

## CAPITULO 5

# **EL CONTROL DEL RIESGO RADIOLOGICO**

## **RADIACION EXTERNA**

### **Principios básicos de protección**

La protección radiológica práctica es un aspecto específico del control de los riesgos ambientales para la salud mediante medios técnicos. En la industria, el procedimiento usual, en el caso de tóxicos convencionales, es primero intentar la eliminación del riesgo, lo que se consigue, por ejemplo, sustituyendo un compuesto químico nocivo por otro que lo sea menos. Si la eliminación del riesgo no es posible se intenta entonces confinarlo. Esto es, limitar su acción a un lugar concreto, con lo que se consigue aislar al riesgo del ser humano. Si no se puede conseguir ninguna de las soluciones anteriores, el riesgo puede ser evitado normalmente aislando al individuo.

La manera exacta de aplicación de estos principios a la Protección Radiológica dependerá de cada situación particular. En Protección Radiológica práctica es conveniente diferenciar entre los distintos tipos de riesgos y para ello distinguiremos la protección contra la irradiación externa y la protección contra la contaminación personal resultante de la radiactividad inhalada, ingerida o transmitida táctilmente.

### **Técnicas de minimización de dosis**

La radiación externa se origina en los aparatos de rayos X u otros aparatos generadores de radiaciones ionizantes, en aparatos cuya producción de rayos X es un efecto colateral, como sucede en el microscopio electrónico y en la procedente de los radionucleidos.

Si no es posible alejar la fuente de radiación, entonces la exposición de las personas a la irradiación externa puede ser controlada mediante la aplicación conjunta de una o más de las técnicas siguientes:

- Minimización del tiempo de exposición.
- Maximización de la distancia a la fuente de radiación
- Blindaje de la fuente de radiación.
- *El tiempo (figura 46)*

Aunque muchos efectos biológicos de la radiación dependen de la tasa de dosis, puede suponerse, para fines de control del riesgo, que se cumple la relación siguiente:

$$\text{Tasa de dosis} \times \text{Tiempo de exposición} = \text{Dosis total}$$

Para valores dentro de dos órdenes de magnitud de los límites anuales de dosis no tenemos datos, ni teóricos ni experimentales que contradigan esta relación. Entonces, si un trabajador debe realizar su trabajo en un campo de radiación relativamente alto, tal como en la reparación de un ciclotrón que ha sido activado por absorción de neutrones, o en la manipulación de una fuente radiográfica para realizar un trabajo complejo, el método utilizado será la restricción del tiempo de exposición, de modo que el producto de la tasa de dosis y el tiempo de exposición no exceda de un valor admisible, para esos tipos de trabajos y de acuerdo con los criterios de seguridad radiológica. Por ejemplo, en el caso de un radiólogo que debe realizar su trabajo cinco días a la semana en un campo de radiación de 0,25 mSv/h (25 mrem/h), puede

