

MÓDULO 0:

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

0.1 EFECTOS DE LA RADIOACTIVIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN

Profesor: D. Vicente Gamo Pascual

PROINSA

0.1 EFECTOS DE LA RADIOACTIVIDAD Y PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN

Objetivos

La finalidad de este módulo es proporcionar los conocimientos básicos relativos a la radiactividad y a los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la salud, así como sobre las dosis de radiación, principios de protección radiológica y actuaciones ante emergencias, para así facilitar la comprensión de los siguientes módulos.

Contenidos

- El átomo
- Estabilidad nuclear
- Radiactividad y Actividad
- Radiación ionizante: tipos y efectos
- Exposición a la Radiación
- Efectos biológicos de la exposición a la radiación
- Dosis de radiación
- Protección radiológica
- Límites de la dosis
- Reglas prácticas para la protección radiológica
- Glosario

0.1.1 EL ÁTOMO

El átomo es la unidad más pequeña de un elemento químico que mantiene su identidad o sus propiedades y que no es posible dividir mediante procesos químicos. Toda la materia está compuesta de átomos.

Composición

Los átomos son corpúsculos elementales eléctricamente neutros. Se componen de un **núcleo** central que contiene casi toda la masa del átomo y se encuentra cargado positivamente, y la **corteza** formada por un cierto número de electrones, cuya carga total es igual y de signo contrario a la del núcleo, por lo que la materia se presenta como eléctricamente neutra.

El núcleo del átomo se compone de dos tipos de partículas específicas, llamadas conjuntamente **nucleones**:

- **Protones**, que poseen masa y carga eléctrica positiva. En átomos eléctricamente neutros, su número es igual al de electrones.

- **Neutrones**, cuya masa es similar a la de los protones, pero no tienen carga eléctrica.

De lo anteriormente expuesto se puede concluir:

- El átomo es eléctricamente neutro.
- La masa del átomo se encuentra en el núcleo.

Parámetros característicos. Nucleidos e isótopos

Al número de nucleones (protones + neutrones) de un átomo se le denomina número másico, y se representa con la letra **A**.

Al número de protones contenidos en el núcleo de un átomo se le denomina número atómico y se representa con la letra **Z**.

Este par de los valores (A, Z) es el que caracteriza un átomo o nucleido:

Los átomos que tienen el mismo número de protones (idéntico número atómico Z) y diferente número de nucleones (diferente número másico A) se conocen como **isótopos**. Su comportamiento químico es el mismo, pero difieren su comportamiento nuclear.

Una sustancia química está formada por una combinación de diversos isótopos en proporciones fijas. Por lo tanto, es el número atómico Z el que caracteriza la naturaleza química del elemento químico.

Para átomos con $Z < 20$, el número de neutrones (n) contenidos en el núcleo es aproximadamente igual al número de protones (Z); en átomos con $Z > 20$, el número de neutrones es mayor que el número de protones, aumentando este exceso de neutrones de manera proporcional a Z.

Hay ciertas reglas con respecto al número de los protones, neutrones y electrones a considerar en los átomos, pero no se incluyen en el alcance de este módulo.

0.1.2 ESTABILIDAD NUCLEAR

Hay nucleidos cuya naturaleza (valores de A y Z) no cambia con el tiempo: se dice que son átomos estables. Cuando estos valores varían, se les denomina átomos inestables.

Los átomos estables tienen en el núcleo un número determinado de neutrones por cada protón (el cociente de N/Z tiene cierto valor). Cuando este cociente experimenta algún cambio, el nucleido pasa a ser inestable, y los niveles de energía que contiene se consideran excesivos.

Los nucleidos inestables se desintegran espontáneamente, emitiendo una o varias partículas, acompañadas por radiación electromagnética, hasta que se convierten en nucleidos estables con menor masa y energía (esto constituye un cambio de la especie atómica). Este proceso se llama **desintegración** o transformación radiactiva.

El proceso de desintegración radiactiva es aleatorio, con una probabilidad λ , conocida como **constante de desintegración** (que representa la probabilidad de un nucleido específico de desintegrarse por unidad del tiempo seguida de una constante inicial arbitraria). El valor de λ es igual para todos los nucleidos de una misma especie nuclear y es constante en el tiempo, lo que significa que es independiente de la "edad" del nucleido. En otras palabras, un nucleido radiactivo "no envejece" de la misma manera que un ser humano, cuya probabilidad de muerte aumenta con la edad. Los nucleidos inestables se llaman nucleidos radiactivos o **radionucleidos**.

0.1.3 RADIATIVIDAD Y ACTIVIDAD

La radiactividad o radioactividad es un fenómeno físico natural, por el cual algunos cuerpos o elementos químicos llamados radiactivos emiten radiaciones. Las radiaciones emitidas pueden ser electromagnéticas, en forma de rayos X o rayos gamma, o bien partículas, como pueden ser núcleos de Helio, electrones o positrones, protones u otras. Es, en definitiva, la capacidad de los nucleidos inestables de desintegrarse espontáneamente buscando la estabilidad.

Existe también la posibilidad de crear radiactividad artificial en la materia, por la irradiación con neutrones u otras partículas, dando lugar a reacciones nucleares inducidas artificialmente: este fenómeno se conoce como radiactividad artificial.

