

---

# EMERGENCIAS EN PRESENCIA DE SUSTANCIAS RADIATIVAS. CLASES, PELIGROSIDAD Y MEDICIÓN. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE INTERVENCIÓN. RIESGO NUCLEAR.

José Peiró Juan

## 1. RADIACIONES IONIZANTES. DEFINICIÓN Y TIPOS

La radiación es un fenómeno, inicialmente natural, según el cual determinados cuerpos emiten energía mediante ondas electromagnéticas o mediante partículas.

Existen, básicamente, dos grandes tipos de radiaciones: las ionizantes, denominadas así porque al incidir sobre la materia viva o inerte son capaces de producir iones, es decir, átomos con carga eléctrica, y las no ionizantes, que no producen ese efecto, como es el caso de las radiofrecuencias, las microondas o las radiaciones ópticas.

Este tema se refiere a las radiaciones ionizantes, que siempre producen un cambio en las sustancias sobre las que inciden.

Son **radiaciones ionizantes** aquellas que al interactuar con la materia producen iones, ya sea de forma directa o indirecta. Las radiaciones ionizantes pueden estar formadas por fotones como la luz (radiación gamma o rayos X) o por partículas (electrones, partículas alfa, neutrones...)

### 1.1. NATURALEZA DE LOS FENOMENOS RADIATIVOS

Cualquier elemento de materia del mundo que nos rodea se encuentra constituido por componentes básicos denominados átomos, agrupados en ocasiones en grupos denominados moléculas. El átomo a su vez posee una estructura:

Consta de un núcleo central cargado positivamente, de pequeño tamaño con un diámetro aproximado de  $10^{-14}$  m, compuesto por protones y neutrones, y en el que se concentra prácticamente toda la masa del núcleo.

El protón es una partícula cargada positivamente, coincidiendo el valor absoluto de dicha carga con la del electrón. El neutrón es una partícula de masa aproximadamente igual a la del protón y sin carga eléctrica.

En la zona exterior al núcleo se encuentran los electrones, partículas fundamentales de carga negativa, orbitando en torno al núcleo, en una zona que se extiende en un diámetro aproximado de  $10^{-10}$  m. Las órbitas ocupadas por los electrones se encuentran a mayor distancia del núcleo a medida que se incrementa la energía de los electrones que las ocupan, caracterizándose cada órbita por su energía. En el estado fundamental de un átomo los electrones se encuentran llenando las capas de menor energía. En el caso en que un estímulo externo, mediante un aporte de energía desplace los electrones a mayores niveles de energía, se dice que el átomo se encuentra excitado.

Los átomos en su estado elemental son eléctricamente neutros, dado que el número de protones del núcleo coincide en número con el número de electrones de la corteza, número identificado por "Z", y conocido como **número atómico**. Cada elemento químico se caracteriza por su número atómico.

La estabilidad nuclear se debe a que la acción repulsiva electrostática entre protones, se compensa mediante las fuerzas nucleares de gran intensidad, debida a los protones y neutrones, el cual varía en función del nucleido considerado. En general en la zona de

---

nucleidos ligeros, dicha estabilidad se observa en aquellos nucleidos en los que el número de protones es igual al número de neutrones. A medida que el número atómico se incrementa, es necesario un mayor número de neutrones para compensar la fuerza de repulsión electrostática de los protones y conseguir la estabilidad nuclear. De lo expuesto se deduce que la estabilidad nuclear se encuentra ligada a su estructura, de manera que en aquellos nucleidos en los que la relación entre protones y neutrones varíe respecto de las condiciones exigidas para la estabilidad, los núcleos espontáneamente tienden a alterar su composición emitiendo partículas y radiación, hasta alcanzar una configuración más estable. Este es el origen de la **radiactividad**.

El comportamiento radiactivo de un nucleido se define por una magnitud denominada **Período de Semidesintegración**, definida como el intervalo de tiempo necesario para que el número inicial de átomos se reduzca a la mitad, o lo que es lo mismo, para que la intensidad de la radiación emitida se reduzca a la mitad.

El resultado de un proceso de desintegración es un núcleo distinto del núcleo inicial, que en el caso de ser estable se da por finalizado el proceso de desintegración. En la mayoría de los casos el núcleo hijo es un núcleo asimismo inestable, iniciándose un nuevo proceso de desintegración. Cuando este proceso se repite sucesivamente, se da lugar a una serie radiactiva, finalizando cuando uno de los productos de desintegración es un núcleo estable

## **1.2. TIPOS DE DESINTEGRACION RADIATIVA**

Básicamente la desintegración de los radionucleidos, se puede clasificar en dos grupos:

### **Radiaciones corpusculares :**

**Radiación alfa ( $\alpha$ ):** Se refiere a la capacidad de emisión por parte de determinados núcleos, de átomos de Helio doblemente ionizado, es decir la unión de dos protones y dos neutrones, tratándose por tanto de partículas cargadas con dos cargas positivas. La desintegración alfa es un proceso típico de núcleos pesados, dándose de manera espontánea únicamente en aquellos núcleos en los que el número másico (número de protones y neutrones en el núcleo) es superior a 140.

Al tratarse de partículas cargadas, las partículas alfa pierden su energía fundamentalmente mediante la ionización del medio con el que interacciona. El proceso de ionización tiene lugar cuando en los choques de la partícula con los electrones atómicos constituyentes del medio con el que interacciona, se transfiere una energía superior a la energía de enlace de dicho electrón, por lo que éste abandona el átomo quedando cargado con una carga positiva.

Las partículas alfa producen una ionización específica muy elevada, es decir, pierden la totalidad de su energía en un recorrido muy breve, resultando por tanto un poder de penetración muy escaso. Como ejemplo se hace constar que para el intervalo de energías correspondientes a las radionucleidos más comunes las cuales se encuentran en el intervalo de energía de 4 a 6 MeV, el alcance de estas partículas en aire es de unos 5 cm., y en el caso de tejido biológico su alcance es del orden de 60  $\mu\text{m}$ . Debido a su bajo poder de penetración las partículas alfa se detienen con una simple hoja de papel, lo cual explica la circunstancia de que estas partículas no presentan riesgos importantes en irradiación externa. Sin embargo en el caso de contaminación interna, es decir cuando el material radiactivo alcanza el interior del organismo, los emisores alfa presentan las situaciones de riesgo más elevado debido a su elevada ionización específica.

---

**Radiación Beta ( $\beta$ ):** Este proceso consiste en la emisión espontánea de electrones ó positrones procedentes del núcleo atómico, en cuyo caso se conoce como desintegración beta negativa o positiva, respectivamente. En ambos casos estamos hablando de la emisión de una partícula cargada con la unidad de carga negativa, en el caso del electrón, y positiva cuando se trata de un positrón. Los núcleos característicos emisores beta negativos son aquellos con un exceso de neutrones en el caso de la emisión beta negativo, y con exceso de protones en el caso de emisores beta positivos.

En el caso especial de los positrones, la interacción con la materia sigue las mismas pautas que los electrones, con la consideración especial del fenómeno de aniquilación con un electrón del medio, produciendo una radiación por aniquilación correspondiente a dos fotones de energía de 0.511 MeV cada uno de ellos.

### **Radiaciones electromagnéticas:**

Al hablar de radiaciones ionizantes, nos estamos refiriendo a una radiación electromagnética considerada como un campo eléctrico oscilante asociado a un campo magnético, que se propaga en el espacio. Considerando el comportamiento ondulatorio de la radiación electromagnética, introducimos tres magnitudes relacionadas entre sí, que nos permiten caracterizar el comportamiento de una onda: la frecuencia, la longitud de onda y la energía relacionadas entre sí, mediante las siguientes expresiones:  $\nu = c/\lambda$ , siendo  $c$ : velocidad de la luz en el vacío ( $3 \cdot 10^8$  m/s) y  $E = h \nu$ , siendo  $h$  la constante de Planck ( $6,67 \cdot 10^{-27}$  erg·seg)

El conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas conocidas constituyen un espectro continuo de un amplitud que se extiende desde longitudes de onda de  $10^{-14}$  a  $10^4$  metros.

Al hablar de radiaciones ionizantes nos referimos a la transferencia de energía en forma de partículas u ondas electromagnéticas de una longitud de onda igual ó inferior a 100 nm, o lo que es equivalente, de frecuencia igual o superior a  $3 \times 10^{15}$  Hz, capaces de producir iones directa o indirectamente.

La principal característica de este tipo de radiaciones es su capacidad de ionizar los átomos constituyentes del medio que atraviesa, dado que se trata de radiación suficientemente energética como para transferir a los electrones de las capas externas de los átomos del medio sobre el que incide, una energía superior a su energía de ligadura al átomo, por lo que el electrón abandona el átomo, resultando la creación de un par ión positivo-electrón.

