de tejido glandular y 50% de tejido adiposo, para sistemas placa-pantalla y aparatos dedicados exclusivamente a mamografía, con blanco y filtro de Mo.

Tabla 14.6: Niveles orientativos de dosis aplicables en Fluoroscopia a un paciente adulto típico

Modo de Funcionamiento	Tasa de dosis de entrada en superficie ^a (mGy/min)
Normal	25
Alto Nivel ^b	100

a: En aire, retrodispersión.

b. Para los fluoroscopios provistos de un modo de funcionamiento optativo de "alto nivel", tales como los que se suelen utilizar en radiología de intervención.



CAPITULO XV

EL MARCO LEGAL VENEZOLANO

15.1 MARCO JURIDICO

El primer documento legal con que cuenta Venezuela en materia de control de radiaciones ionizantes, es el Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo, decreto 1290 del 18-12-1968; gaceta oficial N° 1277 extraordinario del viernes 14 de marzo de 1969; capítulo VI del título VI: de las Radiaciones Ionizantes; desde el artículo 557 hasta el artículo 604. Con este reglamento se tienen las primeras regulaciones dirigidas al trabajo con radiaciones ionizantes.

En Julio de 1986 se decreta la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT); gaceta oficial N° 3850 extraordinario del viernes 18 de julio de 1986; con el objeto de garantizar a los trabajadores la prevención de los riesgos y las condiciones de seguridad, salud y bienestar. Esta ley utiliza al reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo como instrumento técnico legal.

Fue a partir del año 1992 que se establece en el país una legislación específica en el área, y que a su vez, se designan autoridades regulatorias. Es importante resaltar este hecho, aunque siempre existieron estructuras del Estado que realizaban acciones de vigilancia y control.

Con la promulgación de la Ley Penal del Ambiente, gaceta oficial N° 4358 extraordinario del viernes 03 de enero de 1992, se presenta la necesidad de elaborar una norma que tratara el control del uso de material radiactivo y equipos emisores de radiaciones ionizantes; ya que en su título II, capítulo IV, artículo 45 se penaliza al que ocasione daños graves a la salud y el ambiente por emisiones radiactivas u otros equipos semejantes. A partir de esta ley, se inicia en el país la elaboración de normas técnicas por medio de la formación de un comité técnico de normalización.

El 27 de abril de 1992 en gaceta oficial N° 4418 extraordinario, bajo el decreto N° 2210 se publican las **“Normas Técnicas y Procedimientos para el manejo de Material Radiactivo”**. En este decreto se establecen las autoridades competentes para cada tipo de control de las actividades que se realicen con fuentes o equipos generadores de radiaciones ionizantes. Entre los puntos más importantes se tiene:

Artículo 2: “Estas regulaciones son aplicables a toda persona natural o jurídica, pública o privada que importe, fabrique, transporte, almacene, comercie, emplee con fines médicos, industriales, comerciales o científicos, aparatos capaces de generar radiaciones ionizantes cuya energía cuántica sea superior a 5 KeV o materiales que contengan los radionucleidos cuyas actividades rebasen las indicadas en la tabla I”.

Artículo 9: “Toda persona natural o jurídica, pública o privada, que pretenda importar o exportar materiales o aparatos que generen radiaciones ionizantes deberá solicitar el permiso respectivo ante el Ministerio de Energía y Minas, sin perjuicio de la competencia que pudiera corresponder a otros organismos”.

Artículo 10: “Toda persona que comercialice con materiales o aparatos que emitan radiaciones ionizantes deberá estar debidamente autorizada y solo podrá realizar sucesión de los mismos, sea a título oneroso o gratuito, a personas que cuenten con la debida autorización del MEM.



Parágrafo único: Cuando la transferencia o cesión se efectúe con fines médicos u odontológicos, la persona natural o jurídica, pública o privada que reciba dicho material o equipo deberá contar con la autorización correspondiente del MSAS”.

Artículo 11: “Toda persona que utilice con fines industriales u otros materiales o aparatos que generen radiaciones ionizantes deberá estar debidamente autorizada y sometida a la inspección, supervisión y vigilancia por parte del MEM”.