La actividad de un material radiactivo se mide por el número de desintegraciones producidas por unidad de tiempo, que se conoce como tasa o velocidad de desintegración. Cada radionucleido tiene su propia tasa específica.

La unidad empleada para medir la radiactividad corresponde a una desintegración nuclear por segundo y se denomina Becquerelio (**Bq**). Esta sustituye a la unidad utilizada antiguamente, llamada Curio (Ci), que equivale a 37.000.000.000 de desintegraciones por segundo. Así $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$

Como consecuencia de la desintegración radiactiva, se produce una reducción en el número de átomos con el tiempo (y por lo tanto de la actividad) en cualquier muestra de materia radiactiva; el número inicial de átomos en la muestra se reducirá en proporción con el período transcurrido. El **período de semidesintegración** es el tiempo necesario para que los radionucleidos reduzcan a la mitad su número inicial. Esto se expresa en el cociente siguiente: $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$.

La vida real del núcleo, empezando en un instante inicial cualquiera, puede variar de cero a infinito, pero cada núcleo tiene cierta esperanza de vida, señalada como vida media y representada por el símbolo τ . La vida media de un nucleido es por lo tanto su esperanza de vida, y es proporcionada por la expresión siguiente: $\tau = 1 / \lambda = 1.443 T_{1/2}$.

0.1.4 RADIACIONES IONIZANTES. TIPOS Y EFECTOS

Radiación es la emisión y propagación de energía en forma de ondas (radiación electromagnética) o partículas (radiación corpuscular). Cada radiación

(electromagnética o corpuscular) está caracterizada por una serie de parámetros, uno de los cuales es la **energía** que porta.

Las radiaciones más energéticas tienen una longitud de onda igual o menor a 100 nanómetros, o una frecuencia igual a o mayor que 3×10^{15} Hz. Tales radiaciones se llaman "**ionizantes**" porque tienen suficiente energía como para arrancar electrones de las capas externas de los átomos en que impactan produciendo iones, directa o indirectamente.

Cuando las radiaciones ionizantes interactúan con la materia, transfieren a los átomos toda o parte de su energía, lo que produce **ionización** y/o **excitación**; causando, por lo tanto, alteraciones o daños a su paso, especialmente en tejidos orgánicos.

Tipos de radiación ionizante

El proceso de desintegración (o transformación radiactiva) producido en números mágicos altos da lugar a tres tipos de radiación ionizante: dos que son corpusculares (alfa (α) y beta (β)) y una que es electromagnética (radiación gamma (γ)). Esta última está presente en la mayoría de los casos (aunque no siempre) de emisión de partículas α y β . En el proceso radiactivo de desintegración por fisión, se emiten también neutrones (radiación neutrónica, que es una clase de radiación corpuscular).

Partículas α

Las partículas alfa están formadas por dos neutrones y dos protones, lo que explica por qué es la **más ionizante** y la **menos penetrante** de los tres tipos de radiación ionizante (α , β y γ), dado que pierde toda su energía en una distancia muy corta. Pueden ser detenidas por una simple hoja del papel, y apenas penetran más allá de las primeras capas de células muertas de la piel. La radiación alfa solamente es dañina para el cuerpo humano cuando se **inhala** (en el aire) o se **injiere** (con agua o el alimento) la sustancia radiactiva que la emite, pues pasa a emitirla desde dentro del cuerpo.

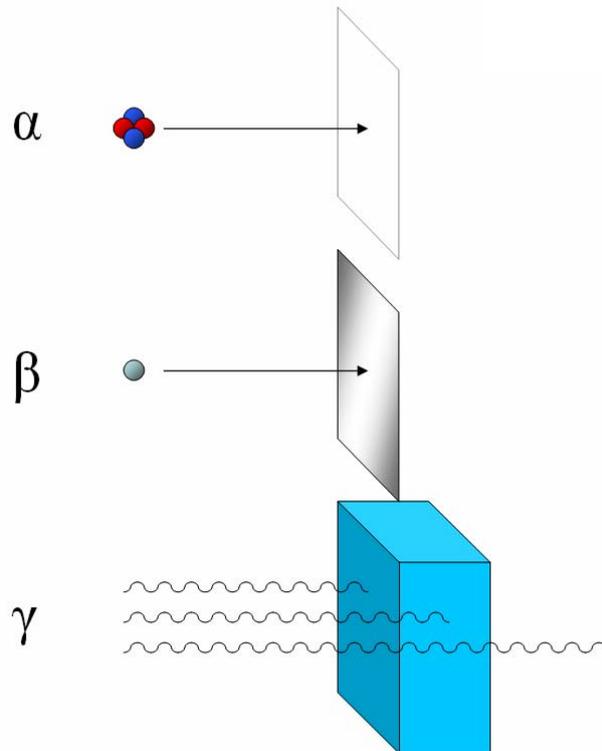
Partículas β

Las partículas beta tienen la misma masa y carga que el electrón. Son menos ionizantes pero **más penetrantes** que las partículas alfa, pues pueden pasar a través de una hoja de papel, pero son paradas por una hoja de metal fina. Se producen cuando un neutrón del núcleo atómico se transforma en un protón que permanece en el núcleo y emite una partícula β desde el núcleo. La radiación β puede producir quemaduras en la piel y es bastante dañina para el cuerpo humano si la sustancia radiactiva que lo emite es absorbida y la radiación pasa a ser interna.