Dentro del espectro de radiaciones electromagnéticas encontramos dos tipos de radiación:

- **Rayos X:** Los rayos X constituyen la radiación electromagnética correspondiente a la región del espectro de energía superior a la radiación ultravioleta. Los rayos X son producidos fundamentalmente por generadores, cuyo principio básico de producción es haciendo incidir un haz de electrones previamente acelerados con una diferencia de potencial, sobre los átomos de un metal pesado.
- **Rayos gamma ( $\gamma$ ):** Los rayos gamma constituyen la radiación electromagnética correspondiente a la región del espectro de energía superior a la banda en la que se encuentran los rayos X. Son la radiación electromagnética producida por transiciones entre niveles nucleares. A semejanza de lo expuesto con los niveles de los electrones orbitales del átomo, los núcleos atómicos también pueden

---

encontrarse en niveles excitados de energía es decir, con niveles de energía superiores al nivel fundamental. La presencia de niveles nucleares excitados suele presentarse tras sufrir un núcleo una desintegración alfa o beta, dicho exceso de energía se emite en forma de radiación gamma.

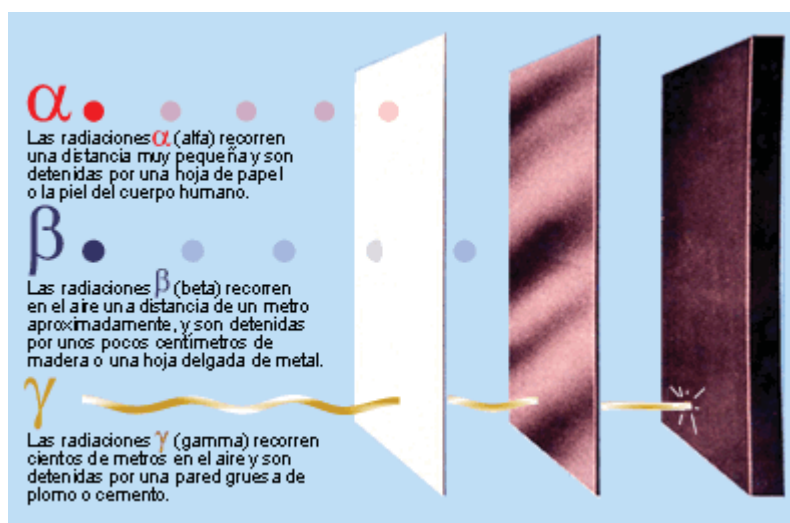
La elección de los materiales de blindaje y su espesor para conseguir la atenuación de las radiaciones hasta niveles aceptables, depende del tipo de radiación, de su energía, y de la intensidad y dimensiones de la fuente.

El material absorbente debe instalarse lo más cerca posible de la fuente para obtener una máxima economía de volumen con el mismo espesor.

Las partículas alfa pierden rápidamente su energía al atravesar la materia, por lo que su penetración es escasa. Para absorber partículas alfa de energía comprendida dentro del rango habitual de energías, es suficiente con un pequeño espesor de papel fuerte, plástico o cartón.

Para la radiación beta, dado que su alcance en un determinado material es inversamente proporcional a su densidad, los medios de blindaje más adecuados son aquellos elementos de bajo número atómico y densidad elevada como el aluminio y el metacrilato.

En el caso de la radiación gamma o rayos X, los mejores materiales de atenuación son el plomo y el hormigón, dado que su elevado número atómico favorece la probabilidad de interacción.



## 2. RADIACIÓN NATURAL Y RADIACION ARTIFICIAL

### 2.1. RADIACIÓN NATURAL

Los seres vivos han estado siempre expuestos a fuentes naturales de radiaciones ionizantes. Una característica distintiva de la irradiación natural es que afecta a toda la población mundial con una intensidad relativamente constante a lo largo del tiempo con ciertas variaciones geográficas.

Parte de la radiación de fondo de la tierra procede del espacio y se conoce como radiación cósmica. La atmósfera, actuando como filtro natural, evita que la mayor parte de

---

ésta radiación alcance la superficie terrestre. La exposición de la radiación procedente del espacio es variable dependiendo de la latitud, siendo mínima a nivel del mar. También varía, aunque en menor medida, en función de la latitud, siendo de menor intensidad en el ecuador que en los polos, por la desviación que produce el campo magnético terrestre.

Además hay que tener en cuenta que los rayos cósmicos al interactuar con la atmósfera, la biosfera y la litosfera generan radionucleidos denominados cosmogénicos, que también forman parte del fondo natural.

La radiación procedente del suelo es denominada radiación terrestre. Depende de la concentración de los radionucleidos en la corteza terrestre y por lo tanto la exposición a las personas, debido a que esta radiación varía considerablemente dependiendo de la zona en la que habitan.

Otras fuentes naturales de sustancias radiactivas se encuentran presentes en el aire, los alimentos y el agua de bebida y son incorporadas al interior del organismo con la dieta y la respiración, dando lugar a la conocida como radiación interna.

La dosis efectiva debida a la irradiación natural de un individuo medio hipotético está estimada en 2,4 mSv por año, pero el rango de variación oscila entre 1 y 10 mSv por año en distintas zonas de la tierra.

Cuando se comparan las dosis individuales medias en la población mundial debidas a diferentes fuentes (naturales y artificiales), se puede observar que la contribución de mayor entidad corresponde al fondo natural y dentro de éste la mitad es debida al radón, gas noble procedente de la desintegración del radio (Radio-226) y este a su vez del uranio (Uranio-238) que forma parte de la composición natural de los suelos y aguas terrestres. El Radón debido a su naturaleza gaseosa emana del suelo y de los materiales de construcción pudiendo acumularse en el interior de los edificios y cuevas, dando lugar a exposiciones que pueden ser importantes cuando los terrenos en los que se asientan los edificios tienen concentraciones elevadas de estos radionucleidos y las condiciones de ventilación son insuficientes.

## **2.2. RADIACIÓN ARTIFICIAL**

El comportamiento de los radionucleidos artificiales, así como las leyes por las cuales se rigen y el tipo de emisiones, son las mismas que para la radiación natural.

El período de semidesintegración de estos radionucleidos artificiales es, en general, inferior al de los radionucleidos naturales. De hecho, algunos de estos radionucleidos artificiales tienen períodos de semidesintegración de horas e incluso excepcionalmente minutos.

## **2.3. DETECCIÓN Y MEDIDA**

Puesto que la radiación ionizante en general no es perceptible por los sentidos, es necesario valerse de instrumentos apropiados para detectar su presencia. Asimismo, interesan su intensidad, su energía, o cualquier otra propiedad que ayude a evaluar sus efectos. Se han desarrollado muchos tipos de detectores de radiación, cada clase de detector es sensible a cierto tipo de radiación y a cierto intervalo de energía. Así pues, *es de primordial importancia seleccionar el detector adecuado a la radiación que se desea medir. El no hacerlo puede conducir a errores graves.*

El diseño de los detectores está basado en el conocimiento de la interacción de las radiaciones con la materia. Como ya sabemos, las radiaciones depositan energía en los materiales, principalmente a través de la ionización y excitación de sus átomos. Además,

---

puede haber emisión de luz, cambio de temperatura, o efectos químicos, todo lo cual puede ser un indicador de la presencia de radiación. Los detectores más comunes en las aplicaciones de la radiación son los de ionización de gas y los de centelleo.

### 2.3.1. DETECTORES DE IONIZACIÓN DE GAS

Estos detectores constan de un gas encerrado en un recipiente de paredes tan delgadas como sea posible para no interferir con la radiación que llega. Los iones positivos y negativos (electrones), producidos por la radiación dentro del gas, se recogen directamente en un par de electrodos a los que se aplica un alto voltaje.

La corriente eléctrica así inducida, en general es en forma de pulsos de corta duración; estos pulsos son contados directamente, o activan un medidor de corriente, o pueden ser conectados a una bocina. Esta medida de ionización puede transformarse directamente a unidades de exposición.

### 2.3.2. DETECTORES DE CENTELLEO

Existen muchos otros tipos de detector de radiación que no operan con la ionización de un gas. Uno de los más empleados es el llamado detector de centelleo. En él se aprovecha el hecho de que la radiación produce pequeños destellos luminosos en ciertos sólidos. Esta luz se recoge y transforma en un pulso eléctrico.