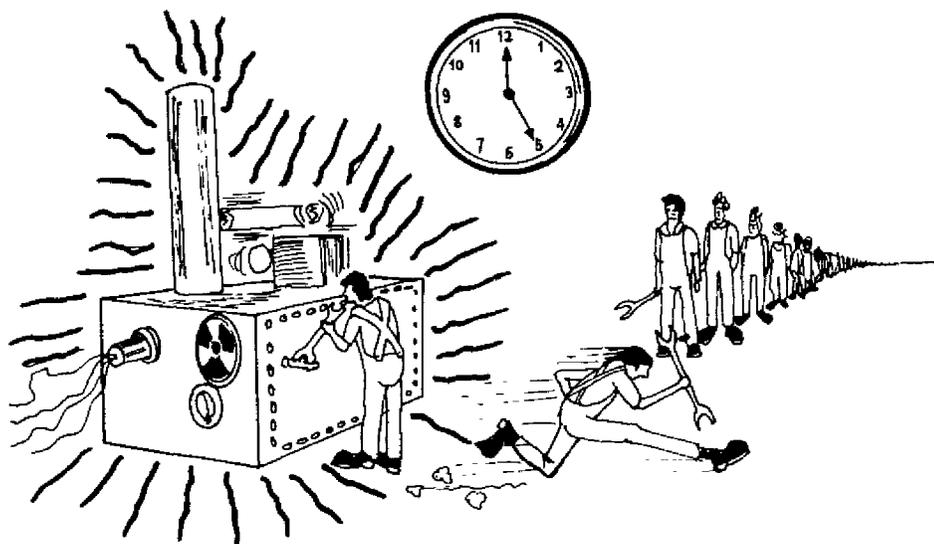


FIGURA 46

prevenirse la sobreexposición limitando su tiempo diario de trabajo en el campo de radiación a cuarenta y ocho minutos, con lo que su dosis diaria sería únicamente de 0,2 mSv (20 mrem) Si el volumen de trabajo hiciera necesaria una exposición más larga, entonces sería necesario que, o bien otro radiólogo participara en ese trabajo, o bien la operación debería ser rediseñada con el fin de disminuir la intensidad del campo de radiación en el que el radiólogo debería trabajar (p. ej utilizando un sistema de colimación).

– *Distancia (figura 47)*

Intuitivamente, es claro que la exposición a la radiación decrece conforme aumenta la distancia a la fuente de la radiación. De forma más rigurosa, es evidente que el flujo de partículas que proceden de una fuente que atraviese una superficie normal, disminuye con la distancia, al ser menor el ángulo sólido subtendido por dicha superficie. Cuando esto lo convertimos en una relación cuantitativa, este hecho se convierte en una poderosa herramienta para la protección radiológica.

El caso más sencillo es aquel en el que la fuente es puntual e isótropa (emite uniformemente en todas direcciones) y la absorción entre la fuente y el punto considerado se puede despreciar. Una fuente se considera puntual cuando sus dimensiones son muy inferiores a la distancia de la fuente al individuo situado en un campo de radiación. En este caso la dosis es función inversa del cuadrado de esta distancia a la fuente.

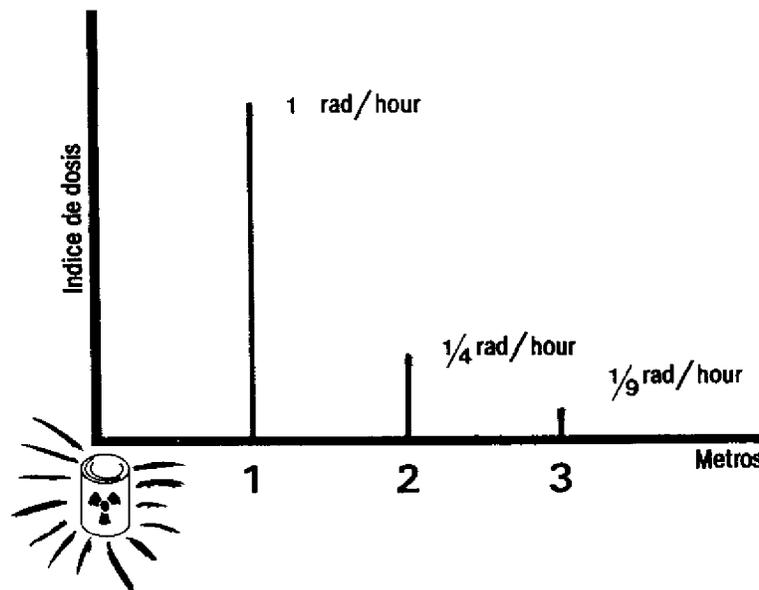


FIGURA 47

– El blindaje (figura 48).

La interposición entre la fuente de radiación y los seres humanos de un espesor de material que atenúe la intensidad de aquélla constituye un BLINDAJE. La existencia de blindajes es indispensable cuando las fuentes son muy activas o el tiempo de exposición es prolongado.

La elección de un blindaje debe hacerse de acuerdo con el tipo y energía de la radiación considerada:

\* El blindaje de la radiación alfa no tiene ningún problema presentando una peligrosidad escasa o nula, de tal modo que la práctica totalidad de ésta puede detenerse con una simple hoja de papel.

\* El blindaje de la radiación beta es más dificultoso que el de las partículas alfa pero no obstante la mayoría de estas partículas se detienen con unos milímetros de aluminio o de metacrilato. El uso de materiales pesados para blindaje de emisores beta muy energéticos no es recomendable ya que se producen rayos X al ser frenadas estas partículas por los núcleos pesados.