Radiación γ

Los rayos gamma son ondas electromagnéticas formadas por **fotones** que no tienen masa ni carga eléctrica. Tienen una alta tasa de penetración en la materia, con la que interactúan de diferente forma que las partículas alfa o beta. Pueden atravesar una hoja de metal, pero pueden ser parados por capas muy gruesas de hormigón.

Debido a su alto recorrido de penetración, la radiación γ puede ser muy dañina para los organismos vivos, causando la ionización de los átomos en su trayectoria a través de las células. Por lo tanto, se requiere blindar apropiadamente como protección siempre que la radiación γ esté presente.



Radiación neutrónica

Es un tipo de radiación corpuscular compuesta de neutrones, partículas sin carga eléctrica pero con **masa**. Los neutrones de fisión tienen una gran energía (de 0.4 a 17 MeV) debido a su velocidad inicial alta, que, combinada con su masa y a la ausencia de la carga eléctrica, los hace altamente penetrantes. En la interacción con el material, excitan e ionizan los núcleos, generando fuentes secundarias de radiación. Todos estos procesos son **destructivos** y producen cambios severos en la composición bioquímica de células orgánicas. Esta es la razón por la cual se debe proteger adecuadamente con blindajes apropiados. Los neutrones pueden ser detenidos con materiales ligeros tales como agua u hormigón, y capturados con Boro.

Este tipo de radiación prácticamente desaparece cuando se detiene el proceso de fisión.

0.1.5 EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN

La exposición es el proceso y el resultado de someter organismos vivos, personas o materiales a la radiación ionizante (irradiación). Si se refiere a seres humanos, hay tres tipos de exposición:

- **Exposición externa:** cuando las fuentes de radiación están situadas fuera del cuerpo
- **Exposición por la contaminación de la piel:** cuando la radiación procede del material radiactivo depositado en la piel
- **Exposición interna:** cuando la radiación procede de sustancias radiactivas dentro del cuerpo (radiación interna) que fueron absorbidas por inhalación, ingestión o a través de heridas de la piel

En el caso de la exposición externa, la capacidad para producir daños biológicos aumenta con el poder de penetración de la radiación en la materia viva. Los tipos más peligrosos son γ y la radiación neutrónica, seguida por la radiación β . La radiación α no es peligrosa, puesto que es detenida en el aire o por la primera capa de células muertas de la piel.

La contaminación de la piel produce la irradiación directa de ella. En este caso, el mayor daño lo produce la radiación β , seguida en importancia por la radiación γ .

Hay tres formas en que un organismo vivo absorbe el material radiactivo y sufre, como consecuencia, una irradiación interna:

- a) Inhalación de partículas junto con el aire respirado
- b) Ingestión de alimentos contaminados
- c) Difusión del material a través de la piel o a través de una herida contaminada

La radiación alfa es la más dañina en caso de contaminación interna, ya que emite toda su energía en un área muy pequeña. Es seguida en importancia por la radiación beta.

0.1.6 EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN

Cuando la radiación interacciona con la materia, pierde su energía en sucesivas colisiones, produciendo la ionización de átomos y moléculas en su trayectoria. Como consecuencia, se producen en el medio irradiado una serie de alteraciones, lesiones o **daños** físicos, químicos y biológicos. La severidad de los efectos depende de diferentes factores, tales como:

- Cantidad de radiación recibida
- Intensidad de la radiación y manera en la que se recibe
- Naturaleza y energía de la radiación
- Naturaleza del medio

La irradiación de un organismo vivo disminuye los mecanismos de defensa con los cuales el organismo intenta reparar el daño producido. Las alteraciones finales serán más o menos importantes dependiendo del nivel del éxito alcanzado por tales mecanismos. En este caso, la gravedad del efecto biológico y el tipo de efecto producido también dependerá de la especie de organismo, del órgano afectado y del período durante el que ha sido irradiado de manera continua o discontinua.

Los efectos biológicos se pueden clasificar de forma diferente, según los criterios considerados (a, b o c):

a. Según el **lugar** afectado, se clasifican en:

- Efectos **somáticos**, cuando afectan solamente a las células somáticas de la persona u organismo vivo que ha recibido la dosis de radiación.
- Efectos **genéticos**, cuando afectan a las células germinales del organismo, y por lo tanto a las generaciones siguientes no expuestas.

b. Según el **tiempo** de exposición, en:

- Efectos **inmediatos**, tras una irradiación intensa y relativamente breve
- efectos **tardíos**, que ocurren entre 5 y 30 años después de la irradiación

c. Dependiendo de la **probabilidad** de que se produzcan, en:

- Efectos **estocásticos** (o probabilísticos), cuya probabilidad aumenta con la cantidad de radiación (dosis) recibida. La severidad de los efectos no depende de la cantidad de radiación recibida. En el caso de efectos estocásticos, se acepta, aunque sin certeza absoluta, que se producirá algún efecto sin importar lo pequeña que haya sido la dosis recibida; una vez que ocurra este efecto, es siempre grave. Un ejemplo de este tipo de efecto es la proliferación de cánceres o de efectos genéticos
- Efectos **deterministas** (o ciertos), que ocurren cuando se ha excedido una determinada dosis. La gravedad aumenta con la dosis recibida. En lo que concierne a efectos deterministas (no probabilísticos), se admite generalmente que hay un umbral de nivel de dosis por debajo del cual el efecto no ocurre. La gravedad del efecto producido dependerá de la dosis de radiación recibida. Tales efectos son generalmente inmediatos, y van desde daños en la piel o cataratas en los ojos, a la leucemia y muerte del individuo afectado a corto plazo.