Los detectores de centelleo tienen algunas ventajas sobre los de gas. En primer lugar, un sólido, por su mayor densidad, es más eficiente en detener la radiación que un gas. Por lo tanto la eficiencia de un detector de centelleo es muy superior a la de uno de gas, especialmente para rayos gamma. En segundo lugar, el proceso de luminiscencia, o sea la absorción de radiación y la posterior emisión de luz, es muy rápido, disminuyendo el tiempo muerto.

El material que produce el destello se llama cristal de centelleo. Se selecciona para que tenga una alta eficiencia en absorber radiación ionizante y emitir luz (luminiscencia). Debe ser transparente para poder transmitir la luz producida, y debe estar a oscuras para que la luz ambiental no le afecte.

## 3. DOSIMETRIA DE LA RADIACION Y SUS UNIDADES

Los efectos que producen las radiaciones ionizantes, ocurren cuando existe transferencia de energía al tejido irradiado. Dado los distintos tipos de interacción de cada tipo de radiación, el efecto será distinto si la energía de la radiación es impartida en un volumen pequeño, o en un volumen mayor.

Por tanto, para valorar el efecto de la radiación en el tejido biológico, introduciremos la magnitud de **Dosis absorbida**, definida como la energía media impartida por unidad de masa  $D = dE / dm$  donde  $dE$  es la energía media impartida por la radiación ionizante a un material de masa  $dm$ .

Su valor se expresa en el Sistema Internacional en Gray (Julio/Kg), siendo la Unidad especial el rad y su equivalencia:  $1 \text{ Gray} = 100 \text{ rad}$

Para valorar el efecto de la radiación sobre el tejido biológico, se introduce la magnitud de **Dosis equivalente**:

Se introduce un valor  $W_R$  de ponderación de la radiación, para reflejar la mayor probabilidad de detrimento al exponerse a componentes de la radiación con alta transferencia

lineal de energía. Los valores de  $W_R$  establecidos por el Reglamento de Protección Sanitaria contra radiaciones ionizantes son:

Tipo de radiación	Intervalo de energía	$W_R$
Fotones	todas las energías	1
Electrones	todas las energías	1
Neutrones	< 10 KeV	5
	10 KeV a 100 KeV	10
	100 KeV a 2 MeV	20
	2 MeV a 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Partículas alfa		20

Definiendo la dosis equivalente como:  $E = \sum w_R D_R$

Se ha observado que la relación entre la probabilidad de aparición de efectos estocásticos y la dosis equivalente depende también del órgano o tejido irradiado. Por tanto en el caso en que la irradiación no se produzca una irradiación homogénea del organismo para expresar la combinación de diferentes dosis equivalentes en diferentes tejidos, se introduce un factor ponderal del tejido  $w_T$  cuyos valores son elegidos de manera que la suma de estos valores sea la unidad.

TEJIDO U ORGANNO	$w_T$
Gónadas	0,20
Médula ósea roja, Colon, Pulmón,	0,12
Estómago	
Vejiga, Mama, Hígado, Esófago, Tiroides	0,05
Piel, Superficie ósea	0,01
El resto	0,05

De manera que introducimos la magnitud dosis efectiva, definida como:  $E = \sum w_T w_R D_{TR}$

Tanto la dosis equivalente como la dosis efectiva, son magnitudes cuya finalidad es su uso en protección radiológica y evaluación de riesgos. Asimismo no es una magnitud que deba emplearse en el caso de producirse irradiaciones accidentales de alto nivel.

Las Unidades de medida de la dosis equivalente y la dosis efectiva son en el Sistema Internacional el Sievert (JulioKg)

La dosis equivalente y la dosis efectiva, son magnitudes cuya finalidad es su uso en protección radiológica y evaluación de riesgos. Proporcionan una base que permite estimar la probabilidad de aparición de efectos estocásticos, pero utilizables únicamente para valores de dosis absorbida muy inferiores a las correspondientes a los umbrales de aparición de efectos deterministas. Asimismo no es una magnitud que deba emplearse en el caso de producirse irradiaciones accidentales de alto nivel.

En el caso en que los campos de radiación puedan estar producidos por materiales radiactivos, definimos la magnitud **Actividad**, como el número de desintegraciones por unidad de tiempo.

$$A = dN / dt$$

Las Unidades de medida de la actividad son en el Sistema Internacional: Becquerelio  $\times \text{seg}^{-1}$  y la Unidad especial el Curio, siendo la Equivalencia de  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .

Para realizar la conversión de actividad a tasa de dosis equivalente, se introduce la llamada **constante específica** ( $\Gamma$ ), definida para cada radionucleido emisor gamma, permitiendo realizar dicho cálculo aplicando la fórmula:

$$E = \Gamma \cdot A \cdot t / d^2$$

Algunos valores de la constante específica de emisores gamma frecuentes:

RADIONUCLEIDO	(mSv·m <sup>2</sup> /h GBq)	(Rm <sup>2</sup> /hCi)
Cesio-137	0,089	0,328
Cobalto-60	0,353	1,307
Yodo-125	0,036	0,133
Iridio-192	0,108	0,400
Radio-226	0,223	0,825

#### 4. EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Experimentalmente se observó que las radiaciones ionizantes parecen tener una eficacia selectiva para destruir células cancerosas sin afectar a los tejidos sanos. A partir de esta evidencia se introdujo el concepto de **radiosensibilidad**, basado en características inherentes a la célula y no al tipo de radiación. Una célula es más radiosensible cuanto mayor sea su actividad mitótica, su porvenir y su indiferenciación. Esta ley explica la radiosensibilidad de la mayoría de poblaciones celulares, existiendo una excepción notable como es el linfocito de sangre periférica, tratándose de una célula totalmente diferenciada y con una elevada radiosensibilidad a la acción de las radiaciones ionizantes.

No obstante existen factores que pueden modificar la radiosensibilidad celular, los cuales pueden agruparse en tres grupos físicos (calidad de radiación y tasa de dosis), químicos (radiosensibilizadores y radioprotectores) y biológicos.

Como muchos otros agentes físicos, químicos o biológicos, las radiaciones ionizantes son capaces de producir daños orgánicos. Esto es en virtud de que la radiación interacciona con los átomos de la materia viva, provocando en ellos principalmente el fenómeno de ionización. Luego esto da lugar a cambios importantes en células, tejidos, órganos, y en el individuo en su totalidad. El tipo y la magnitud del daño dependen del tipo de radiación, de su energía, de la dosis absorbida (energía depositada), de la zona afectada, y del tiempo de exposición.

Así como en cualquier otro tipo de lesión, este daño orgánico en ciertos casos puede recuperarse. Esto dependerá de la severidad del caso, de la parte afectada, y del poder de recuperación del individuo. En la posible recuperación, la edad y el estado general de salud del individuo serán factores importantes.



---

En casi cien años de usarse las radiaciones, ha sido posible observar la respuesta de diferentes organismos sometidos a tratamiento médico, o sujetos a accidentes con radiaciones. Con base en estas observaciones se tienen ahora caracterizados los efectos, lo cual da los elementos para prevenir futuros riesgos.

#### **4.1. DAÑO BIOLÓGICO POR RADIACIONES**

Para los agentes farmacológicos en general es válida la regla de que, para obtener un efecto biológico dado, se requiere dar una determinada dosis mayor que la dosis umbral. La dosis umbral es aquella que marca el límite arriba del cual se presenta un efecto, y debajo del cual no hay efecto. Algunos de los efectos de la radiación caen en este caso, los no estocásticos. Otras sustancias no tienen una respuesta de este tipo, es decir no tienen umbral, por lo tanto no hay una dosis mínima para producir un efecto. Consecuentemente, cualquier dosis dada produce un efecto; para obtener un efecto cero se requiere una dosis cero. Los efectos estocásticos de la radiación se comportan de esta manera.

La rapidez con la cual se absorbe la radiación es importante en la determinación de los efectos. Una dosis dada producirá menos efecto si se suministra fraccionada, en un lapso mayor, que si se aplica en una sola exposición. Esto se debe al poder de restauración del organismo; sin embargo hay que tomar en cuenta que esta recuperación no es total y siempre queda un daño acumulativo.

El lapso entre el instante de radiación y la manifestación de los efectos se conoce como periodo latente. Con base en esto se pueden clasificar los daños biológicos como agudos (a corto plazo), que aparecen en unos minutos, días o semanas, y diferidos (largo plazo), que aparecen después de años, décadas y a veces en generaciones posteriores.

El daño biológico tendrá diferentes manifestaciones en función de la dosis. A bajas dosis (menos de 100 mSv o 10 rem) no se espera observar ninguna respuesta clínica. Al aumentar a dosis mayores, el organismo va presentando diferentes manifestaciones hasta llegar a la muerte. La dosis letal media, aquella a la cual 50% de los individuos irradiados mueren, es de 4 Sv (400 rem).