\* El blindaje de los rayos X y gamma sigue, en el caso más sencillo, una ley de atenuación exponencial de modo que la relación entre la dosis recibida con blindaje D, y la recibida sin él,  $D_0$ , viene dado por la expresión:

$$D = D_0 e^{-\mu x}$$

siendo  $\mu$  el coeficiente de atenuación lineal y x el espesor del blindaje interpuesto.

Suele utilizarse, con fines prácticos, un parámetro muy útil llamado espesor de semirreducción. Se denomina espesor de semirreducción (ESR) al que, interpuesto entre la fuente y el punto de observación, reduce la dosis a la mitad.

## PENETRACION

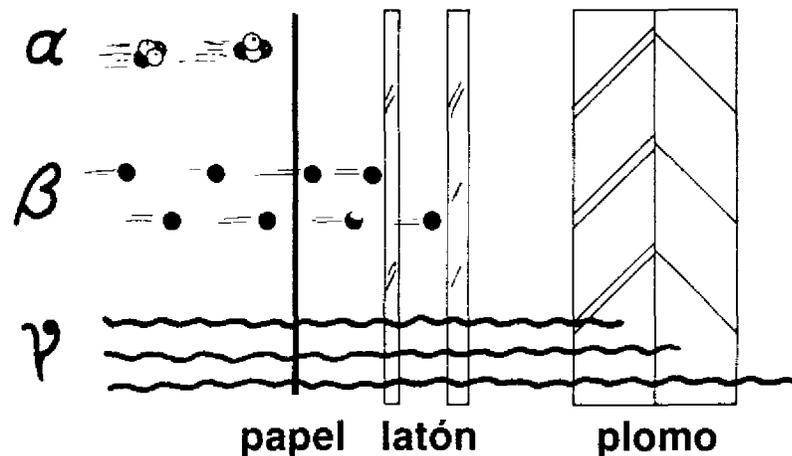


FIGURA 48

$$D = D_0/2$$

luego.

$$1/2 = e^{-\mu \text{ESR}}$$

con lo que:

$$\text{ESR} = \frac{0.693}{\mu}$$

La variación de la dosis recibida en función del número de espesores de semirreducción se representa en la figura 49.

Antes de dar por concluido este apartado quisiéramos hacer notar algún detalle de interés, como que la geometría del blindaje es un factor muy importante. Lo que se quiere afirmar con ello es que el blindaje debe estar lo más próximo posible a la fuente radiactiva y que cuando se diseñe un blindaje deberán tenerse en cuenta los efectos de la radiación dispersa (figura 50).

## **CONTAMINACION EXTERNA E INTERNA**

### **Contaminación externa**

Podemos decir que una persona está contaminada externamente cuando sobre su piel se detecta material radiactivo depositado.

Generalmente este material radiactivo acompaña a suciedades tales como grasas, polvo, etc

Por ello, es muy importante tomar algunas medidas de precaución cuando se tienen noticias de la posibilidad de existencia de alguna zona contaminada como:

- Cubrirse de ropa de pies a cabeza (no es necesaria una ropa muy especial: monos de trabajo, guantes de goma u otro material y calzado de goma puede servir).
- No pisar los charcos y evitar mojar la ropa.
- Evitar tocarse con las manos zonas que no estén cubiertas, por ejemplo: cara, nariz, ojos, cabello, oídos, etc.

Las partes del cuerpo que la experiencia demuestra que se contaminan más frecuentemente son. manos, pies, cabello y oídos por este orden.

#### *- Riesgos de la contaminación externa*

Los daños que se pueden derivar de mantener sobre la piel una contaminación externa pueden ser importantes dependiendo de las radiaciones que se emitan y de su cuantía.

Si por el contrario no se mantuviera esta contaminación eliminándola en breve plazo, realmente no se puede hablar de daños.

Para anular los riesgos derivados de una contaminación externa, se deben seguir las recomendaciones antes citadas y además:

\* Pasar cuantos controles se señalen para una pronta detección de una posible contaminación, con lo que se evitará, a su vez, la posibilidad de una contaminación interna, la posibilidad de contaminar a otras personas y se conseguirá contener la contaminación dentro de las zonas limitadas

\* En el caso de que se detecte una contaminación, descontaminarse rápidamente, solicitando la ayuda del personal adecuado.

– *Descontaminación*

La descontaminación, como hemos dicho, la debe realizar personal preparado. Esto es debido a que, si lo hiciese el propio individuo, podría dispersarse la contaminación a lugares limpios, con el consiguiente riesgo para la propia persona y para los demás.

