

## CRITERIOS DE PROTECCION RADIOLOGICA

Ing. Renán Ramirez Quijada

### 1. INTRODUCCION:

El descubrimiento de las radiaciones y de la radiactividad, hacia finales del siglo pasado, trajo consigo una serie de beneficios al hombre, debido a su aplicación en diversos campos de su actividad, principalmente en medicina. Este uso sin embargo, produjo una serie de daños, muchas veces graves en las personas, debido al desconocimiento de los efectos que causaban.

Las evidencias de daño mostradas así como las posteriores investigaciones en radiobiología, hicieron que el hombre aprendiera a protegerse intuitivamente en un principio y sistemáticamente en forma posterior, de tal modo que se pudieran controlar adecuadamente los riesgos.

### 2. PROTECCION RADIOLOGICA Y SUS OBJETIVOS.

to de normas, métodos y medidas destinadas a prevenir o minimizar los riesgos que puedan derivarse de la exposición a las radiaciones ionizantes.

Los objetivos de la protección radiológica son evitar los efectos no estocásticos y reducir la frecuencia de los efectos estocásticos, a un nivel aceptable.

El término "riesgo" es usado en protección radiológica para indicar la probabilidad de que un individuo experimente un efecto estocástico dado como resultado de una exposición a las radiaciones. Este término puede traducirse al campo técnico mediante una relación que permite cuantificar el riesgo

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{Daño}$$

donde la dimensión de frecuencia es: sucesos/unidad temporal, y daño: consecuencias/suceso.

Al respecto es necesario enfatizar que los efectos no estocásticos se relacionan a aquellos cuya gravedad depende de la dosis, existiendo una dosis umbral (500 mSv) o, debajo de la cual estos efectos (enfermedades agudas de radiación, radiodermatitis, cataratas, etc.) no se manifiestan. De otro lado, los efectos estocásticos son de naturaleza probabilística, es decir, habrá una mayor probabilidad de aparición de estos efectos (genéticos y de inducción de cáncer); cuanto más grande sea la dosis. Con fines de radioprotección se asume que hay una relación lineal entre la dosis y la probabilidad de un efecto estocástico en el rango de las dosis

normales que se dan en el trabajo con radiaciones ionizantes. La inducción de enfermedades malignas está bien establecida para dosis altas (1 Gy o más), pero la evidencia estadística para bajas dosis es todavía insuficiente para demostrar la inducción de estos efectos. En la zona de bajas dosis se debe asumir que, para un incremento de dosis, existe un incremento de respuesta.

De otra parte, el término denominado "detrimento" expresa el daño total al hombre, que pudiera aparecer después de una exposición, en condiciones bien definidas de exposición y a un nivel dado de dosis. Se le define como el producto de la probabilidad de ocurrencia del efecto ( $p_i$ ) y el correspondiente factor de severidad ( $g_i$ ).

$$G = \sum p_i \times g_i$$

El factor de severidad deberá tomar en cuenta no solo la consecuencia del efecto sino el período medio de latencia, las posibilidades terapéuticas y los efectos posteriores luego de la recuperación.

### 3. SISTEMA DE LIMITACION DE DOSIS.

Para lograr los objetivos de la protección radiológica se ha recomendado el uso de un sistema de limitación de dosis consistente de los siguientes requerimientos:

3.1. Justificación. No deberá autorizarse ninguna práctica que ocasione una exposición en el hombre, a menos que su introducción produzca un beneficio neto positivo, tomando en cuenta el detrimento radiológico resultante. La relación ideal para evaluar este aspecto viene dado por

$$B = V - (P + X + Y)$$

donde B es el beneficio neto de la práctica, V el beneficio bruto, P el costo de producción, X el costo de protección y Y el costo del detrimento de la operación. En la práctica, esta evaluación es compleja debido a la existencia de costos intangibles que subjetivizan el análisis, sin embargo es más simple comparar las alternativas asociadas a fines de protección radiológica (detrimento).

3.2. Optimización. Todas las exposiciones deberán ser mantenidas tan bajas como razonablemente sea logable, tomando en cuenta los factores sociales y económicos. Este requerimiento básico puede conseguirse en forma cualitativa en la práctica operacional, y en forma más cuantitativa en la elección de criterios de diseño. La evaluación puede ser hecha mediante el análisis diferencial costo/beneficio, requiriendo en este caso la asignación de un valor monetario del detrimento de radiación ( ), el cual refleja la disposición y habili-

dad de la sociedad para reducir el riesgo estocástico. Este valor varía entre países, habiendo recomendado el OIEA un valor no menor a \$ 3000 U.S./Sv-hombre, fuera de fronteras. En realidad la optimización llega a ser más cualitativa como un concepto que se aplica a operaciones en las instalaciones existentes.