La posibilidad de daño debido a la radiación se llama **Riesgo de Radiación**. Esta posibilidad (riesgo) aparece cuando la dosis recibida excede un cierto valor umbral (en el caso de efectos deterministas) o aumenta con la cantidad de radiación recibida (en el caso de efectos estocásticos).

Para cuantificar daños y prevenir su ocurrencia (por ejemplo para limitar el riesgo), es necesario establecer la relación entre daño biológico y tipo de radiación que lo produce, y así limitar la dosis de radiación.

0.1.7 DOSIS DE RADIACIÓN

La cantidad de radiación recibida se puede evaluar en términos de efectos ionizantes y de energía transmitida al medio irradiado.

Los efectos físicos, químicos y biológicos de la radiación están relacionados con la ionización producida en el medio irradiado, pero también y quizás aún más

importante, con la energía intercambiada durante el proceso (energía entregada a la materia), referida a la unidad de masa.

Dosis absorbida

La energía transmitida por cierto tipo de la radiación ionizante R por unidad de masa de material irradiado se conoce como "dosis absorbida", y se representa con el D_R . La unidad de dosis absorbida corresponde a 1 J/kg, se llama Gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/ Kg}$$

La unidad que se utilizaba antiguamente era el rad.

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gray}$$

Cuando el medio irradiado es un órgano o un tejido biológico T (de una persona, por ejemplo), es interesante obtener el valor de dosis absorbida media, representada por D_{TR} .

Los efectos, para un mismo valor de dosis absorbida, son diferentes cuando la dosis se ha recibido en un período del tiempo más o menos largo, de los efectos producidos cuando la dosis se ha recibido de forma instantánea. Para hacer posible la comparación, es necesario referirse a la misma cantidad de tiempo, que da lugar al concepto de la "tasa de dosis absorbida", definida como la dosis absorbida por unidad del tiempo. Se representa por el símbolo D_R^* y expresado en Gy/h o Gy/s.

Los daños biológicos en un organismo vivo irradiado, como por ejemplo el cuerpo humano, no son directamente proporcionales a la dosis absorbida (relacionada con la energía transferida), sino que dependen también, y especialmente en el caso de los efectos estocásticos, del número de iones producidos por la partícula en la unidad de longitud recorrida en el medio (asociado con la transferencia de energía lineal); esto se conoce como densidad de ionización lineal o ionización específica, que es característica a cada tipo de partícula. De este modo, el daño biológico producido por un único tipo concreto de partícula dependerá de la dosis absorbida pero, en el caso de partículas diferentes y para el mismo valor de dosis absorbida, el daño biológico dependerá de la ionización específica. Por ejemplo, la radiación α causa daños biológicos más graves que la radiación γ , puesto que su ionización específica es mayor.

Para tener en cuenta este efecto sobre un organismo vivo, la calidad o eficacia biológica relativa de las radiaciones se valora asignando un factor de ponderación. Los factores de ponderación de la radiación se designan por W_R y son los siguientes

Tipo de radiación	Factores de ponderación (W_R)
β y γ	1
Neutrones	5, 10, 20
Protones	5
α y nucleidos pesados	20

Estos **factores de ponderación** hacen posible la armonización de los diferentes tipos de radiación con respecto a la dosis absorbida, y permiten la comparación de la peligrosidad de los diversos tipos de radiación para una misma dosis absorbida.

Dosis equivalente (en un órgano o un tejido)

La dosis media absorbida en un órgano o un tejido humano T, multiplicada por el factor de ponderación del tipo de radiación considerado, se llama la "dosis equivalente" en el órgano o el tejido (representado por H_{TR}). Es la dosis absorbida corregida por los factores de ponderación para tener en cuenta las consecuencias biológicas de la exposición a la radiación; por lo tanto:

$$H_{TR} = D_{TR} * W_R$$

En caso en que la dosis sea causada por diversos tipos de radiación:

$$H_T = \sum H_{TR} = \sum H_{TR} * W_R$$

La dosis equivalente se mide en Sievert (Sv).

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ j/Kg}$$

La unidad que se utilizaba anteriormente era el rem.

$$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$$

La "tasa de dosis equivalente" es la dosis equivalente por unidad del tiempo, se representa por H^*_{TR} ó H^*_T y se mide en Sv/h o Sv/s.

Dosis efectiva

En el caso de organismos vivos, tales como el ser humano, no todos los individuos (ni sus órganos y tejidos) son igualmente sensibles a la radiación, de modo que los daños biológicos, especialmente los efectos estocásticos, variarán dependiendo del órgano o del tejido irradiado, aún cuando todos ellos reciban la misma dosis (absorbida) y el mismo tipo de radiación.