La contaminación externa, en general, es fácil de eliminar; sólo es necesario agua y jabón para que desaparezca.

En ocasiones, resulta más complicado, principalmente si la persona suda mucho, ya que al enfriarse se cierran los poros de la piel, confinando la contaminación y son necesarias duchas con agua templada, para que se vuelvan a abrir los poros y frotar con una esponja suavemente la piel, puesto que al hacerlo de una forma brusca puede dar lugar a irritaciones y descarnamiento, con la consiguiente probabilidad de una contaminación interna por entrada de material radiactivo a través de esa herida. Existen medios más activos que sólo podrán emplearse bajo supervisión médica

### **Contaminación interna. Vías de incorporación en el organismo humano**

Se dice que una persona se ha contaminado internamente, cuando han penetrado materiales radiactivos en el interior de su cuerpo.

Los elementos radiactivos pueden penetrar en el cuerpo a través de tres vías diferentes

- Inhalación (respiración de aire contaminado)
- Ingestión (comida o bebida de alimentos contaminados).
- Absorción a través de la piel o heridas.

La vía más común de deposición interna de materiales radiactivos es la inhalación. Inicialmente, el material radiactivo se depositará en las primeras regiones del aparato respiratorio. De modo que la medida significativa de radiactividad en un frotis nasal será indicativo de que hay contaminación interna.

El medio específico de prevenir dichas entradas es usar equipos de protección respiratoria tales como máscaras con filtro o equipos de suministro de aire; a falta de tales medios y en caso de emergencia, como el que nos ocupa, pueden utilizarse pañuelos y bufandas, mascarillas antipolvo o cualquier medio que proteja las vías respiratorias

La ingestión de materiales radiactivos es posible que ocurra cuando se permite comer, beber o fumar en zonas donde presumiblemente puede haber con-

taminación ambiental, o que ocurra cuando hay alguna parte contaminada de la persona, aunque vaya con medios de protección (por ejemplo, tocarse la boca con los guantes o la manga, estando contaminados). Por esta razón, está prohibido comer, beber y fumar en zonas con riesgo de contaminación (presencia de material radiactivo).

Los alimentos y aguas de bebida contaminadas pueden constituir un riesgo significativo, sobre todo en aquellos casos en que la dieta procede básicamente de productos propios de la zona contaminada. En dichas circunstancias, medidas tales como el uso de bebidas y alimentos de origen externo a la zona, pueden disminuir el riesgo de contaminación interna.

A la salida de áreas de posible contaminación radiactiva, se realizarán reconocimientos al personal mediante aparatos de detección, para controlar la dispersión de la contaminación personal (cuando sea necesario), y evitar que el material se ingiera

La absorción a través de la piel es posible que ocurra, principalmente cuando se trabaja con contaminaciones de tipo húmedo (por ejemplo, trabajando con agua contaminada en contacto con la piel). Algunos isótopos radiactivos, tales como el yodo y el tritio, pueden ser absorbidos fácilmente a través de la piel. Otros isótopos pueden ser absorbidos a través de cortes o heridas.

Para este tipo de contaminación húmeda, es necesario el uso de trajes y guantes impermeables.

La impermeabilización de heridas y cortes, también reducirá la posibilidad de contaminación interna.

A los pequeños cortes y heridas producidos durante el trabajo, debe permitirseles sangrar, limpiarlos cuidadosamente y reconocerlos apropiadamente.

Los casos de contaminación personal, deben tratarse inmediatamente. La cantidad de radiactividad que penetra en el cuerpo está directamente relacionada con el tiempo en que la piel está contaminada.

Lo anteriormente referido para las personas tiene implicaciones en el uso de alimentos potencialmente contaminados, de aquí que, en ciertos casos, sea aconsejable tomar medidas restrictivas o prohibitivas en los usos de aguas y alimentos procedentes de zonas potencialmente contaminadas.

En el caso de contaminación de suelos y aguas de zonas agrícola-ganaderas los animales pueden resultar contaminados internamente si ingieren alimentos contaminados o respiran aire contaminado. Las medidas de estabulación obligatoria, control de alimentación junto con el suministro de aguas y alimentos procedentes de zonas no contaminadas o en último caso la evacuación de los mismos pueden llegar a ser las más indicadas. La descontaminación de los animales se realiza con métodos análogos a los usados para los seres humanos (ej. lavados).