3.3. Limitación de la dosis individual. La dosis equivalente a los individuos, que provengan de todas las prácticas excepto aquellas específicamente excluidas y excluidas, no deberán exceder los límites de dosis aplicables. Un límite se entiende que es el valor de una cantidad que no debe ser excedida y las dosis por debajo de estos límites no están automáticamente permitidas sino que deben sujetarse a un proceso de optimización. En protección radiológica se tienen:

a. Límites primarios de dosis equivalente. Se relacionan a dosis equivalente efectiva, dosis equivalente comprometida o dosis equivalente efectiva comprometida. Se aplican al individuo o al grupo crítico y se dividen en

- límites de dosis para exposición ocupacional: El límite para la dosis equivalente efectiva anual de trabajadores es de 50 mSv y las dosis equivalentes anuales para órganos individuales y tejidos es de 500 mSv excepto en el caso del cristalino cuyo valor es de 150 mSv.

- límites de dosis para el público: El límite para la dosis equivalente efectiva anual del público es de 1 mSv. Cuando los miembros del público podrían, de otro modo, exponerse a dosis cerca al límite, por períodos prolongados, sería prudente restringir su dosis equivalente efectiva a un valor inferior al propuesto.

b. Límites secundarios. Son valores que se usan cuando no se pueden aplicar directamente los límites de dosis. Estos se expresan en términos de índices de dosis equivalente o en límites anuales de incorporación (L.A.I.).

c. Límites derivados. Son valores relacionados a los límites primarios de tal modo que, si se cumplen, es probable que los límites primarios serían también cumplidos.

d. Límites autorizados. Son aquellos que determina la Autoridad Competente para una práctica o instalación específica, y deben ser menores a los límites primarios y mayores a los límites operacionales.

#### 4. CONDICIONES DE EXPOSICION.

Se reconoce dos condiciones distintas de exposición:

- condiciones donde la ocurrencia de exposición es prevista y puede ser limitada mediante el control de la fuente y por la aplicación del sistema de limitación de dosis (condiciones normales de exposición).
- condiciones donde la fuente está fuera de control y las exposiciones pueden limitarse en magnitud, solo mediante acciones remediales (condiciones anormales de exposición).

#### 5. EXPOSICION OCUPACIONAL - Condiciones Normales.

La limitación de las dosis ocupacionales se basa en el sistema de limitación de dosis, la cual es tomada en cuenta de diversos modos, por las autoridades competentes para la emisión de normas y regulaciones necesarias para una protección adecuada.

Toda instalación propuesta o toda nueva operación, debe ser examinada desde el punto de vista de la protección radiológica. Esto puede ser hecho mediante comparación con normas, evaluación del diseño, verificaciones, evaluación de la exposición de los individuos o grupos, y procedimientos que contribuyan a reducir las dosis. Se deben incluir tanto las condiciones normales como las accidentales. Se identificarán a las personas técnicamente competentes para asesorar en aspectos de protección radiológica.

Es conveniente considerar la existencia de dos condiciones de trabajo

- condición de trabajo de tipo A, donde las dosis pueden exceder los 3/10 de los límites; y
- condición de trabajo de tipo B, donde es improbable que se excedan los 3/10 del límite.

Esta permitirá a su vez, clasificar las áreas de trabajo en "área controlada", donde el trabajo permanente implica condiciones de trabajo de tipo A, y "área supervisada" donde se dan condiciones de trabajo de tipo B.

##### 5.1. Restricción de la exposición.

Se deben efectuar todos los arreglos necesarios para restringir la exposición ocupacional mediante el control de la fuente y del individuo. Debe enfatizarse la seguridad intrínseca en el lugar de trabajo y la protección que dependa de las acciones del trabajador.

- Un sistema de confinamiento está constituido por todo aquel dispositivo que impida la dispersión y la difusión del material radiactivo, por ejemplo las celdas estancas, ventilación, bandejas metálicas, etc.
- El bloqueo de material radiactivo se logra mediante la interposición de barreras en las vías de entrada en el hombre (ingestión, inhalación y a través de la piel), por ej. guantes, mandiles, cubrezapatos, máscaras respiratorias, etc.
- En cuanto a las reglas de higiene, son procedimientos que dependen de la persona, en su aplicación.

## 5.2. Control de accesos.

El acceso áreas controladas debe estar restringido a aquellas personas asignadas a tales tareas o a aquellas específicamente autorizadas.

En las áreas supervisadas, el acceso de trabajadores deberá sujetarse a instrucciones locales.

Es conveniente que la entrada o entradas a las áreas controladas posean enclavamientos o barreras físicas que impidan accesos no autorizados o no deseados.

## 5.3. Vigilancia radiológica.

En las áreas controladas es necesario establecer un control de los niveles de radiación del área y de dosis de personal. El monitoraje de área debe llevarse a cabo para evaluar los niveles de radiación externa, la contaminación radiactiva y los riesgos de radiación asociados a accidentes o situaciones de emergencia.

Para los trabajadores en condición de trabajo de tipo A es necesario establecer un programa de vigilancia radiológica individual que permita determinar las dosis equivalentes (externa o interna, o ambas) recibidas durante su trabajo. Para los trabajadores en condición de trabajo de tipo B sería prudente monitorearlos periódicamente, para verificar la magnitud estimada de dosis, en especial cuando los campos de radiación o las concentraciones de sustancias radiactivas son variables.