Artículo 12: “Toda persona natural o jurídica, pública o privada que utilice materiales o equipos generadores de radiaciones ionizantes con fines médicos u odontológicos, deberá estar debidamente autorizada y someterse a la inspección, supervisión y vigilancia por parte del MSAS”.

Otros aspectos importantes en este decreto son el control del transporte, el almacenamiento y la gestión del desecho radiactivo. Sobre este último punto existe aún un vacío legal en cuanto a la disposición final; ya que la selección del lugar esta a cargo del ejecutivo nacional, no habiéndose dado hasta la fecha una respuesta concreta.

En cuanto al actual Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS), este asumió las competencias del extinto Ministerio de Sanidad y Asistencia social, basando ahora sus actividades en la actual Ley Orgánica de Salud, gaceta oficial N° 5263 extraordinario de fecha jueves 17 de septiembre de 1998. En su artículo 27 establece la aplicación de medidas de control sobre agentes radiactivos, así como el control en el manejo de desechos radiactivos.

El MPPS promulga la Resolución 401: **Norma Sanitaria para la Autorización y Control de las Radiaciones Ionizantes de uso Médico, Odontológico y Veterinario**; Gaceta Oficial 38.572, de fecha 27 de Noviembre de 2006. En esta Resolución se plantean los procesos administrativo y técnicos para los debidos controles.

Entre los puntos más importantes tenemos: En el capítulo II se establece la autoridad competente, La Dirección General de Salud Ambiental y sus servicios regionales. Capítulo III: Categoriza las prácticas. Capítulo IV: define los tipos de autorizaciones y sus requisitos. Capítulos V, VI, VII, VIII, IX y X: establecen los requisitos de los responsables, de los equipos y fuentes, de las instalaciones, de los operadores, de los procedimientos de trabajo y de la protección radiológica, respectivamente. Capítulo XI: establece las inspecciones. Capítulo XII, las faltas y sanciones.

9.2 LA NORMALIZACION EN MATERIA DE PROTECCION RADIOLOGICA

La normalización en Venezuela en materia de protección radiológica, se inicia a partir de la iniciativa de Fondonorma, en agrupar distintas instituciones que tuviesen relación con la materia. Luego de ciertas reuniones preliminares, el 25 de abril de 1980 se instala el Sub-comité Sc4 de Protección Radiológica, dentro del Comité Técnico CT6 Higiene, Seguridad y Protección. El alcance del Sc4 era elaborar las Normas Venezolanas Covenin relativas al control, manejo y uso de los equipos y materiales que emiten radiaciones ionizantes y no ionizantes salvo la radiación calórica.

El sub-comité Sc4, hoy elevado a Comité Técnico 49 (CT 49), desde su creación ha elaborado dieciséis (16) normas, las cuales se presentan en el cuadro anexo.



NORMAS VENEZOLANAS COVENIN

NVC	OBJETIVO Y APLICACIÓN
96:1992	Establece el símbolo básico de radiaciones ionizantes, debe ser usado en todas las instalaciones que manejen radiaciones ionizantes
218/ I: 2000	Norma que establece los requisitos mínimos para el diagnóstico médico y odontológico con rayos X
218/ II: 2002	Norma que establece los requisitos mínimos para la practica de radioterapia
218/ III: 2004	Norma que establece los requisitos mínimos para la practica de medicina nuclear
2026: 1999	Norma para el transporte de material radiactivo.
2238: 2004	Norma que establece los requisitos mínimos para el manejo de radiaciones no ionizantes
2240: 1987	Norma que establece las fuentes de radiación exentas de regulación
2256: 2002	Lista de definiciones
2257: 1995	Norma que establece la señalización y clasificación de las áreas
2258:1995 (en revisión)	Norma que establece los requisitos técnicos de la vigilancia radiológica aplicable a cada tipo de práctica
2259: 1995	Norma que establece los límites de dosis en Venezuela para trabajadores y público
2497: 1988	Norma que establece los requisitos técnicos para funcionamiento de un laboratorio de dosimetría personal
3190: 1995	Norma que establece los requisitos mínimos que deben cumplir los contenedores de material radiactivo
3299: 1997	Norma que establece los requisitos mínimos para la elaboración de un programa de protección radiológica, en las diversas prácticas con radiaciones ionizantes
3375: 1998	Norma que establece los requisitos técnicos para realizar prácticas de radiografía industrial
3496: 1999	Norma de adopción de las normas de seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica. Publicación 115 del OIEA.
3605: 2000	Norma de adopción del OIEA TEC DOC 1151. Establece los aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia: Protocolos de Calidad.
3845: 2005	Norma de adopción del OIEA TEC DOC 602: Control de Calidad de equipos e instrumentos en Medicina Nuclear