### **Comportamiento de los materiales radiactivos dentro del cuerpo.**

Una vez producida la contaminación interna en el organismo humano, los

materiales radiactivos depositados en él se comportan de diferentes formas hasta llegar a su eliminación dependiendo de sus características (solubilidad e insolubilidad) (figura 51).

Así, el material radiactivo depositado en las vías respiratorias superiores (nariz, garganta y bronquios) se elimina rápidamente de esta zona en un intervalo de tiempo del orden de horas. Este material es transferido a la garganta por las mucosidades e inadvertidamente tragado. Esta actividad pasa al aparato gastrointestinal, aproximadamente veinticuatro horas después de la inhalación. La actividad que llega a los pulmones, se elimina por transferencia a la sangre o al sistema gastrointestinal o al sistema linfático, dependiendo de las características del material radiactivo (si es soluble o insoluble)

La radiactividad que entra al aparato gastrointestinal, bien por ingestión o por transferencia del sistema respiratorio, pasa a través del estómago, intestino delgado e intestino grueso y se elimina del cuerpo como residuo sólido por las heces fecales. Esto requiere aproximadamente dos días.

El material soluble puede ser absorbido en el intestino delgado por el flujo sanguíneo, mientras que el insoluble pasará a través de él, siguiendo el mismo proceso que en el apartado anterior.

El material radiactivo que alcanza el flujo sanguíneo, se desplaza con la sangre por todo el cuerpo y se va depositando en aquellos órganos que tengan afinidad por dicho material. Estos órganos se denominan órganos críticos. Así, por ejemplo, el Iodo-131 es un isótopo radiactivo que tiene afinidad por el tiroides. El tritio H-3 tiene afinidad por todo el cuerpo y se distribuye en él uniformemente

### **Eliminación de materiales radiactivos del cuerpo**

Los materiales radiactivos se eliminan del cuerpo por varios procesos biológicos como son.

- La radiactividad insoluble que pasa a través del aparato gastrointestinal se elimina con los residuos sólidos (heces fecales).
- La radiactividad soluble es eliminada del flujo sanguíneo por el riñón y, finalmente, expulsada del cuerpo humano mediante la orina.
- También se elimina por transpiración la radiactividad soluble, junto con el sudor.
- Por exhalación, sale la radiactividad gaseosa a través del sistema respiratorio.

Como conclusión, podemos decir que la eliminación de la radiactividad interna se realiza mediante los procesos biológicos anteriormente citados y por la propia desintegración radiactiva (figura 52).

Nace como consecuencia de esto, un nuevo concepto designado como período efectivo, y que se define como el tiempo necesario para que la actividad depositada en el cuerpo se reduzca a la mitad. Este período efectivo depen-

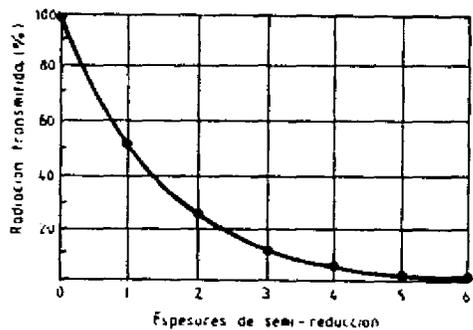


FIGURA 49.

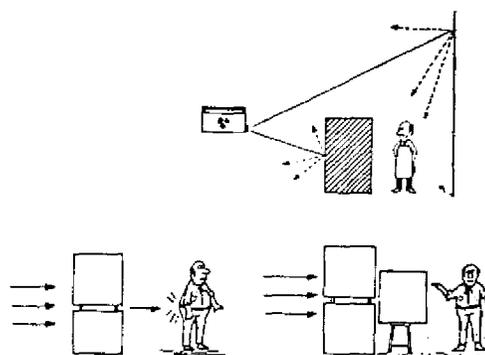


FIGURA 50.

