Guía operativa

PROPUESTAS OPERATIVAS EN INTERVENCIONES CON PRESENCIA DE MATERIAL RADIACTIVO

PRÓLOGO

Después de muchos años trabajando en esta temática, debates, cursos de formación, discusiones en foros y atendiendo siniestros donde está presente el riesgo radiológico, los autores se han decidido a plasmar en un documento escrito algo que desde hace años es una demanda en el mundo de los bomberos y que, en más de una ocasión, ha servido de eje central para la elaboración de programas de formación con los autores y algún compañero que, aunque no esté ya con nosotros, si marcó el inicio en esta andadura de los riesgos tecnológicos y que a buen seguro estaría muy orgulloso de poder leer esta Guía Operativa.

Hace años que conozco a los autores y siempre han mostrado un gran interés por la formación y la transmisión de conocimientos de los riesgos tecnológicos en el ámbito de los Servicio de Emergencia; por ello, y dentro del marco de los Workshop de Riesgos Tecnológicos que se vienen realizando desde algunos años, se creó el GT de Riesgos Radiológicos cuyo trabajo fundamental se ha centrado en el desarrollo de esta Guía Operativa.

A pesar de que la Guía contempla todos los aspectos esenciales para los primeros intervinientes que se enfrenta a un riesgo radiológico, ésta se encuentra dividida en tres grandes bloques. Primeramente, se abordan los conocimientos técnicos necesarios para poder entender determinados aspectos que se tratan a lo largo de la Guía y que sin ellos no podrían entenderse determinadas actuaciones. El bloque central pretende explicar la necesidad de elaboración de esta Guía para los Servicios de Emergencia, a la vez que se propone un procedimiento operativo de actuación que comprende diferentes fases durante este tipo de intervenciones. Finalmente, un apartado dedicado a la presentación de diversos supuestos prácticos sobre los cuales se plantean una posible forma de abordarlos, según el procedimiento propuesto, hasta que llegue personal más especializado.

Esta Guía no tiene que entenderse como un punto final del GT, sino como un punto de partida para desarrollar procedimientos de actuación frente al riesgo radiológico y que puedan ser implantados en cualquier Servicio de Emergencia independientemente de su ubicación o tamaño, porque, como se dice al inicio de esta Guía, “La radiación está en todas partes”.

Hay que dar las gracias a los autores por el enorme trabajo, tiempo, esfuerzo y nivel de detalle técnico que ha dedicado a la elaboración de esta Guía Operativa que estoy seguro será de gran utilidad y que, muchos bomberos, policías, sanitarios y en general primeros intervinientes, vamos a sacar partida de ella.

Miguel Albaladejo Pomares

Oficial Jefe de Servicio de Bomberos de Leganés

BY NC SA

Autores

Enrique Martínez Pavón	Bomberos Ciudad de Madrid	© 2018
Jorge González Cartagena	Bomberos Ciudad de Madrid	
Mario Martínez Cámara	Bomberos Ciudad de Madrid	
Francisco Velamazán Cabrero	C.P.E.I.S. Toledo	

Agradecimientos:

A todos los grupos de trabajo por sus opiniones.

Componentes del GT 5

Miguel Berlanga Velasco	Organización Europea para la investigación Nuclear
Xavier Sabate Valle	Bomberos de la Generalitat de Catalunya
Enric Pous	Bomberos de la Generalitat de Catalunya
Héctor Carmona	SPEIS Ajuntament de Barcelona

Coordinadores de los GT

Antonio Cabeza	SPEIS Ajuntament de Barcelona
Xabier Sabaté Vallé	Bomberos de la Generalitat de Catalunya
Enrique Martínez Pavón	Bomberos Ciudad de Madrid
José María Gil Gutiérrez	S.E.I.S. de la Diputación Foral de BizKaia
Javier Elorza Gómez	S.E.I.S. de la Diputación Foral de BizKaia
José Miguel Baset	S.E.I.S. Consorcio Provincial de Valencia
Manuel Alonso Herrería	S.E.I.S. Consorcio Provincial de Valencia
Juan Manuel Bonilla	Bomberos de Murcia
Miguel Albadalejo Pomares	Bomberos de Leganés

Por su colaboración:

C.E.I.S. Región de Murcia
Bomberos de Murcia
Bomberos Ciudad de Madrid
Bomberos Comunidad de Madrid
Consorcio Provincial de Bomberos de la Generalitat Valenciana
Bomberos de la Generalitat de Catalunya
Bomberos Ciudad de Barcelona
S.E.I.S. de la Diputación Foral de BizKaia
Bomberos de Leganés
C.P.E.I.S Toledo