Para tener en cuenta este efecto, es necesario asignar un factor de peso (W_T) a cada tejido T, para corregir la dosis equivalente en cada tipo de tejido u órgano. Esto permite la homogeneización de los diversos tipos de tejido con respecto a la dosis equivalente, y posibilita su comparación y combinación para correlacionarlas con los efectos estocásticos totales. Estos factores de ponderación son los siguientes:

Tejido u Órgano	Factores de ponderación (W_T)
Gónadas	0.20
Colon, pulmones, estómago y médula ósea	0.12 ^(*)

Tejido u Órgano	Factores de ponderación (W_T)
Vejiga, mama, hígado, esófago y tiroides	0.05 ^(*)
Piel y huesos	0.01 ^(*)
Otros	0.05 ^(*)

(*) Factor de ponderación para cada uno de los órganos o tejidos considerados

Si H_T es la dosis equivalente al tejido u órgano T, multiplicado por W_T que es su factor de ponderación, entonces la "dosis efectiva", representada por E , es la suma ponderada de las dosis equivalentes a todos los tejidos y órganos del cuerpo. Se calcula con la expresión siguiente:

$$E = \sum W_T * H_T$$

o por la siguiente expresión, cuando se consideran los diferentes tipos de radiación:

$$E = \sum W_T * \sum W_R * D_{TR}$$

donde D_{TR} es la dosis absorbida R por el tejido T.

La dosis efectiva se mide o expresa en las mismas unidades que la dosis equivalente, es decir, en Sv (antiguamente en rem). El término "la tasa de dosis efectiva" es la dosis efectiva por unidad de tiempo. Se representa por \dot{E} y se expresa en Sv/h o Sv/s.

Dosis comprometida

La absorción de energía por los tejidos mientras están expuestos a la radiación externa dura tanto como la exposición misma. Sin embargo, cuando el tejido es irradiado por radionucleidos presentes dentro del cuerpo, la exposición de los tejidos a la radiación y sus efectos duran tanto como la presencia de la fuente, es decir, hasta que desaparece por desintegración radiactiva y/o por eliminación biológica en orina y heces. Como resultado de cada incorporación, se establece una dosis comprometida que dura lo correspondiente a la de la incorporación que lo produce. De acuerdo con esto se definen los conceptos siguientes:

- i. La "Dosis equivalente comprometida" a un órgano o tejido para un período de tiempo t , es la dosis equivalente a un órgano o tejido que es recibida durante un período t que sigue a la incorporación de material radioactivo hasta la desaparición de la fuente. Se representa por el símbolo. Cuando el período τ es desconocido, se consideran 50 años para adultos y 70 años para niños. Se expresa en Sv x unidad de tiempo, generalmente Sv x año.
- ii. La "Dosis efectiva comprometida" es la suma de todas las dosis equivalentes comprometidas para los diferentes tejidos y órganos, resultado de cada incorporación de radionucleidos, compensados con los factores de ponderación de los tejidos. Se obtiene con la expresión:

$$E(\tau) = \sum W_t * H_t(\tau)$$

Se expresa en las mismas unidades que la dosis equivalente comprometida: Sv x año.

Dosis Colectiva

Este parámetro se refiere a la dosis de radiación recibida por un grupo de personas.

"**Dosis efectiva colectiva**" (S), es la suma de las dosis efectivas individuales (E_i) de los miembros del grupo.

$$S = \sum E_i$$

Se expresa también como el producto de la dosis efectiva individual media (\bar{E}), en el grupo, por el número N de individuos en ese grupo, es decir,

$$S = \bar{E} * N$$

Se expresa en Sv.persona.

0.1.8 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

La Protección Radiológica es la disciplina responsable de proteger a las personas de los efectos perjudiciales producidos por las radiaciones ionizantes. A nivel internacional, esto es llevado a cabo por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) mediante las recomendaciones que publica periódicamente y que generalmente son incluidas en el marco legal de todos los países con programas nucleares activos.

En cuanto a recomendaciones generales, la última publicación del ICRP es ICRP-60. La misión, y propósito principal de la comisión es prevenir la ocurrencia de efectos deterministas manteniendo los valores de dosis por debajo de **umbrales** relevantes y asegurándose de que estén adoptadas todas las medidas razonables para reducir la aparición de efectos estocásticos. Para alcanzar esta meta, la Comisión recomienda el establecimiento y la puesta en práctica de un sistema de protección radiológica para la continua aplicación de las prácticas propuestas, basado en tres principios fundamentales:

1. **Justificación** de una práctica que implique la exposición a la radiación
2. **Optimización** de la protección, para asegurar que en todas las prácticas con fuentes radiactivas, la dosis individual, el número de personas expuestas y la posibilidad de exposición, cuando tal exposición no sea requerida, se mantengan tan bajas como razonablemente sea posible, considerando factores sociales y económicos. Este principio va encaminado a la reducción razonable de los efectos estocásticos.
3. Conformidad con los riesgos y **límites** de dosis establecidos, con objeto de asegurarse de que no se somete a ningún individuo a lo que pueda considerarse como riesgo radiológico indebido. Este principio va encaminado a prevenir los efectos deterministas.

El sistema de protección radiológica contra la radiación recomendado en ICRP-60 (ha sido adoptado por EURATOM en su Directiva EUR/96/29 (y por lo tanto por los países de la Unión Europea, entre ellos España.

0.1.9 LÍMITES DE DOSIS

El propósito de los límites de dosis contenidos en la Directiva Europea, y en España, concretamente en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, es:

- **Prevenir** los efectos biológicos no-estocásticos (**deterministas**).
- **Limitar** a valores aceptables la probabilidad de producir efectos biológicos **estocásticos** sobre el personal profesionalmente expuesto a las radiaciones ionizantes y miembros del público.