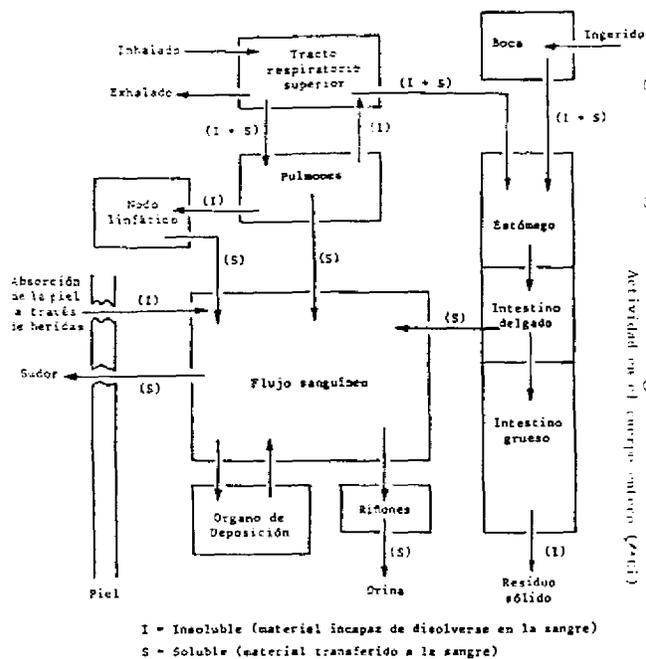
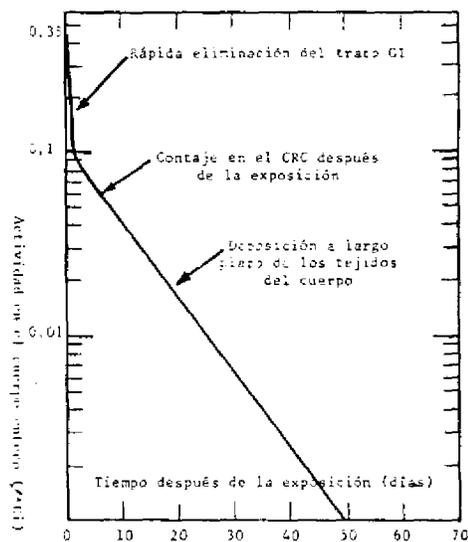


FIGURA 51.



RETENCION DE ACTIVIDAD EN EL CUERPO DEBIDO A UNA INCORPORACION UNICA

FIGURA 52.

de, en esta ocasión, de dos factores que son la desintegración radiactiva propiamente dicha y la eliminación biológica, ya que el cuerpo humano tarda más o menos en eliminar cada isótopo radiactivo.

### **Determinación de la actividad en el cuerpo**

Para el cálculo de la radiactividad interna del personal, en caso de una contaminación, se utilizan dos técnicas:

- Contador de radiactividad corporal, equipo que mide directamente la actividad en parte del cuerpo o en su totalidad con un sistema de detección de radiación gamma.
- Análisis de orina. El personal proporcionará muestras de orina en las que se miden los elementos emisores gamma y la actividad alfa y beta total.

El contador de radiactividad corporal es la técnica más sensible y conveniente. Ahora bien, presenta una serie de inconvenientes, como son

- a) El C. R. C. es sensible únicamente a radionucleidos emisores gamma. Por tanto, no detecta actividad alfa y beta.
- b) El C. R. C. no puede distinguir, normalmente, entre actividad soluble e insoluble. En resumidas cuentas, no sabemos si el material radiactivo se encuentra en el aparato gastrointestinal o disuelto en el flujo sanguíneo.

Sucesivas medidas en el contador de radiactividad corporal, nos darán una idea del ritmo de eliminación biológico del cuerpo.

Estas medidas proporcionan una pista de la situación de la actividad y pueden usarse para calcular la dosis de radiación recibida por causa de la contaminación interna

Los análisis de las muestras de orina son un complemento del C. R. C. para el estudio de una contaminación interna.

En las muestras de orina pueden medirse todos los tipos de radiación. De aquí que la actividad beta y alfa pura, puedan determinarse mediante el análisis de orina.

Por otro lado, los análisis de orina reflejan la actividad que corre por el flujo sanguíneo, que es la actividad soluble, y con las medidas correspondientes tomadas en el C. R. C. permiten tener una idea más clara de cuál es la distribución de la radiactividad en el organismo.

### **Conclusiones**

Como conclusiones podemos decir que, el factor fundamental para valorar el daño que pudiera ser recibido como consecuencia de una contaminación corporal, es el tiempo de permanencia.