Ordinariamente, cuando se hace referencia a dosis equivalentes, se quiere indicar una dosis promedio al cuerpo total. Esto es importante ya que en ocasiones pueden aplicarse grandes dosis de radiación a áreas limitadas (como en radioterapia) con un daño local. Si estas mismas dosis se aplican a todo el cuerpo pueden ser letales. Por ejemplo, una persona podría recibir 10 Sv (1 000 rem) en un brazo y experimentar una lesión local, pero esa misma dosis a cuerpo entero le causaría inexorablemente la muerte.

#### **4.2. EFECTOS DE LA RADIACIÓN EN LAS CÉLULAS**

Cuando la radiación ionizante incide sobre un organismo vivo, la interacción a nivel celular se puede llevar a cabo en las membranas, el citoplasma, y el núcleo.

Si la interacción sucede en alguna de las membranas se producen alteraciones de permeabilidad, lo que hace que puedan intercambiar fluidos en cantidades mayores que las normales. En ambos casos la célula no muere, pero sus funciones de multiplicación no se llevan a cabo. En el caso en que el daño es generalizado la célula puede morir.

En el caso en que la interacción sucede en el citoplasma, cuya principal sustancia es el agua, al ser ésta ionizada se forman radicales químicamente inestables. Algunos de estos radicales tenderán a unirse para formar moléculas de agua y moléculas de hidrógeno (H), las cuales no son nocivas para el citoplasma. Otros se combinan para formar peróxido de

---

hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), el cual sí produce alteraciones en el funcionamiento de las células. La situación más crítica se presenta cuando se forma el hidronio ( $\text{HO}$ ), el cual produce envenenamiento.

Cuando la radiación ionizante llega hasta el núcleo de la célula, puede producir alteraciones de los genes e inclusive rompimiento de los cromosomas, provocando que cuando la célula se divida lo haga con características diferentes a la célula original. Esto se conoce como daño genético de la radiación ionizante, que si se lleva a cabo en una célula germinal (espermatozoide u óvulo) podrá manifestarse en individuos de futuras generaciones.

Por lo expuesto, vemos que la radiación ionizante puede producir en las células: aumento o disminución de volumen, muerte, un estado latente, y mutaciones genéticas.

Vale la pena mencionar que estas propiedades destructivas de la radiación se pueden transformar en un beneficio. La radioterapia busca eliminar tejidos malignos en el cuerpo aplicándoles altas dosis de radiación. Sin embargo, por la naturaleza de la radiación, es inevitable afectar otros órganos sanos cercanos. En un buen tratamiento de radioterapia se proporciona la dosis letal al tumor, tratando de que sea mínima la exposición de otras partes del cuerpo.

#### **4.3. CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS**

Se han venido mencionando ya algunas maneras de clasificar los efectos biológicos producidos por las radiaciones. Por su importancia conviene reiterar y resaltar los criterios en que se fundamentan las diferentes clasificaciones.

Recientemente la ICRP ha introducido un nuevo concepto en la clasificación de los efectos, basado en la probabilidad de ocurrencia: los efectos estocásticos y los no estocásticos.

Los efectos estocásticos son aquéllos cuya probabilidad de ocurrencia se incrementa con la dosis recibida, así como con el tiempo de exposición. No tienen una dosis umbral para manifestarse. Pueden ocurrir o no ocurrir; no hay un estado intermedio. La inducción de un cáncer en particular es un efecto estocástico. Su probabilidad de ocurrir depende de la dosis recibida; sin embargo, no se puede asegurar que el cáncer se presente, menos aún determinar una dosis. La protección radiológica trata de limitar en lo posible los efectos estocásticos, manteniendo las dosis lo más bajas posible.

En los efectos no estocásticos la severidad aumenta con la dosis, y se produce a partir de una dosis umbral. Para dosis pequeñas no habrá efectos clínicamente detectables. Al incrementar la dosis se llega a niveles en que empiezan a evidenciarse, hasta llegar a situaciones de gravedad. Para estos casos la protección consiste en prevenir los efectos, no excediendo los umbrales definidos en cada caso. Las quemaduras caen en esta categoría.

El daño biológico por radiación puede manifestarse directamente en el individuo que recibe la radiación o en su progenie. En el caso en que el daño se manifieste en el individuo irradiado se trata de un daño somático, es decir, el daño se ha circunscrito a sus células somáticas. Por otro lado, el daño a las células germinales resultará en daño a la descendencia del individuo. Se pueden clasificar los efectos biológicos en el hombre como somáticos y hereditarios. El daño a los genes de una célula somática puede producir daño a la célula hija, pero sería un efecto somático no hereditario. El término "daño genético" se refiere a efectos causados por mutación en un cromosoma o un gen; esto lleva a un efecto hereditario solamente cuando el daño afecta a una línea germinal.

Síndrome de irradiación aguda es el conjunto de síntomas por la exposición de cuerpo total o una gran porción de él a la radiación. Consiste en náusea, vómito, anorexia (inapetencia), pérdida de peso, fiebre y hemorragia intestinal. Según su periodo de latencia, los efectos se han clasificado en agudos (a corto plazo) y diferidos (a largo plazo).

Los efectos agudos pueden ser generales o locales. Los generales presentan la sintomatología que se resume en el cuadro 8. Los locales pueden ser eritema o necrosis de la piel, caída del cabello, necrosis de tejidos internos, la esterilidad temporal o permanente, la reproducción anormal de tejidos como el epitelio del tracto gastrointestinal, el funcionamiento anormal de los órganos hematopoyéticos (médula ósea roja y bazo), o alteraciones funcionales del sistema nervioso y de otros sistemas.

Los efectos diferidos pueden ser la consecuencia de una sola exposición intensa o de una exposición por largo tiempo. Entre éstos han de considerarse: las cicatrices atróficas locales o procesos distróficos de órganos y tejidos fuertemente irradiados, las cataratas del cristalino, el cáncer de los huesos debido a la irradiación del tejido óseo, el cáncer pulmonar, las anemias plásticas ocasionadas por radiolesiones de la médula ósea, y la leucemia.

Los Efectos Biológicos de las radiaciones ionizantes pueden clasificarse atendiendo básicamente a dos criterios:

- Atendiendo a su **transmisión**, los efectos pueden clasificarse en hereditarios y somáticos. Son hereditarios o genéticos aquellos que afectan a los descendientes del individuo irradiado. Para que se produzcan estos efectos es condición necesaria que las células germinales del individuo irradiado hayan sido afectadas. Por el contrario son efectos somáticos aquellos que se manifiestan en el individuo que ha sido irradiado, no transmitiéndose a su descendencia. Este último caso ocurre cuando las células germinales no han sido irradiadas.
- Por otra parte en función de la **incidencia** que tiene la radiación sobre los efectos, éstos se clasifican en estocásticos y deterministas. Los efectos estocásticos se caracterizan porque la probabilidad de que ocurra el efecto, pero no la gravedad del mismo, depende de la dosis de radiación. Este hecho es consecuencia de que un aumento de la dosis recibida conduce a un aumento de la probabilidad de la transformación de alguna célula del organismo. No obstante, la gravedad de tal efecto depende de otros factores, tales como el tipo y localización de las células malignas. En los efectos deterministas, el daño resulta de la lesión colectiva de un número sustancial de células, de manera que en este caso sí existe una dosis umbral por debajo de la cual el número de células afectadas es inferior al necesario para que ocurra efecto alguno.

	<b>ESTOCASTICOS</b>	<b>DETERMINISTAS</b>
Gravedad	Independiente de la dosis	Dependiente de la dosis
Naturaleza	Somática o hereditaria	Somática
Dosis umbral	No	Sí
Aparición	Tardía	Inmediata o tardía

---

## 5. LIMITES DE DOSIS LEGALMENTE AUTORIZADOS

La exposición ocupacional a las Radiaciones Ionizantes viene regulada por el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes, cuya última modificación fue aprobada por el Real Decreto 7831/2001. El objeto de dicho Reglamento es establecer las normas relativas a la protección de los trabajadores y de los miembros del público contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.

El Reglamento **es de aplicación** a:

- Todas las prácticas que impliquen un riesgo derivado de las radiaciones ionizantes que procedan de una fuente artificial, o bien de fuentes naturales de radiación cuando los radionucleidos naturales han sido procesados por sus propiedades radiactivas ó por ser fisionables.
- Toda actividad laboral que suponga la presencia de fuentes naturales de radiación y de lugar a un incremento significativo de la exposición de los trabajadores o miembros del público que no pueda ser despreciable.