Los límites de dosis se aplican a la suma de las dosis recibidas debidas a la exposición externa durante el período considerado y a la dosis interna resultado de la incorporación de radionucleidos durante el mismo período. La legislación fija límites de la dosis para:

- trabajadores expuestos
- miembros del público

Los límites de dosis para el personal profesionalmente expuesto, durante 12 meses seguidos, son los siguientes:

Dosis (efectiva) al cuerpo entero (*)	50 mSv
Dosis (equivalente) al cristalino del ojo	150 mSv
Dosis (equivalente) a las extremidades	500 mSv
Dosis (equivalente) a la piel	500 mSv

(*) debido a la exposición homogénea total o parcial no homogénea (ponderada según el órgano afectado). Durante un período de 5 años consecutivos el límite de dosis efectiva será de 100 mSv.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) recomienda clasificar las condiciones de trabajo en dos categorías, A y B, y en función de ellas al personal trabajador. Siguiendo estas recomendaciones se ha legislado, mediante el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, la necesidad de que en España, por razones de vigilancia y control, se clasifique a los trabajadores expuestos en dichas categorías, estableciendo para ellas, las siguientes definiciones:

- **Categoría A:** Pertenecen a esta categoría aquellas personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.
- **Categoría B:** Pertenecen a esta categoría aquellas personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban una

dosis efectiva superior a 6 mSv por año o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

Las dosis recibidas como consecuencia de exposiciones especialmente autorizadas estarán comprendidas dentro de los niveles máximos de dosis por exposición que defina para cada caso en concreto el Consejo de Seguridad Nuclear. Sólo serán admitidos en exposiciones especialmente autorizadas los trabajadores expuestos pertenecientes a la categoría A.

No se autorizará la participación a:

- Mujeres embarazadas o en período de lactancia.
- Personas en formación o estudiantes.

Para mujeres gestantes, las condiciones de trabajo deberán ser tales que sea improbable que la dosis equivalente al feto exceda de **1 mSv**.

El Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes establece que durante el período de lactancia, no se asignarán trabajos que supongan un riesgo significativo de contaminación radiactiva y deberá asegurarse una vigilancia adecuada de la posible contaminación.

Ninguna persona menor de 18 años será asignada a un puesto de trabajo que implique su calificación como trabajador expuesto.

Los límites de dosis para las personas en formación y estudiantes serán:

- Mayores de 18 años que durante sus estudios tengan que utilizar fuentes radiactivas: los mismos que los establecidos para trabajadores expuestos.
- Entre 16 y 18 años, que durante sus estudios tengan que utilizar fuentes radiactivas: **6 mSv** por año.

Los límites de dosis para caso de exposición parcial del organismo, sin perjuicio del límite de dosis efectiva anterior son:

- **50 mSv** para cristalino
- **150 mSv** para piel y extremidades

Para miembros del público el límite de dosis efectiva se establece en **1 mSv** por año y los límites equivalentes en 15 mSv en cristalino y 50 mSv en extremidades y en piel.

0.1.10 REGLAS BÁSICAS PARA LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Protección contra la radiación externa

El riesgo de irradiación externa (o exposición) es generalmente el más importante y más frecuente. La dosis que un individuo recibe de fuentes radiactivas externas puede ser modificada con tres factores:

1. La distancia entre la fuente radiactiva y el individuo. Cuanto mayor es la distancia, menor es la dosis. En concreto, en caso de fuentes de pequeño

tamaño, la dosis recibida disminuye con el cuadrado de la distancia. Así, si la distancia a la fuente se multiplica por dos, el nivel de la radiación se reduce a la cuarta parte; si la distancia se triplica, el nivel de la radiación disminuye a la novena parte, etc.

$$1 / d^2$$

2. El tiempo de irradiación, la dosis recibida por radiación externa es proporcional al tiempo de exposición a la fuente. Si el tiempo de la exposición se dobla, la dosis recibida aumenta también en ese mismo factor.
3. La colocación de blindajes entre la fuente radiactiva y el individuo, es decir de un material lo suficientemente grueso como para que atenúe la intensidad de la radiación. Los blindajes son especialmente útiles cuando las fuentes radiactivas son muy intensas y el tiempo de exposición es prolongado.

Para disminuir la exposición de los individuos a la radiactividad pueden realizarse las siguientes acciones:

- Planificar los trabajos, de modo que cada uno sepa cuál es su misión.
- Evitar las pausas e interferencias innecesarias durante el trabajo, en el lugar de la exposición.
- Controlar los tiempos de exposición cuando los niveles de radiación sean altos.
- Entrenar al personal, intentando reproducir las condiciones de trabajo reales.
- prestar atención a la señalización radiológica (zonas de radiación alta, puntos calientes, lugares de espera o niveles bajos de radiación) y respetar las señales.
- utilizar las herramientas apropiadas y los métodos del trabajo correctos
- utilizar blindajes adecuados
- utilizar dosímetros de lectura directa y respetar cualquier señal de alarma de los mismos.