DEFINICIONES

ACTIVIDAD: Número de átomos que se desintegran en la unidad de tiempo. La fuerza de una fuente radiactiva se mide por su actividad.

BEQUEREL: Es la unidad de actividad del Sistema Internacional y equivale a una desintegración nuclear por segundo.

BLINDAJE: Es todo material empleado para reducir la intensidad de las radiaciones ionizantes

CALIBRACION: Operación que tiene por objeto establecer la graduación de un dispositivo de medida.

COLIMADOR: Dispositivo metálico de alta densidad (plomo, tungsteno, uranio residual) que atenúa significativamente la radiación y permite direccionar el haz de radiación hacia la zona de interés radiográfico.

CONTAMINACION RADIATIVA: Es la presencia indispensable de sustancias radiactivas en seres vivos, objeto ó en el ambiente.

CONTAMINACION RADIATIVA EXTERNA: Es la contaminación de las partes externas de seres vivos u objetos.

CONTAMINACION RADIATIVA INTERNA: Es la contaminación de los órganos internos de los seres vivos.

DESECHO RADIATIVO: Es todo el material radiactivo del cual no es posible un uso posterior.

DESCONTAMINACION RADIATIVA: Es la operación que permite la eliminación ó reducción de la contaminación radiactiva presente en los seres vivos ó en los objetos.

DETECTOR DE RADIACIONES: Cualquier instrumento capaz de determinar la presencia y cantidad de radiación.

DETECTOR GEIGER-MULLER: Instrumento de medida de la radiación ionizante, basado en el principio de recolección de iones formado por la acción ionizante sobre el gas que se encuentra encerrado en un recipiente metálico o de vidrio en el cual hay dos electrodos. La principal característica de este detector es su gran sensibilidad.

DOSIMETRIA PERSONAL: Proceso que permite determinar las dosis recibidas en todo el cuerpo, o en la parte del mismo, así como el tipo de calidad de la radiación ionizante que afectan al individuo.

DOSIMETRO DE PELICULA: Es una variedad de detectores químicos, consistente en una lámina de plástico cubierta con una emulsión de halogenuro de plata.

DOSIMETRIA POR TERMOLUMINISCENCIA: Es un tipo de dosimetria cuyo medio detector consiste en un material que después de haber sido irradiado y sometido a la acción del calor, emite una luz cuya intensidad es proporcional a la dosis de radiación recibida.

DOSIMETRO ELECTRONICO: Semiconductor o G-M miniaturizado diseñado para



determinar en forma directa la dosis recibida por el usuario. Posee el mismo tiempo niveles de alarma que pueden prefijarse de acuerdo a los valores de referencia establecidos.

DOSIS ABSORBIDA: Magnitud dosimétrica fundamental, definida por la expresión $D = \frac{de}{dm}$ en la que D es la dosis absorbida, es la energía media impartida por la radiación ionizante a la materia de un volumen dado y dm es la masa de la materia existente en ese volumen.

DOSIS EQUIVALENTE (H): Es la dosis de un punto considerado en un tejido, que expresa el riesgo asociado con la radiación recibida. Viene dado por la ecuación $H = D \times W_r$.

Donde: D es la dosis absorbida, W_r el factor de ponderación de la radiación.

La unidad de dosis equivalente en el sistema internacional es el SIEVERT (Sv).