El Reglamento **no es de aplicación** a la exposición a Radón en las viviendas o a los niveles naturales de radiación, es decir, a los radionucleidos contenidos en el cuerpo humano, a los rayos cósmicos a nivel del suelo o a la exposición por encima del nivel del suelo debida a los radionucleidos presentes en la corteza terrestre no alterada.

El Reglamento regula las normas básicas de protección, introduciendo los tres principios básicos de la Protección Radiológica, partiendo de la premisa de que con objeto de reducir las dosis colectivas el número de personas expuestas a las radiaciones ionizantes será el menor posible:

### Justificación:

Los diferentes tipos de actividades que impliquen una exposición a las radiaciones ionizantes deben estar justificados previamente por las ventajas que proporcionen en relación con el detrimento de la salud que pudieran ocasionar.

### Optimización:

Las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones potenciales, se mantendrán siempre al nivel más bajo que sea razonablemente posible.

### Limitación de dosis:

La suma de las dosis recibidas procedentes de todas las prácticas no sobrepasará los límites de dosis que el Reglamento establece tanto para los trabajadores profesionalmente expuestos, como para los miembros del público.

Los principios de Justificación y Optimización se aplicarán a todas las exposiciones a las radiaciones ionizantes, incluidas las exposiciones médicas. En cambio el principio de limitación de dosis no se aplicará a ninguna de las exposiciones siguientes:

- a) Exposición de personas en el marco de su propio diagnóstico o tratamiento médico.
- b) Exposición deliberada y voluntaria de personas, cuando ello no constituya parte de su ocupación, para ayudar o aliviar a pacientes en diagnóstico o tratamiento médico.

- 
- c) La exposición de voluntarios que participen en investigación médica y biomédica.

Los límites de dosis se aplican a la suma de las dosis procedentes de las exposiciones externas en el periodo especificado y las dosis comprometidas hasta cincuenta años (setenta años en el caso de niños) a causa de las incorporaciones producidas en el mismo periodo. En el cómputo de dosis no se incluirá la dosis debida al fondo radiactivo natural ni la exposición sufrida como consecuencia de exámenes y tratamientos médicos.

Para el personal profesionalmente expuesto:

El límite de dosis efectiva para trabajadores expuestos será de 100 mSv durante todo periodo de cinco años oficiales consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.

---

Límite de dosis equivalente para el cristalino	50 mSv por año oficial
Límite de dosis equivalente para la piel	500 mSv por año oficial (Dosis promediada sobre cualquier superficie de 1 cm <sup>2</sup> )
Límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv por año oficial

---

Protección especial durante embarazo y lactancia:

Desde que una mujer comunique su estado al titular de la práctica, las condiciones de trabajo de una mujer embarazada serán tales que la dosis equivalente al feto sea tan baja como sea razonablemente posible, de forma que sea improbable de dicha dosis exceda de 1 mSv, desde la comunicación de su estado hasta el final del embarazo.

Desde el momento que una mujer se encuentre en periodo de lactancia y comunique su estado al titular de la práctica, no se le asignarán trabajos que supongan un riesgo significativo de contaminación radiactiva.

Miembros del público:

El límite de dosis efectiva para los miembros del público será de 1 mSv por año oficial.

Estudiantes:

---

Mayores de 18 años	Mismos límites aplicables al profesionalmente expuesto
Edad entre 16 y 18 años	6 mSv por año oficial Cristalino: 50 mSv/año oficial Piel, manos, antebrazos, pies y tobillos: 150 mSv/año oficial
Menores de 16 años	Mismos límites aplicables a los miembros del público

---

## **6. PROTECCION OPERACIONAL DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS**

La protección operacional de los trabajadores expuestos se basará en los siguientes principios :

- 
- a) Evaluación previa de las condiciones laborales para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización.
  - b) Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías teniendo en cuenta: La evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de exposiciones potenciales.
  - c) Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías según sus condiciones de trabajo.
  - d) Aplicación de las normas y medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas y a las distintas categorías de trabajadores expuestos, incluida en su caso la vigilancia individual.
  - e) Vigilancia sanitaria.

### **6.1. CLASIFICACION Y DELIMITACION DE ZONAS**

Se delimitarán todos los lugares de trabajo en los que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites para el cristalino, piel, y extremidades definidas para el trabajador expuesto.

El titular de la práctica clasificará los lugares de trabajo en las siguientes zonas:

- **Zona vigilada:** Es aquella zona en la que existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites para el cristalino, piel, y extremidades definidas para el trabajador expuesto.
- **Zona controlada:** Es aquella zona en la que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis a cristalino, piel y extremidades.
- **Zona de permanencia limitada:** Existe riesgo de superar los límites de dosis para el trabajador expuesto.
- **Zona de permanencia reglamentada:** Existe riesgo de recibir en cortos periodos de tiempo una dosis superior a los límites del trabajador expuesto, y requiere especiales medidas desde el punto de vista de la optimización.
- **Zona de acceso prohibido:** Existe riesgo de recibir, en una exposición única dosis superiores a los límites para el trabajador expuesto.

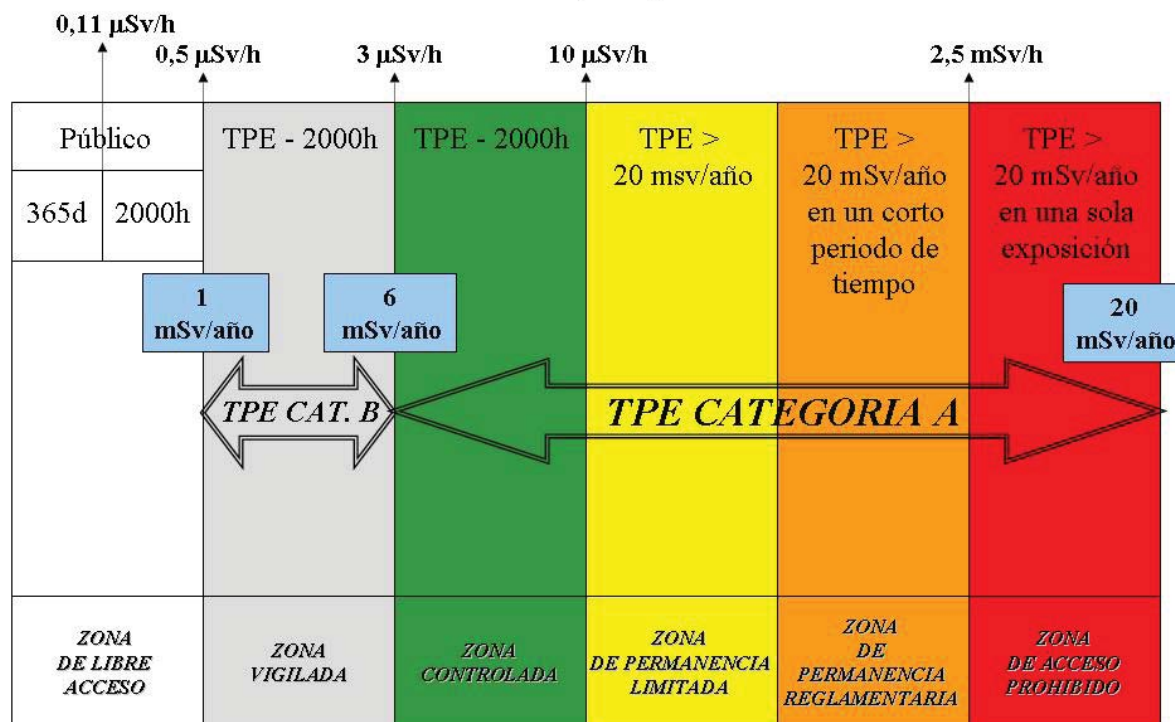
Las zonas referidas estarán delimitadas adecuadamente y señalizadas de forma que quede manifiesto el riesgo de exposición existente en las mismas.

El acceso estará limitado a personas autorizadas al efecto y que hayan recibido las instrucciones adecuadas al riesgo existente en el interior de dichas zonas.

Las zonas referidas se señalarán en su acceso conforme lo establecido en la norma **UNE 73 302**, cuyo contenido se expone en el gráfico siguiente:

## VALORES NATURALES Y LÍMITES LEGALES DE TASA DE DOSIS

RPScRI-RD (783/01)



### 6.2. CLASIFICACION DE TRABAJADORES EXPUESTOS

Por razones de vigilancia y control radiológico, se clasificará a los trabajadores expuestos en dos categorías :

**Categoría A:** Personas en las que por las condiciones en las que se realiza el trabajo, puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a los 3/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel y las extremidades.