BY NC SA

OBJETIVOS DE LA GUÍA

El objetivo de la presente “propuesta de guía operativa” es impulsar la unificación y porque no homologación por parte de las autoridades correspondientes de procedimientos específicos desde la visión de los servicios de emergencia, especialmente en la Primera Respuesta que es la que más nos ocupa y preocupa, en aquellas intervenciones con presencia de material radiactivo , a fin de mejorar la coordinación e interfases entre diferentes servicios de emergencia, administraciones e incluso Estados, de cara a afrontar lo que esperamos nunca suceda.

El apoyo de los Planes Regionales de Riesgo Radiológico, o por lo menos lo que supone su creación para las comunidades que los han desarrollado, y los documentos del CSN en los que se apoyan como marco legal, han de implantarse por medio de procedimientos reglados y únicos, y es ese enlace donde hemos puesto mayor hincapié, a fin de poder llegar a todos los escalafones, poder implantarlos y desarrollarlos.

La interacción, respeto mutuo y colaboración entre técnicos y servicios de emergencias es también fundamental para lograr los objetivos.

El Plan Estatal de Riesgo Radiológico recoge también está intención de coordinación entre administraciones, la creación de listados, datos de materiales y personal que pueda ayudar y afrontar en caso necesario.

Este es un buen principio, puesto que en la elaboración de esta guía y en los workshops en los que se desarrollan, hemos conseguido un grupo de profesionales de las emergencias de diferentes regiones y provincias crear un foro de trabajo con un claro objetivo de aprender, compartir y aportar.

Esta propuesta de guía queda absolutamente abierta a las aportaciones, opiniones, consejos y experiencias que quieran aportar sus lectores, porque como todo buen documento operativo, ha de ser sometido a revisiones, actualizaciones y mejoras a fin de no dejarla obsoleta en pocos años y más con la revolución tecnológica a la que pertenece el mundo Radiológico.

Por nuestra parte, mostrar también nuestras fuentes de estudio e investigación para poder dar mayor validez a nuestro trabajo y dar referencias a todos aquellos que estén interesados en aprender, leer y aportar en este campo tan apasionante.

Agradecer el nacimiento de estos Workshop a sus fundadores e ideólogos, y en especial a este GT 5 de Riesgos Radiológicos que fue fundado por D. Enric Pous (Bombers Generalitat), D. Héctor Carmona (Bombers Barcelona), D. Francisco Velamazan (CPEIS Toledo) y D. Andrés Vieitez (Bomberos Comunidad de Madrid).

BY NC SA

GUÍA OPERATIVA

PROPUESTAS OPERATIVAS EN INTERVENCIONES CON PRESENCIA DE MATERIAL RADIACTIVO

ÍNDICE

1. CONCEPTOS BÁSICOS.
   - 1.1. La radiación está en todas partes.
   - 1.2. ¿Cómo detectar la radiación?.
   - 1.3. ¿Cómo afecta a nuestro cuerpo la radiación ionizante?.
   - 1.4. Aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes.
   - 1.5. Aplicaciones de las radiaciones ionizantes en industria e investigación.
   - 1.6. Radiación ionizante en la vida diaria.
   - 1.7. Radiación ionizante natural.
   - 1.8. Radiación ionizante artificial.
   - 1.9. La radiación ionizante y sus efectos biológicos.
   - 1.10. ¿Qué efectos produce la radiación ionizante?.
   - 1.11. Protección contra la radiación ionizante.
   - 1.12. Los residuos radiactivos.
2. INTERVENCIONES PARA PERSONAL DE EMERGIA EN PRESENCIA DE MATERIAL RADIACTVO.
   - 2.1. Introducción.
   - 2.2. Fases de una intervención, niveles formativos.
   - 2.3. Primera Fase.
     - 2.3.1. Primera Respuesta operativa.
       - 2. 3.1.1. Guía de acciones..
       - 2. 3.1.2. Ficha 1ª respuesta..
       - 2. 3.1.3. Puntos confinamiento y control contaminación.
       - 2. 3.1.4. Materiales en 1ª respuesta.
       - 2. 3.1.5. Acciones mitigación en zona caliente.
       - 2. 3.1.6. Objetivos formativos en primera respuesta operativa.
   - 2.4. Segunda Fase.
     - 2.4.1. Objetivos formativos.