En el caso de contaminación interna, además de este tiempo de permanencia, hay que tener en cuenta otros factores como son la cantidad de actividad absorbida, la forma de emisión de los isótopos radiactivos contaminantes, ya

que no es lo mismo radiación alfa, que beta o gamma y, por último, la distribución de la actividad en el cuerpo.

## **CONTAMINACION DEL AIRE**

La radiactividad transportada por el aire, puede estar en forma de partículas (soportadas por partículas de polvo), radioyodos (generalmente I-131) o actividad gaseosa (gases nobles radiactivos; normalmente Kriptón y Xenón).

La radiactividad en el aire puede aparecer por

1. Fugas de radiactividad: gases o vapores.
2. Trabajos sobre materiales contaminados
3. Remoción de la contaminación desprendida de suelos.

Otras condiciones físicas que pueden afectar a las concentraciones en aire son:

1. Temperatura: Mayores temperaturas en el agua contaminada con radioyodos, pueden causar un aumento en la concentración de radioyodo en el aire.
2. Ventilación: Una ventilación pobre puede causar una concentración mayor de la actividad en el aire, especialmente en áreas cerradas.

### *– Vigilancia ambiental*

En cualquier situación en que se presuma la existencia de contaminación ambiental, periódicamente se tomarán muestras de aire y se medirá la contaminación presente. De esta forma, se vigilan las condiciones ambientales.

Además de estas vigilancias programadas, se realizan tomas de muestras adicionales, si se tiene noticia de alguna variación significativa (p. ej. un aumento en la tasa de escape radiactivo), para vigilar, en todo momento, las condiciones ambientales.

La vigilancia de la contaminación ambiental se realiza mediante:

- \* Detectores especiales para gases nobles: Xe, Rn
- \* Tomadores de muestras para partículas, con filtros de partículas (bombas aspirantes de aire)
- \* Tomadores de muestras para radioyodos, con filtros de carbono activado (bombas aspirantes de aire).

En los dos últimos casos se utilizan detectores adicionales tales como contadores o espectrómetros.

## **CONTAMINACION SUPERFICIAL**

Los materiales radiactivos se depositan en las superficies de equipos, paredes, suelos, tuberías, etc. mezclándose con el polvo y la grasa, formando la contaminación superficial.

Esta contaminación puede estar presente en algunas zonas de una manera

más intensa, por esta razón es preciso vestirse con buzos, gorros, guantes y chanclos para entrar en ellas

La ropa de protección impide que esa contaminación se ponga en contacto con la piel. Al mismo tiempo se evita esparcer la contaminación de las zonas que la poseen a las que no la tienen. Pero no disminuye, si lo hubiere, el riesgo de irradiación externa.

La contaminación superficial se vigila como la contaminación ambiental (con una vigilancia programada y otra más puntual adicional).

Las personas que salen de zona controlada deben pasar por un control de contaminación para ver si tienen algo de contaminación superficial

Los equipos (materiales, vehículos, etc ) deberán ser medidos con un detector para determinar si están o no contaminados.

La detección de contaminación superficial se realiza bien de forma directa, mediante detectores apropiados (detectores de ventana más o menos fina) o mediante frotis y medida del frotis (ver figura 54).

## **CONTAMINACION DE AGUAS Y ALIMENTOS**

En caso de que se sospeche la posible contaminación de agua y alimentos, de consumo humano y/o animal, deberán tomarse muestras en cantidades suficientes para permitir la medida correcta de la radiactividad en los mismos. Tales muestras deben abarcar tanto aguas superficiales como subterráneas y todos los alimentos de los que se sospeche su contaminación.

La contaminación superficial de aguas y alimentos puede ser detectada utilizando métodos de medida como los citados en el apartado anterior.

Las muestras recogidas deben mandarse rápidamente a laboratorios suficientemente dotados que permitan un análisis rápido de las mismas.

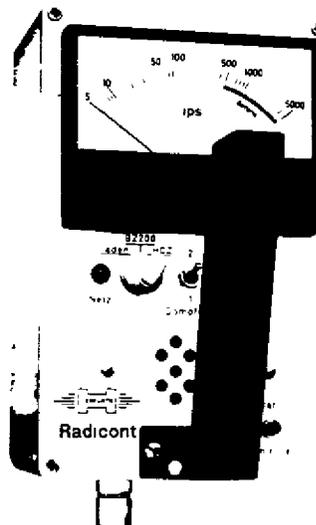


FIGURA 54