**Categoría B:** Aquellas personas que por las condiciones que se realiza el trabajo sea muy improbable que reciban dosis superiores a las definidas en la categoría A.

### 6.3. VIGILANCIA SANITARIA DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS

Toda persona que vaya a ser clasificada como trabajador expuesto de categoría A deberá ser sometida a un examen de salud previo, que permita comprobar su aptitud para el trabajo.

Los trabajadores expuestos de categoría A estarán sometidos a exámenes de salud periódicos que permitan comprobar que siguen siendo aptos para ejercer sus funciones. Estos exámenes se realizarán cada doce meses ó más frecuentemente si por parte del servicio médico se estima oportuno.

---

## 7. FUENTES NATURALES DE RADIACION

El reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones ionizantes, establece la obligatoriedad de revisión de determinadas actividades en las que no siendo consideradas como instalación radiactiva, existan fuentes naturales de radiación, con el objeto de determinar si existe un incremento significativo de la exposición de los trabajadores que no pueda ser despreciable. En dichas actividades se incluyen:

- a) Lugares de trabajo tales como establecimientos termales, cuevas, minas, lugares de trabajo subterráneos, en los que los trabajadores estén expuestos a la inhalación de radionucleidos naturales (Ejm. Radón)
- b) Actividades laborales que impliquen el almacenamiento o la manipulación de materiales que habitualmente no se consideran radiactivos pero que contengan radionucleidos naturales.
- c) Actividades laborales que impliquen exposición a radiación cósmica durante la operación de aeronaves.

En este caso, las compañías aéreas tendrán que considerar un programa de protección radiológica cuando las exposiciones a la radiación cósmica del personal de tripulación de aviones puedan resultar en una dosis superior a 1 mSv por año oficial. Este programa contemplará la evaluación de la exposición del personal implicado, la organización de los planes de trabajo a fin de reducir la exposición, información a los trabajadores sobre los riesgos radiológicos de su trabajo y la protección especial durante el embarazo en el caso de personal femenino.

## 8. RIESGOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Las radiaciones ionizantes que se utilizan en las instalaciones radiactivas se originan de dos formas esencialmente distintas.

- En un caso se producen a partir de equipos provistos de dispositivos electrónicos que requieren forzosamente estar conectados a la red. Son equipos capaces de transformar parte de la energía eléctrica que consumen en radiación ionizante. A estos equipos basta con desconectarlos de la fuente de suministro eléctrico para que dejen de emitir radiación.
- En el otro, tiene su origen en el propio material radiactivo, el cual puede encontrarse en la naturaleza, como es el caso del uranio, o bien puede ser obtenido artificialmente, es decir fabricado por el hombre.

Todas las personas que manipulan los materiales o equipos generadores de radiación ionizante o dirigen estas actuaciones deben disponer de una formación específica con el fin de evitar riesgos radiológicos, mediante la obtención de las licencias de Supervisor y Operador. Dichas licencias son concedidas por el Consejo de Seguridad Nuclear, tras la superación de unas pruebas, y renovables cada cinco años, según establece el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (RD 1836/1999)

El tipo de riesgo está asimismo condicionado a la forma física en que se presenta la sustancia radiactiva, es decir si la fuente se encuentra o no en forma encapsulada.

- Fuente encapsulada: Se trata de fuentes radiactivas revestidas de material sólido o cubiertas de una envoltura de resistencia mecánica tal que impide que exista



---

contacto con el material radiactivo o la sustancia se disperse en condiciones normales de uso. Únicamente presenta riesgo de irradiación externa.

- Fuente no encapsulada: Se trata de fuentes dispersables, las cuales se encuentran bien en forma de disolución, en forma de polvo ... Presenta riesgo tanto de irradiación como de contaminación.

Las radiaciones ionizantes son invisibles y no las percibimos por ninguno de los sentidos, por lo que debemos conocer en qué ámbitos pueden estar presentes, y tomar conciencia de que el trabajo en presencia de radiaciones ionizantes, realizado sin precauciones, presenta riesgos que pueden ser de dos tipos, en función del tipo de la instalación, la naturaleza y el tipo de la fuente: exposición externa y contaminación radiactiva.

- LA EXPOSICIÓN EXTERNA puede ser producida por todas las fuentes de radiación, tanto las fuentes radiactivas, como los equipos generadores de radiaciones ionizantes.

Hay exposición externa cada vez que un objeto o una persona se encuentra sometida a la radiación de una fuente exterior a su propio cuerpo.

- LA CONTAMINACIÓN RADIATIVA puede ser producida por fuentes no encapsuladas o fuentes con deterioro en su cápsula.

Hay contaminación radiactiva cada vez que sustancias radiactivas están presentes en un medio o en una superficie en la que son indeseables.

Tratándose de contaminación corporal se distingue:

- a) Contaminación externa: Cuando las sustancias radiactivas son depositadas en la superficie del cuerpo.
- b) Contaminación interna, cuando las sustancias radiactivas han penetrado en el organismo

Asimismo puede haber contaminación radiactiva indeseable en el aire de las salas y las superficies y lugares donde se hayan manipulado fuentes radiactivas no encapsuladas.

## **9. INSTALACIONES NUCLEARES Y RADIATIVAS. RD 1836/1999.**

### **9.1. CLASIFICACIÓN Y CATEGORIAS**

El Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, aprobado por Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, establece las definiciones de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, así como su Clasificación en categorías. A continuación se exponen las definiciones que establece el Reglamento

Son **instalaciones nucleares**:

- a) Las centrales nucleares: cualquier instalación fija para la producción de energía mediante un reactor nuclear.
- b) Los reactores nucleares: cualquier estructura que contenga combustibles nucleares dispuestos de tal modo que dentro de ella pueda tener lugar un proceso automantenido de fisión nuclear sin necesidad de una fuente adicional de neutrones .

- 
- c) Las fábricas que utilicen combustibles nucleares para producir sustancias nucleares y las fábricas en que se proceda al tratamiento de sustancias nucleares, incluidas las instalaciones de tratamiento o reprocesado de combustibles nucleares irradiados.
  - d) Las instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares, excepto los lugares en que dichas sustancias se almacenen incidentalmente durante su transporte.

Se entiende por **instalaciones radiactivas**:

- a) Las instalaciones de cualquier clase que contengan una fuente de radiación ionizante.
- b) Los aparatos productores de radiaciones ionizantes que funcionen a una diferencia de potencial superior a 5 kV.
- c) Los locales, laboratorios, fábricas e instalaciones donde se produzcan, utilicen, posean, traten, manipulen o almacenen materiales radiactivos, excepto el almacenamiento incidental durante su transporte.

Las instalaciones radiactivas se dividen en **tres categorías**, tomando como base unas tablas contenidas en dicho Reglamento, las cuales para cada nucleido establece un valor de actividad (expresada en Bq) y otro de actividad por unidad de masa (expresada en KBq/Kg).

- a) Se considerará como referencia de actividad *exenta* por nucleido la contenida en la segunda columna de la tabla (el valor expresado en Bq)
- b) Serán de *tercera categoría* las instalaciones en que intervenga una actividad superior a la de exención e inferior a mil veces ésta.
- c) Serán de *segunda categoría* aquellas en que la actividad sea igual o superior a mil veces la de exención.
- d) En los casos de *mezcla de isótopos*, si la suma de los cocientes entre la actividad presente de cada isótopo y la de exención se sitúa entre uno y mil, la instalación será de tercera categoría y si es igual o superior a mil, de segunda.
- e) Las instalaciones industriales de irradiación, serán de primera categoría

Se denominarán **instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear**:

- a) Las fábricas de producción de uranio, torio y sus compuestos.
- b) Las fábricas de producción de elementos combustibles de uranio natural.

Las instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear serán de primera categoría.

## 9.2. AUTORIZACIONES

Las instalaciones nucleares y radiactivas requieren de autorizaciones que se concederán por el Ministerio de Economía, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear según lo previsto en el Reglamento.

Las instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear requerirán las siguientes autorizaciones: autorización previa, autorización de construcción, autorización de

---

explotación, autorización de desmantelamiento y declaración de clausura y, en su caso, autorización de modificación y de cambio de titularidad.

Las instalaciones radiactivas con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales o industriales requerirán una autorización de funcionamiento, una declaración de clausura y, en su caso, una autorización de modificación y de cambio de titularidad.

En el caso de instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría, las autorizaciones son concedidas por el órgano competente en la materia de cada Comunidad Autónoma, en aquellas Comunidades con transferencia de funciones.