Protección contra la contaminación

La contaminación radiactiva es la presencia no deseada de sustancias radiactivas en una superficie (contaminación superficial), en el aire (contaminación atmosférica) o en líquidos. Estas sustancias radiactivas provienen normalmente de líquidos contaminados que han sido vertidos desde sus lugares de ubicación durante las reparaciones de equipos, por escapes, etc. Estas sustancias pueden entrar en contacto con personas y depositarse en su piel (contaminación cutánea) o entrar en su cuerpo (contaminación interna).

Si una parte del cuerpo se contamina superficialmente (contaminación cutánea), la radiación emitida por la sustancia radiactiva producirá una dosis en la piel y otra dosis profunda, y la exposición persistirá mientras la sustancia radiactiva esté presente.

Uno de los riesgos asociados con la contaminación cutánea es que la sustancia radiactiva pueda pasar al interior del cuerpo a través de la boca o de heridas abiertas, produciéndose así una contaminación interna.

La contaminación superficial puede también transferirse al aire, desde donde puede ser inhalada e incorporarse al cuerpo, contaminando así internamente a la persona.

Las principales vías por las que puede producirse contaminación interna son la inhalación de aire contaminado, la ingestión de alimentos contaminados, la incorporación de sustancias radiactivas a través de cortes en la piel, oídos, ojos, etc.

En el caso de contaminación interna, la exposición a la radiación no cesará hasta que la sustancia radiactiva se haya eliminado del cuerpo. Hay dos métodos de eliminación: eliminación biológica (vía orina y heces) y eliminación por desintegración radiactiva (decaimiento).

Las siguientes medidas preventivas pueden aplicarse para controlar los riesgos de contaminación:

- Preparación apropiada del área de trabajo (descontaminación de materiales, su plastificación, etc).
- Selección correcta de los materiales (deberían ser fácilmente descontaminables), que deberían estar protegidos con cintas o plásticos para evitar su contaminación.
- Mantener en el área de trabajo solamente las herramientas que van a ser utilizadas.
- Introducir en bolsas de plástico todas las herramientas que hayan podido contaminarse para evitar cualquier contaminación de áreas limpias por desprendimiento del material radiactivo durante el transporte.
- Utilizar ropa de protección y equipos de respiración correctamente.
- Tener cuidado al quitarse la ropa y los medios de protección para evitar la contaminación superficial de la piel o interna del cuerpo.
- Los trabajadores no deberán fumar, beber, etc, ni tocarse la cara, boca, ojos, oídos, etc, con las manos. Éstas podrían estar contaminadas y, de ser así, podrían producir contaminación superficial o interna.
- Utilizar los detectores de contaminación superficial existentes para supervisar la contaminación superficial.(detectores para el control de pies y manos y detectores de pórtico)

0.1.11 GLOSARIO

Actividad

Magnitud física que mide el número de desintegraciones espontáneas ocurridas en una sustancia por unidad de tiempo. La unidad es el Becquerelio (Bq), y equivale a una desintegración por segundo.

Átomo

Es la parte más pequeña de la materia, y que consiste en un núcleo, compuesto de protones y neutrones, rodeado por electrones orbitando a su alrededor. Es la parte más pequeña de un elemento que entra en una reacción química.

Becquerelio

Unidad de radiactividad del Sistema Internacional (S.I.), igual a 1 desintegración nuclear por segundo. En Europa sustituye al Curio (Ci), que equivale a 3.7×10^{10} Bq.

Blindaje

Material que se interpone entre una fuente de radiación y las personas para atenuar el número de partículas y radiaciones incidentes, y prevenir que dichas radiaciones produzcan daño a las personas.

Contaminación radiactiva

Presencia indeseable de sustancias radiactivas en seres vivos, objetos o en el medio ambiente. Se habla de descontaminación superficial (si afecta a la superficie de los objetos), contaminación externa (piel de las personas) o contaminación interna (órganos internos de personas).

Decaimiento radiactivo

Disminución gradual de la actividad de una fuente debida a las transformaciones de los radionucleidos en sus productos derivados.

Descontaminación

Eliminación de la contaminación radiactiva.

Dosis

Cantidad de energía absorbida por un tejido. Ver distintos tipos de dosis.

Dosis absorbida

Energía absorbida por unidad de masa de tejido. La unidad de dosis absorbida en el Sistema Internacional es el gray (Gy), que equivale a 1 J/Kg.

Dosis efectiva

Se define esta magnitud como la suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo a causa de irradiaciones internas y externas. Se estima mediante la fórmula. La unidad para la dosis efectiva es el Sievert (Sv).

Dosis colectiva

Dosis colectiva es la dosis efectiva a que ha resultado sometido un cierto grupo de personas. Se mide en sievert por persona (Sv.p.).

Dosis comprometida

Es la dosis efectiva que recibirá una persona durante los próximos 50 años (70 años en el caso de los niños) a consecuencia de la cantidad de material radiactivo que ha incorporado a su organismo. Se mide en sievert (Sv).

Dosis equivalente

Es la dosis absorbida ponderada (corregida en proporción α) por la diferente eficacia biológica de las distintas clases de radiación sobre el medio vivo considerado. Los factores de corrección se denominan "Factores de ponderación de la radiación" (antes factores de calidad de la radiación). Se mide en sievert (Sv): 1 Sv = 1 J/Kg. La unidad antigua era el rem: 1 Sv = 100 rem.

Efecto determinista

Efectos no probabilísticos que aumenta su gravedad con la dosis recibida por el organismo, y para los que la probabilidad es alta una vez que se sobrepasa un umbral.