1 Sv = 100 Rem

EFEECTO DETERMINISTA: Efecto de la radiación para el que existe por lo general sin un nivel de dosis umbral por encima de la cual la gravedad del efecto aumenta al elevarse la dosis.

EFEECTO ESTOCASTICO: Efecto de la radiación, que se producen por lo general sin un nivel de dosis umbral, cuya gravedad es independiente de la dosis.

EXPOSICION (X): Cantidad de radiación que incide sobre el cuerpo.

La unidad del Sistema Internacional es Coulomb/Kilogramo (C/Kg.).

1 Roentgen = $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg

FACTOR DE PONDERACION DE LA RADIACION (W_r): Es un valor modificante de la dosis absorbida que permite determinar el riesgo producido por los diferentes tipos de radiaciones ionizantes.

FACTOR DE PONDERACION DEL TEJIDO: Es un valor que representa la proporción del riesgo estocástico resultante del tejido (T) con relación al riesgo total cuanto se irradia el cuerpo entero uniformemente.

FUENTES DE RADIACIONES IONIZANTES: Es un aparato o sustancia que emite o escapa de emitir radiaciones ionizantes.

FUENTE RADIOACTIVA SELLADA: Material radiactivo que está a) permanentemente encerrado en una cápsula o b) estrechamente ligado y en forma sólida. La cápsula o el material de una fuente sellada deberán ser lo suficiente resistentes para mantener la estanqueidad en las condiciones de uso y desgaste para las que la fuente se haya concebido, así como en el caso de percances previsibles.

GENERADOR DE RADIACION: Dispositivo capaz de generar radiación tal como rayos-x, neutrones, electrones u otras partículas cargadas, que puede utilizar con fines científicos, industriales o médicos.

INCORPORACION: Proceso de entrada de radionucleidos en el organismo humano por inhalación, por ingestión o a través de la piel.

LABORATORIO DE CALIBRACION DOSIMETRICA: Laboratorio encargado por la autoridad nacional competente de establecer, mantener o mejorar patrones primarios o secundarios con fines de dosimetría de la radiación.



LIMITE ANUAL DE INCORPORACION: Incorporación por inhalación, ingestión o a través de la piel, de un radionucleido dado en un año, en el hombre de referencia, que tendría como consecuencia una dosis comprometida igual al límite de dosis correspondiente. El LAI se expresa en unidades de actividad.

LIMITE DE DOSIS: Valor de la dosis efectiva o de la dosis equivalente causada a los individuos por practicas controladas, que no se deberá rebasar.

LIMITE DE DOSIS EQUIVALENTE: Es el valor de la dosis equivalente que no debe ser superado

MATERIAL RADIOACTIVO: Es todo material que contiene sustancias que emiten radiaciones ionizantes.

MONITOREO: Proceso mediante el cual se miden las radiaciones ionizantes con un equipo determinado.

OFICIAL DE PROTECCION RADIOLOGICA: Persona técnicamente competente en cuestiones de protección radiológica de interés para un tipo de practica dado, que es designada por la Dirección de la Instalación para supervisar la aplicación de los requisitos prescritos por las Normas.

PROTECCION RADIOLOGICA: Es la disciplina que tiene por objeto prevenir en algunos casos o hacer mínimos en otros, los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.

PROTECCION Y SEGURIDAD: Protección de las personas contra la exposición a la radiación ionizante y a las sustancias radiactivas, así como seguridad de las fuentes de radiaciones, incluidos los medios para conseguir esa protección y seguridad, tales como los diversos procedimientos y dispositivos para reducir las dosis y riesgos de las personas al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse y mantenerlos por debajo de las restricciones prescritas de dosis relacionadas con las fuentes, así como los medios para prevenir accidentes y atenuar las consecuencias de estos si ocurrieran.

PUBLICICO: Se entiende por tal a los miembros de la población así como a los trabajadores de una instalación que no estén expuestos profesionalmente a las radiaciones ionizantes.

RADIACIONES IONIZANTES: Son aquellas de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia producen iones directa o indirectamente.