### **9.3. PLAN DE EMERGENCIA INTERIOR**

Entre la documentación a incluir para la solicitud de la autorización de funcionamiento se incluye el Plan de emergencia interior. Dicho Plan detallará las medidas previstas por el titular y la asignación de responsabilidades para hacer frente a las condiciones de accidente con objeto de mitigar sus consecuencias, proteger al personal de la instalación y notificar su ocurrencia de forma inmediata a los órganos competentes, incluyendo la evaluación inicial de las circunstancias y de las consecuencias de la situación. Además, establecerá las actuaciones previstas por el titular para prestar su ayuda en las intervenciones de protección en el exterior de la instalación, de acuerdo con los planes de emergencia exterior que establezcan los órganos competentes, cuando así lo determine el Consejo de Seguridad Nuclear.

El Consejo de Seguridad Nuclear en su colección de Guías de Seguridad, incluye la Guía GS-CSN 1.3 "PLAN DE EMERGENCIA EN CENTRALES NUCLEARES" con el objeto de fijar los criterios que se consideran aceptables para el Consejo, sobre el contenido técnico del Plan de Emergencia Interior (PEI) con el fin de orientar a los interesados sobre la información y los datos a remitir al Consejo, para su evaluación.

El Plan de Emergencia contemplará las diferentes situaciones de emergencia que pudieran crearse, atendiendo a la gravedad y urgencia de cada una de ellas. La clasificación de estas situaciones, de menor a mayor gravedad, es la siguiente:

- Suceso normal notificable
- Alerta de situación de emergencia
- Emergencia en el emplazamiento.
- Emergencia en el exterior del emplazamiento (emergencia general)

El PEI deberá incluir un apartado de Coordinación con Organismos Oficiales, en el cual se incluirá una relación de los organismos oficiales que tengan responsabilidad específica en situaciones de emergencia, particularmente, se señalará la coordinación con el Consejo de Seguridad Nuclear y las administraciones con competencias en materia de Protección Civil. El procedimiento y forma de efectuar las comunicaciones y notificaciones a los Organismos oficiales serán los que se contemplen en el Plan Básico de Emergencia Nuclear (RD 1546/2004) y los Planes Provinciales de Emergencia, derivados del mismo.

En el PEI se describirán las previsiones adoptadas para realizar simulacros y ejercicios de emergencia periódicos, con el objeto de comprobar entre otros la disponibilidad de los equipos de emergencia y para asegurar que el personal de la organización de emergencia está familiarizado con sus obligaciones. Cada uno de estos ejercicios incluirá la coordinación y

---

participación de las organizaciones exteriores de la central, incluyendo aquellos Organismos incluidos en el Plan.

El PEI debe incluir también, simulacros trimestrales para el equipo de lucha contra incendios, así como un ensayo anual de este mismo personal con un Departamento de Bomberos del área en que se encuentre la central, siempre que se llegue a un acuerdo con los mismos. Se sugiere que entre el personal de la central se designe la figura de Coordinador del Plan de Emergencia, cuyas responsabilidades incluirán la coordinación con las organizaciones del exterior.

La situación de emergencia en el emplazamiento puede considerarse terminada cuando la entidad explotadora haya determinado que la central permanece bajo control y que las emisiones de efluentes desde la central se encuentran dentro de los límites aceptables. No obstante, conviene que la entidad explotadora preste ayuda a las autoridades públicas hasta que se haya declarado terminada la situación de emergencia en el exterior del emplazamiento.

## **10. USO DE LAS RADIACIONES**

### ***10.1. Usos médicos de las radiaciones***

En el campo de la sanidad las radiaciones se usan tanto para el diagnóstico, por la capacidad de la radiación para permitir ver lo que no puede verse sin necesidad de recurrir a la cirugía, como para el tratamiento de enfermedades, por la capacidad de la radiación intensa para matar células.

#### **Diagnóstico**

Cuando la radiación X penetra en el cuerpo, produce una semisombra que contiene áreas más claras y más oscuras. Una película situada en la sombra de rayos X del paciente permite ver una imagen de los órganos internos, que luego se interpreta para el diagnóstico.

A partir de las clásicas radiografías utilizadas en traumatología o en la inspección del tórax, se han ido desarrollando nuevas aplicaciones como las mamografías, el examen dental, la osteoporosis, la tomografía axial computarizada (TAC), etcétera.

Las técnicas analíticas y el diagnóstico precoz se complementan con los procedimientos de contraste, en los que se introduce al paciente una determinada sustancia para hacer visibles a la radiación tejidos u órganos que no lo son en condiciones normales.

#### **Terapia**

La otra gran aplicación de la radiación en medicina surge de su capacidad para destruir células. Paradójicamente, esta capacidad que es el origen lógico del rechazo hacia la radiación cuando se recibe de forma incontrolada, puede convertirla en herramienta de curación cuando se dosifica y utiliza adecuadamente.

Junto a los tratamientos quirúrgicos y químicos, la aplicación selectiva de fuertes dosis de radiación en determinadas células se ha demostrado como una vía eficaz en ciertas modalidades de cáncer.

La radioterapia puede aplicarse utilizando un haz de electrones de alta energía dirigido al interior del tejido que necesita tratamiento (con una unidad de telecobalto o, más recientemente, con un acelerador lineal) o mediante la ingestión de una solución radiactiva que se deposita en el órgano a tratar (por ejemplo, en el tratamiento de la glándula tiroides).

---

## **10.2. Usos industriales**

A modo de ejemplo, se pueden incluir en este apartado los siguientes usos de las radiaciones :

- Detección de defectos de soldadura o grietas en tuberías, estructuras y edificios; examen de maletas y bultos en los aeropuertos; detección de cartas bomba.
- Control de irregularidades en el espesor de bloques de papel, láminas de plástico y hojas de metal o en el nivel de llenado de recipientes o grandes depósitos.
- Identificación de trayectorias, utilizando trazadores en corrientes hidráulicas, sedimentos, movimiento de graneles, etcétera.
- Estimación de la antigüedad de sustancias, utilizando el carbono-14 u otros isótopos, como el árgon-40 o el fósforo-32.
- Iluminación pasiva de relojes o de salidas de emergencia.

## **10.3. Otros**

- Investigación y docencia
- Esterilización de material quirúrgico, así como de semillas o productos alimenticios para prolongar su durabilidad.
- Detección de humo en los hogares y locales públicos.

En las tablas que a continuación se exponen, extraídas de la página web del Consejo de Seguridad Nuclear, se observa la evolución del número de instalaciones radiactivas, apreciándose un incremento significativo en el número de instalaciones de rayos X médicos. Ello se debe a un mayor número de declaración de las instalaciones existentes, tras un cambio en la legislación aplicable en el año 1991.

<b>Categoría</b>	<b>Campo de aplicación</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
1 <sup>a</sup>	Irradiación	1	1	1	1	1
	Subtotal	1	1	1	1	1
2 <sup>a</sup>	Comercialización	54	55	55	55	49
	Investigación y docencia	82	78	80	82	84
	Industria	565	573	572	587	600
	Medicina	259	258	262	270	276
	Subtotal	960	964	969	994	1009
3 <sup>a</sup>	Comercialización	18	18	24	16	12
	Investigación y docencia	82	86	94	88	90
	Industria	165	166	168	161	145
	Medicina	82	80	98	70	66
	Subtotal	347	350	384	335	313
Rayos X médicos		20.208	21.884	22.947	24.069	25.222
Total		21.516	23.199	24.301	25.399	26.545

En la siguiente tabla se presenta la distribución de las instalaciones radiactivas autorizadas en la Comunidad Valenciana, obtenidas del informe del año 2005 que el Consejo de Seguridad Nuclear elabora para el Congreso de los Diputados y el Senado.

<b>Comunidad Autónoma</b>	<b>Instalaciones Radiactivas de 2<sup>a</sup> categoría</b>					<b>Instalaciones Radiactivas de 3<sup>a</sup> categoría</b>					<b>Total IRR</b>	<b>Rayos x</b>	
	<b>Aplicación</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>Total2<sup>a</sup></b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>I</b>	<b>M</b>			<b>Total3<sup>a</sup></b>
C.Valenciana	1	6	52	27	86	-	6	11	8	25	111	2.615	
C: IRR Comerciales		D: IRR de Investigación y Docencia					I: IRR Industriales						
M: IRR Médicas													

## **11. TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO**

### **11.1. ALCANCE Y APLICACIÓN**

La Reglamentación aplicable al transporte de mercancías peligrosas, establece todos los requisitos detallados aplicables, y por tanto, salvo que en la Reglamentación se disponga otra cosa, nadie podrá presentar ni aceptar para el transporte, mercancías peligrosas que no estén correctamente clasificadas, embaladas/envasadas, marcadas, etiquetadas, rotuladas, descritas y certificadas en un documento de transporte, y que no se hallen, por lo demás, en las condiciones de transporte prescritas por la Reglamentación.