Efectos estocásticos.

Son efectos probabilísticos sobre la salud, en los cuales, la probabilidad de que ocurran está relacionada con la dosis de radiación, mientras que la gravedad es independiente de dicha dosis. No puede asumirse ninguna dosis por debajo de la cual no pueda producirse algún efecto.

Emergencia radiológica

Situación de emergencia a raíz de un accidente en el que estén implicadas radiaciones ionizantes.

Exposición

1. Magnitud física que caracteriza la ionización que produce en el aire una radiación. Su unidad es el Roentgen(R): $1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg$.
2. Efecto de someter o someterse a las radiaciones ionizantes.

Fotón

Un cuanto de radiación electromagnética, que posee energía $h\nu$ (h es la constante de Planck y ν la frecuencia).

Fuente de radiación

Aparato o sustancia capaz de emitir radiaciones ionizantes.

ICRP

Comisión Internacional para la Protección Radiológica.

Isótopos

Cada uno de los distintos nucleidos que tienen el mismo número atómico (número de protones) y, por tanto, pertenecen al mismo elemento químico, pero que difieren entre sí en el número de neutrones.

Ión

Una partícula eléctricamente cargada formada cuando un átomo neutro o un grupo de átomos ganan o pierden uno o más electrones.

Límite de dosis

Límites fijados por las autoridades legales para la dosis por las radiaciones ionizantes a los trabajadores, estudiantes y miembros del público, excluyendo las dosis debidas a la radiación por el fondo natural y a la exposición médica. Los límites de dosis se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa durante un periodo determinado y la dosis interna integrada resultante de la incorporación de radionucleidos, durante el mismo período.

Neutrón

Partícula elemental sin carga eléctrica que forma parte del núcleo de los átomos; su masa es de 1,00136 veces la del protón.

Nucleido

Especie atómica (conjunto de átomos iguales), caracterizado por el número de protones y de neutrones que posee.

Núcleo

Parte central de un átomo con carga positiva, a la cual se le asocia la masa del núcleo, pero solamente una parte mínima de su volumen.

Partícula Alfa

Núcleo de Helio-4 emitido en el transcurso de una desintegración nuclear. Por extensión, toda agrupación de dos protones y dos neutrones. Se representa por el símbolo α .

Partícula beta

Electrón, positivo o negativo, emitido en la desintegración de un núcleo atómico. Se representa por el símbolo β .

Período de semidesintegración

Intervalo de tiempo necesario para que el número de átomos de un nucleido radiactivo se reduzca a la mitad por desintegración espontánea.

Protón

Partícula elemental cuya carga eléctrica es positiva e igual a la del electrón y cuya masa es $1,67 \text{ E-}27 \text{ g}$. Se encuentra en el núcleo de los átomos.

Positrón

Electrón cargado positivamente.

Radiación

Partículas u ondas procedentes de átomos o procesos nucleares.

Radiación gamma

Radiación electromagnética de onda corta emitida por el núcleo de un átomo en una reacción nuclear. La radiación gamma es muy penetrante, y requiere de varios centímetros de acero inoxidable o de plomo o de hormigón para una protección eficaz.

Radiación ionizante

Nombre genérico empleado para designar las radiaciones de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia producen iones, ya sea directa o indirectamente.

Radiación nuclear

Radiación emitida por los núcleos atómicos, por ejemplo, durante su desintegración radiactiva o fisión.

Radiactividad

Propiedad que tienen algunos elementos químicos de emitir partículas u ondas electromagnéticas. Esta propiedad se debe a la existencia de una descompensación entre el número de neutrones y de protones del núcleo del átomo, que provoca una inestabilidad y una liberación de la energía acumulada en forma de partículas u

ondas. La radiactividad natural se debe a elementos que emiten radiaciones espontáneamente, como es el caso del uranio, el torio, el radón, etc.

Radionucleido

Nucleido radiactivo.

Radioisótopo

Isótopo radiactivo.

Rayos x

Radiación electromagnética producida en las transiciones de electrones de los niveles más profundos. Su longitud de onda es menor que la de los rayos ultravioleta y mayor que la de los rayos gamma.

Restricción de Dosis

Es una limitación de dosis a los individuos debida a fuentes de radiación definidas. Este concepto se utiliza para optimización de la protección.

Sievert (Sv)

Unidad de la dosis equivalente y de la dosis efectiva en el Sistema Internacional de Unidades: 1 Sv = 1 J/kg. La unidad antigua es el Rem. 1Sv = 100 Rem.

Supervisión

Medidas periódicas o continuas de la cantidad de radiación presente en un área determinada.

Tasa de dosis

Índice de la exposición a la radiación ionizante en términos de dosis absorbida o de dosis equivalente, y expresado en unidades de Gy/h o de Sv/h, respectivamente.

Valor medio de espesor

El espesor de un material necesario para reducir la transmisión de la radiación gamma a la mitad de su valor inicial.

0.1.12 BIBLIOGRAFÍA

1. Project PH REG 06.4/97: Training on Off-Site Emergency Management in Central Eastern Europe Course Training Material.
2. Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE núm. 178, de 26 de julio.
3. Directiva 96/29/Euratom del Consejo de 13 de mayo de 1996 por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.
4. Recomendaciones de 1990 del Comité Internacional de Protección Radiológica (ICRP-60).