CC BY NC SA

3. ESCENARIO: INCIDENTE EN VÍA PÚBLICA CON PRESENCIA DE UNA FUENTE RADIACTIVA.
   - 3.1. Procedimiento de actuación.
   - 3.2. Explicación del incidente en vía pública.
   - 3.3. 1ª Respuesta.
   - 3.4. 2ª Respuesta.
   - 3.5. 3ª Respuesta.
4. ESCENARIO: ACCIDENTE DE TRÁFICO CON VÍCTIMAS Y PRESENCIA DE UNA FUENTE RADIACTIVA.
   - 4.1. 1ª Respuesta.
   - 4.2. 2ª Respuesta.
   - 4.3. 3ª Respuesta.
5. ESCENARIO: INCENDIO EN HOSPITAL EN ZONA DE MEDICINA NUCLEAR.
   - 5.1. Explicación del incidente.
   - 5.2. Reconocimiento.
   - 5.3. Análisis de riesgos.
   - 5.4. Acceso al lugar del accidente.
   - 5.5. Protección frente a los riesgos asociados.
   - 5.6. Normas de evacuación.
   - 5.7. Normas de actuación posterior.
   - 5.8. Actuación en caso de inundación.
   - 5.9. Consideraciones a tener en cuenta en un incendio con riesgo de contaminación / radiación ionizante.
   - 5.10. Procedimiento de desvestido.
6. ANEXOS
   - Anexo 1. Limitación de áreas.
   - Anexo 2. Categorías de bultos, señalización y etiquetado.
   - Anexo 3. Hojas de control de las acciones a seguir.
   - Anexo 4. Equipos de protección radiológica.
7. GLOSARIO DE TÉRMINOS.
8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.