RADIOACTIVIDAD: El proceso de transformación espontánea de un núcleo inestable acompañado con la emisión de partículas cargadas y radiación electromagnética se conoce como radioactividad.

TASA DE DOSIS: Es el incremento de la dosis absorbida en una unidad de tiempo determinada.

VIDA MEDIA: Es el tiempo en que la mitad del número total de átomos iniciales se desintegro.

VIGILANCIA MEDICA: Supervisión medica cuya finalidad desasegurar la aptitud inicial y permanente de los trabajadores para la tarea a que se les destine.



VIGILANCIA RADIOLOGICA: Medición de la dosis o la contaminación por razones relacionadas con la evaluación o el control de la exposición a radiación o a sustancias radiactivas, e interpretación de los resultados.

VIGILANCIA DE SALUD: Supervisión médica cuya finalidad es asegurar la aptitud inicial y permanente de los trabajadores para la tarea a que se les destine.

ZONA CONTROLADA: ES Aquella donde la tasa de exposición medida es igual o mayor de 0,5 mR/hr.

ZONA SUPERVISADA: Es aquella donde la tasa de exposición medida es menor de 0,5 mR/hr



REFERENCIAS

- ❖ Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana, Vol. LXXVI, Nro.1, USA, 1.974. "Exámenes Radiológicos: Guía para una buena Práctica Clínica", Organización Panamericana de la Salud, publicación Nro. 229, USA, 1.971
- ❖ Curso de Postgrado en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear, Tomos 1 y 2, Autoridad Regulatoria Nacional de Argentina, Buenos Aires, 2000.
- ❖ Colección Seguridad N° 115: Normas Básicas Internacionales de seguridad par la protección contra la radiación ionizantes y para la seguridad de las fuentes de radiación OIEA, 1997.
- ❖ Decreto 2210 "Normas Técnicas y Procedimientos para el Manejo de Material Radiactivo"; Gaceta Oficial 4418 extraordinario, de fecha 27/04/1992.
- ❖ Guía Efectos Biológicos de las Radiaciones, Escobar Myriam, Junio 2002.
- ❖ "Guía de Seguridad para trabajos con Radiaciones Ionizantes", Gerencia Corporativa de Protección Integral, Petróleos de Venezuela S.A., Caracas, 1.994
- ❖ Hernandez, Francisco, "Normas y Procedimientos en la sección de Protección Radiológica del IVSS", dirección de medicina del trabajo, Caracas, 1.994
- ❖ I.V.I.C., Radiofísica Sanitaria, Curso de Protección Radiológica, Venezuela, 1.993
- ❖ Internacional Commision Radiologica Proteccion, ICRP, publicación Nro. 60, recomendaciones de la comisión Internacional de protección radiológica, USA, 1.960
- ❖ Manual práctico sobre el uso de los Rayos X en medicina y Odontología, Colegio Americano de Radiología, España, 1.960
- ❖ Manual de Técnicas Radiográficas: Sistema Radiológica básico de la O.M.S., Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1.986
- ❖ Normas, Técnicas y procedimientos para el manejo de material radiactivo, decreto 2210, Venezuela, 1.992
- ❖ Normas Venezolanas COVENIN
- ❖ Notas de Clases, Taller de Protección Radiológica, Convenio Integral Cuba-Venezuela, junio 2008.
- ❖ Protección contra las radiaciones Ionizantes de fuentes externas, utilizadas en medicina, Organización Panamericana de la Salud, Cuaderno Técnico Nro.15, USA, 1.988
- ❖ Protección Radiológica diagnóstica, Comisión nacional de Energía Nuclear, Brasil, 1.993
- ❖ Radioterapia y Medicina Nuclear, U.C.V., Caracas, 1.993
- ❖ Reglamento General de Seguridad Básica, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 1.992
- ❖ Urdaneta, Nelson, Manual de Radioterapia Oncológica, USA, 1.989.
- ❖ Resolución 401: "Norma Sanitaria para la Autorización y Control de las Radiaciones Ionizantes en Medicina, Odontología y Veterinaria"; Gaceta Oficial 38.572 de fecha 27-11-07.