## 5.4. Vigilancia médica.

Se deberá establecer una vigilancia médica para evaluar la salud de los trabajadores, ayudar al aseguramiento de la compatibilidad inicial y continua de la salud del trabajador y el trabajo, proveer de información de base útil en el caso de accidentes o enfermedades ocupacionales. La frecuencia de estos exámenes se decide sobre la base de infor-

mación relativa a condiciones y ambiente de trabajo, registros personales y ausencias por enfermedad.

#### 6. EXPOSICIONES ACCIDENTALES E INTERVENCION EN CASOS DE ACCIDENTES.

Se requiere una planificación previa y adecuada para enfrentar situaciones que conducen o podrían conducir a una exposición anormal.

Es conveniente previamente prefijar los niveles de referencia necesarios para tales acciones. Un nivel de referencia es el valor de una cantidad que se usa para determinar el curso de una acción particular. A tal efecto se definen a los siguientes:

- a. Nivel de registro; valor definido por la Autoridad Competente sobre el cual se considera que la información es de suficiente interés como para mantenerla en registro.
- b. Nivel de investigación; valor sobre el cual se considera que existe justificación para una investigación posterior.
- c. Nivel de intervención, usado en situaciones anormales y que es un valor sobre el cual se justifica una acción de remedio.

El propósito de la intervención es recuperar el control restringir las exposiciones, aplicar las contramedidas necesarias para mitigar las consecuencias de exposiciones inevitables, y proporcionar ayuda médica a los individuos afectados.

Para llevar a cabo todas estas acciones es necesario la elaboración previa de un Plan de Emergencias que establezca claramente: la organización, funciones y responsabilidades, facilidades para activar el plan, indicación de contramedidas, niveles de intervención derivados, acciones de recuperación y re-establecimiento, entre los más generales.

#### 7. EXPOSICION AL PUBLICO.

Los miembros del público no están sujetos normalmente a supervisión. En consecuencia, la exposición de individuos está limitada a través del control de la fuente. En este caso también es aplicable el sistema de limitación de dosis con lo que la limitación de dosis en el público tomará en cuenta

- el criterio referido a la protección del individuo (los límites de dosis individual al público deben ser respetados).
- el criterio referido a la fuente.

Los mecanismos de exposición del individuo se refieren a si esta es externa o es interna.

La exposición externa se produce cuando la fuente de radiaciones irradia al individuo sin entrar en contacto con el. La dosis en este caso es función de la intensidad de la fuente y de la tasa de exposición. La exposición externa puede ser restringida por el uso blindaje, distancia y limitación del tiempo de exposición. El blindaje provee condiciones intrínsecas de seguridad, en tanto que el uso de la distancia y limitación del tiempo, depende del entrenamiento y supervisión de los trabajadores. La utilidad práctica de estos sistemas puede ser descrito en el modo siguiente:

a. distancia; la dosis se reduce mientras mayor sea la distancia entre la fuente y la persona, lo que se cumple de acuerdo a la siguiente relación:

$$d_1^2 H_1 = d_2^2 H_2 \text{ ( la dosis es inversamente proporcional, al cuadrado de la distancia)}$$

b. tiempo; la dosis recibida es menor cuanto menos tiempo se permanece junto a la fuente.

$$H = f (t, H)$$

c. blindaje; en este caso el sistema de control es el blindaje y el parámetro de control es el espesor, a mayor espesor se tendrá una menor dosis. La relación aplicable general es

$$H = H_0 e^{-u \times B}$$

donde los términos u, x y B se refieren al coeficiente de atenuación, espesor del blindaje y factor de multiplicación característico de cada material y para cada energía.

Es importante asimismo verificar periódicamente los dispositivos de seguridad, de modo que se asegure una operación adecuada ante el requerimiento.

La exposición interna se produce cuando el material radiactivo ingresa en el organismo, sea por inhalación, ingestión y/o a través de la piel o heridas. La dosis en este caso es función del semiperiodo físico y biológico del contaminante, forma química, órganos de preferencia, etc. lo que hace compleja su evaluación. La contaminación por materiales radiactivos se restringe mediante el confinamiento, bloqueo y limpieza. El contenimiento y bloqueo son factores de seguridad intrínseca y consisten en barreras cuyo número y naturaleza están en función del riesgo potencial.

Para las evaluaciones referidas al individuo, se deberán estimar las exposiciones totales a la radiación que reciben los individuos dados, provenientes de todas las fuentes y prácticas que involucren radiaciones para los cuales se aplican los límites de dosis individuales.

Las evaluaciones referidas a la fuente tratan idealmente de la estimación del detrimento total de la radiación, proveniente de una fuente o práctica dada. Para dosis individuales pequeñas y menores que los límites de dosis, el detrimento es proporcional a la dosis equivalente efectiva colectiva comprometida.

1991

\*\*\*\*\*