BY NC SA

1

CONCEPTOS BÁSICOS PREVIOS

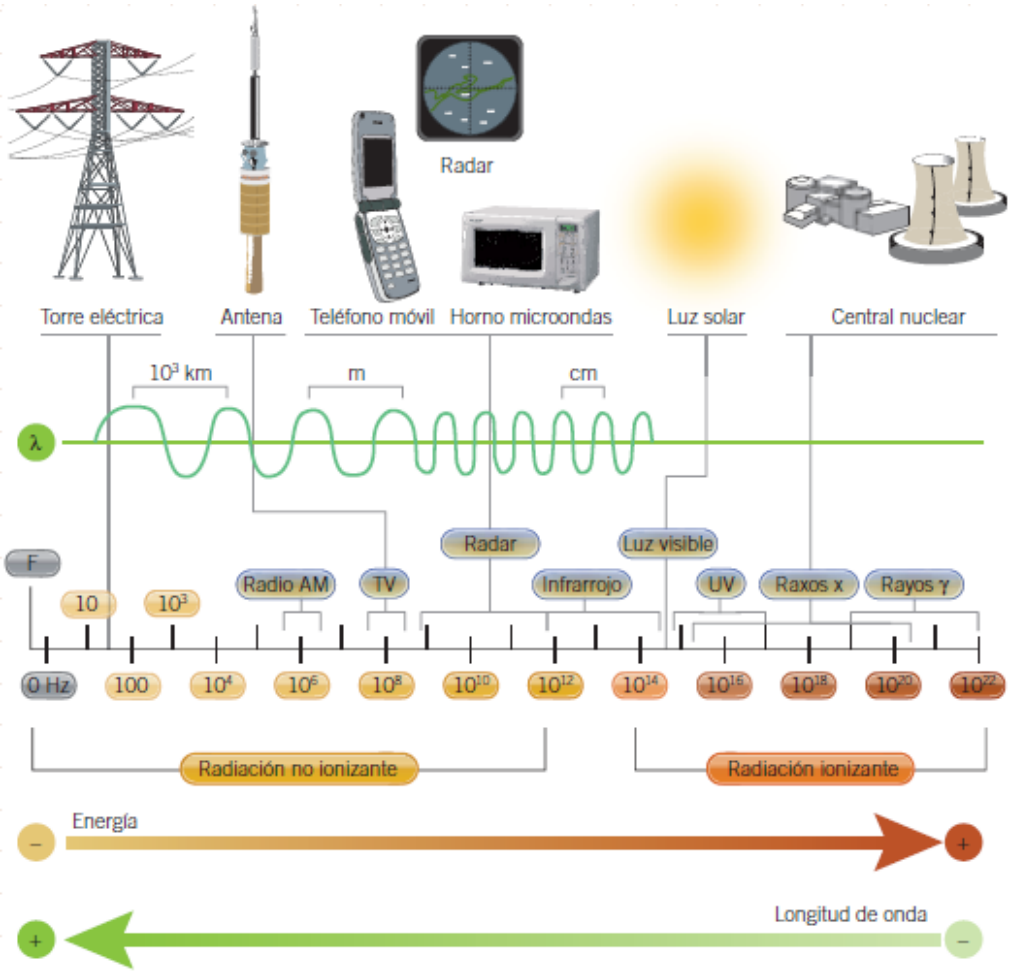
1.1. LA RADIACIÓN ESTÁ EN TODAS PARTES

Seguramente habéis oído o leído, tal vez en los medios de comunicación, cosas sobre la radiación. La radiación está presente en todas partes, sea cual sea el lugar en el que nos hallemos. Los seres vivos conviven con las radiaciones desde sus orígenes; sin la radiación del Sol no habría existido vida en la Tierra y sin la radiación infrarroja no podríamos calentarnos.

Además de estas fuentes naturales de radiación, el ser humano ha sido capaz de desarrollar distintos aparatos que se basan o utilizan las radiaciones. Utilizamos la radiación cuando escuchamos la radio, hablamos por el móvil, calentamos el desayuno en el microondas, tostamos el pan o cuando nos hacen una radiografía para diagnosticar la rotura de un hueso.

1.1.1. ¿Qué es la radiación?

La radiación es la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas.



El espectro de frecuencias

BY NC SA

1.1.2. La radiación no ionizante

Dentro de las radiaciones no ionizantes producidas por el ser humano encontramos algunas con muchas aplicaciones en nuestra vida cotidiana. A continuación, se describen las cuatro grandes regiones del espectro en las que se dividen estas radiaciones, comenzando por las menos energéticas:

a) En el grupo de las ondas de frecuencia menor que las ondas de radio están las producidas por las redes de alta tensión, los electrodomésticos, los aparatos de resonancia magnética nuclear utilizados en medicina o las placas de cocina de inducción.

b) En la zona de la radiofrecuencia, se sitúan las ondas con las que se transmiten las señales de radar, de radio, de televisión o de los aparatos domésticos.
Las ondas de radio son ondas electromagnéticas generadas artificialmente mediante un circuito oscilante. Tienen una amplia aplicación en las comunicaciones. Las ondas de radio de menor longitud de onda son usadas en la transmisión de señales de televisión, las de onda larga son usadas en las trasmisiones radiofónicas. Las de longitud de onda media, que son menos reflejadas en la ionosfera (es una capa de la atmósfera) y recorren distancias más cortas, son utilizadas por el sistema de telefonía móvil.

Para aumentar la cobertura, estas señales se envían a antenas repetidoras, que a su vez las reenvían a otras antenas.

Para determinar la dirección en que se encuentra el objeto se utilizan antenas parabólicas, que tienen la capacidad de recibir sólo impulsos que corresponden a un ángulo específico de dirección.

El radar es un dispositivo de localización de objetos. Se basa en la medición del tiempo que tarda en volver, una vez reflejado en un objeto, una señal de radiofrecuencia que ha enviado el propio radar. Si se conoce la velocidad de propagación de las ondas enviadas, es fácil conocer la distancia a la que se encuentra el objeto de que se trate. Actualmente, muchos radares funcionan mediante longitudes de onda que corresponden a la frecuencia de las microondas en lugar de las ondas de radio.

c) Las microondas corresponden a la parte del espectro electromagnético situada entre las ondas de radio y los infrarrojos (longitud de onda que va de 30 cm a 0,3 mm), por lo que su energía es baja. Las microondas interactúan con la materia, incrementando la velocidad de rotación de las moléculas.
Los hornos de microondas, comunes en muchos hogares, se utilizan para cocinar y calentar alimentos. Esto se logra al hacer vibrar las moléculas de agua que contienen, lo que hace que hierva y con ello caliente lo que rodea a estas moléculas. Así, por la acción de las microondas, las moléculas de agua vibran y, por la fricción que se genera entre ellas, calientan la materia en la que se encuentran.

d) Las radiaciones ópticas, son de longitud de onda menor que las microondas. La parte central de esta zona del espectro es la correspondiente a la luz visible para el ojo humano, o lo que es lo mismo, a los colores que se aprecian en un arco iris. Existen aplicaciones como el uso de fibras ópticas o simplemente la iluminación, que tienen una utilidad muy extendida. En este grupo se encuentra también la radiación infrarroja y la radiación ultravioleta.