### **11.2. TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO**

El objetivo del transporte seguro de material radiactivo es proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente de los efectos de las radiaciones durante el transporte de materiales radiactivos. Esta protección se logra imponiendo los siguientes requisitos:

- 
- a) la contención del contenido radiactivo;
  - b) el control de los niveles de radiación externa;
  - c) la prevención de la criticidad; y
  - d) la prevención de los daños ocasionados por el calor.

Estos requisitos se satisfacen, en primer lugar, aplicando un enfoque graduado a los límites de contenido de los bultos y medios de transporte y a las normas funcionales relativas a los diseños de bultos en función del riesgo asociado con el contenido radiactivo. En segundo lugar, se satisfacen estableciendo requisitos relativos al diseño y utilización de los bultos y al mantenimiento de los embalajes, incluida la consideración de la índole del contenido radiactivo. Por último, se satisfacen aplicando controles administrativos, incluida, cuando proceda, la aprobación de las autoridades competentes.

En el transporte de materiales radiactivos, la seguridad de las personas, sean miembros del público o trabajadores, queda garantizada si se cumple la reglamentación correspondiente. La certeza a este respecto se logra aplicando programas de garantía de calidad y verificación del cumplimiento.

Los presentes requisitos se aplican a todas las modalidades de transporte por vía terrestre, acuática o aérea de materiales radiactivos, incluido el transporte incidentalmente asociado al uso de materiales radiactivos. El transporte abarca todas las operaciones y condiciones relacionadas con el traslado de materiales radiactivos e inherentes al mismo; comprenden el diseño, la fabricación, el mantenimiento y la reparación de embalajes, y la preparación, expedición, carga, acarreo, incluido almacenamiento en tránsito, descarga y recepción en el destino final de cargas de materiales radiactivos y bultos.

#### 11.2.1. RESPUESTA A EMERGENCIAS

En caso de accidentes o incidentes durante el transporte de materiales radiactivos, se observarán las disposiciones de emergencia establecidas por las entidades nacionales y/o internacionales pertinentes, con el fin de proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente.

En los procedimientos de emergencia se tendrá en cuenta la formación de otras sustancias peligrosas que pueda resultar de la reacción entre el contenido de una remesa y el medio ambiente en caso de accidente.

#### 11.2.2. GARANTÍA DE CALIDAD

Con el fin de asegurar el cumplimiento de las disposiciones pertinentes del Reglamento, se establecerán y aplicarán programas de garantía de calidad basados en las normas internacionales, nacionales o de otra índole aceptables para la autoridad competente respecto del diseño, la fabricación, el ensayo, la documentación, la utilización, el mantenimiento y la inspección de todos los materiales radiactivos en forma especial, materiales radiactivos de baja dispersión y bultos, así como de las operaciones de transporte y de almacenamiento en tránsito. Se mantendrá a disposición de la autoridad competente la certificación de que se han cumplido plenamente las especificaciones relativas al diseño. El fabricante, el remitente o el usuario deberán estar preparados para facilitar la inspección por la autoridad competente durante la fabricación y utilización y para demostrar a la correspondiente autoridad competente que:

---

a) los métodos y materiales utilizados para la fabricación se ajustan a las especificaciones aprobadas relativas al diseño; y

b) todos los embalajes se inspeccionan periódicamente y, en caso necesario, se reparan y mantienen en buenas condiciones, de modo que sigan ajustándose a todos los requisitos y especificaciones pertinentes, incluso después de un uso repetido.

#### 11.2.3. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO

Incumbe a la autoridad competente la responsabilidad de verificar el cumplimiento del Reglamento. La forma de cumplir con tal responsabilidad incluye el establecimiento y ejecución de un programa de control del diseño, la fabricación, los ensayos, la inspección y el mantenimiento de los embalajes, materiales radiactivos en forma especial y materiales radiactivos de baja dispersión, y la preparación, documentación, manipulación y estiba de bultos por los remitentes y transportistas, para disponer así de pruebas de que se cumplen en la práctica las disposiciones del Reglamento.

La autoridad competente adoptará disposiciones para que se efectúen evaluaciones periódicas de las dosis de radiación recibidas por las personas a causa del transporte de materiales radiactivos, a fin de cerciorarse de que el sistema de protección y seguridad cumple con las Normas básicas de seguridad

#### 11.2.4. INCUMPLIMIENTO

En caso de incumplimiento de cualquiera de los límites fijados en el Reglamento respecto del nivel de radiación o de la contaminación:

a) el remitente será informado del incumplimiento por:

- i) el transportista, si el incumplimiento se detecta durante el transporte; o
- ii) el destinatario, si el incumplimiento se detecta a la recepción;

b) el transportista, el remitente o el destinatario, según corresponda, deberá:

- i) adoptar medidas inmediatas para mitigar las consecuencias del incumplimiento;
- ii) investigar el incumplimiento y sus causas, circunstancias y consecuencias;
- iii) adoptar medidas adecuadas para eliminar las causas y circunstancias que dieron lugar al incumplimiento y para evitar que vuelvan a ocurrir circunstancias similares a las que lo provocaron; y
- iv) comunicar a las autoridades competentes las causas del incumplimiento y las medidas correctivas o preventivas que se han adoptado o que se adoptarán; y

c) la comunicación del incumplimiento al remitente y a las autoridades competentes, respectivamente, se hará lo antes posible, y será inmediata en todos los casos en que se haya producido o se esté produciendo una situación de exposición de emergencia.

#### 11.2.5. ARREGLOS ESPECIALES

Las remesas para las que no sea posible satisfacer los demás requisitos del Reglamento se transportarán exclusivamente en virtud de arreglos especiales. Siempre que la autoridad competente haya comprobado que no es posible satisfacer las demás disposiciones del Reglamento y se haya demostrado el cumplimiento de las normas obligatorias de seguridad establecidas por el Reglamento por medios distintos a las demás disposiciones, la autoridad



---

competente podrá aprobar arreglos especiales para operaciones de transporte de una remesa o de una serie planificada de remesas múltiples. El grado global de seguridad durante el transporte deberá equivaler, cuando menos, al que se alcanzaría de cumplirse todos los requisitos reglamentarios aplicables. Las remesas de este tipo requerirán aprobación multilateral.

#### 11.2.6. CAPACITACIÓN

Los trabajadores deberán recibir capacitación apropiada en relación con la protección radiológica, incluidas las precauciones que se hayan de observar para limitar su exposición y la de otras personas que pudieran resultar afectadas por las actividades que ellos realicen.

Las personas que intervienen en el transporte de materiales radiactivos recibirán capacitación en las disposiciones del Reglamento, en la medida que lo exijan sus responsabilidades.

Las personas que clasifican materiales radiactivos; embalan materiales radiactivos; marcan y etiquetan materiales radiactivos; preparan los documentos de transporte para materiales radiactivos; ofrecen o aceptan materiales radiactivos para el transporte; transportan materiales radiactivos o los manipulan durante el transporte; marcan o rotulan bultos de materiales radiactivos, o los cargan o descargan de vehículos de transporte, embalajes para graneles o contenedores, o que de otro modo intervienen directamente en el transporte de materiales radiactivos según lo determine la autoridad competente, recibirán la siguiente capacitación:

#### **11.3. RESPUESTA ANTE UNA EMERGENCIA**

Se adoptarán inmediatamente las medidas que determinan las instrucciones aportadas por el remitente de la expedición

Informar de la incidencia a los teléfonos de emergencia que se encuentran de forma visible en la cabina del vehículo.

Se indicará como mínimo la siguiente información:

Lugar y Cantidad de materia transportada y número UN

Duración prevista de la inmovilización (Si se puede estimar)

Cada expedición debe llevar de forma visible en la cabina del vehículo las instrucciones de emergencia en las que se especificarán:

Riesgos específicos de los materiales radiactivos transportados.

Medidas a tomar en caso de incendio especificando qué medios de extinción no deben emplearse.

Medidas a tomar en caso de rotura de bultos.

Cuidados que deban proporcionarse a las personas que entren en contacto con los materiales radiactivos.

Teléfonos de notificación de incidencias.

Las pautas generales a seguir serán:

Alejarse

---

Situarse respecto al contenido del vehículo, a sotavento.

Controlar el acceso de personas.

Esperar al personal especializado