La radiación infrarroja, aunque sea invisible podemos sentirla por el calor que nos transmite a la piel. Esta radiación de origen natural proviene del Sol.

La radiación infrarroja artificial se utiliza, por ejemplo, en el láser. Las aplicaciones son casi ilimitadas convirtiéndose en una herramienta muy valiosa y poderosa en la industria, la investigación científica, la tecnología militar y el arte. En medicina se utiliza en ciertos tipos de cirugías reemplazando al bisturí, ya que al mismo tiempo que corta cauteriza los pequeños vasos sanguíneos, evitando así las hemorragias. El infrarrojo también se utiliza para la calefacción industrial y doméstica y para el secado de barnices y pinturas, cueros, papeles y películas fotográficas, pastas alimenticias, deshidratación de frutas, verduras, etc. También es muy usada en alarmas y sistemas de control a distancia por infrarrojos.

En la zona de la radiación ultravioleta se encuentra el 5% de la radiación de origen solar que penetra en la atmósfera y además puede usarse para la desinfección del agua en comunidades pequeñas o para tratamiento de enfermedades de la piel mediante las lámparas fluorescentes que emiten radiación ultravioleta (UVA).

El mal uso de las radiaciones no ionizantes puede dar lugar a posibles efectos dañinos en el cuerpo humano, por lo que en 1992 se creó la Comisión Internacional de Protección Radiológica contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP), cuya principal función es asesorar e informar sobre los riesgos potenciales en la salud producidos por la exposición a este tipo de radiación y ha establecido directrices internacionales sobre los límites de la exposición humana para todos los campos electromagnéticos, con inclusión de la radiación ultravioleta, la luz visible y la radiación infrarroja.

1.1.3. La radiación ionizante

Los seres vivos recibimos radiación ionizante de origen natural procedente de los rayos cósmicos, de los elementos radiactivos que forman parte de la corteza terrestre y con los que construimos nuestras viviendas, puentes, calles, etc., y de los elementos radiactivos que hay en el agua y en los alimentos que ingerimos, haciendo que se incorporen a nuestro organismo.

Desde comienzos del siglo XX, a esta radiación natural, o de “fondo”, se le ha sumado la radiación ionizante artificial que el ser humano aprendió a producir para satisfacer sus necesidades e intereses. Las radiaciones ionizantes tienen aplicaciones muy importantes en industria, investigación y medicina. En la industria se utiliza para la esterilización de alimentos, para conocer la composición y estructura interna de diversos materiales, para detectar errores de fabricación y ensamblaje, entre otras aplicaciones. Las centrales nucleares producen energía eléctrica a partir de reacciones en las que se emiten radiaciones ionizantes.

En el campo de la medicina, las radiaciones ionizantes también cuentan con numerosas aplicaciones beneficiosas para el ser humano. Con ellas se pueden realizar una gran variedad de estudios diagnósticos y terapéuticos. La Medicina Nuclear y el Radiodiagnóstico utilizan las radiaciones para diagnóstico, por ejemplo, cada vez que

BY NC SA

nos hacen una radiografía, un TC o una gammagrafía. La Medicina Nuclear y la Radioterapia también utilizan las radiaciones con fines terapéuticos como es el uso de los aceleradores lineales de electrones para combatir enfermedades como el cáncer.

Debido a los efectos peligrosos de una exposición excesiva a la radiación ionizante, un grupo de radiólogos pertenecientes a la Sociedad Internacional de Radiología creó en 1928 la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) que desde 1950 tiene asignada la misión de establecer las bases científicas y principios generales en que se sustenta la protección radiológica.

Puntos clave

La radiación es una realidad que se encuentra en todas partes y estamos muy familiarizados con ella.

Podemos distinguir entre fuentes de radiación ionizante y fuentes de radiación no ionizante,

1.1.4. ¿Qué es la radiación ionizante?

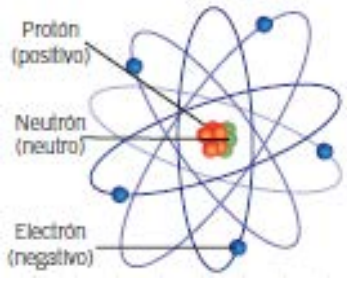
¿Qué tipos de radiación conoces? En la primera unidad hemos aprendido que la radiación puede ser ionizante o no ionizante. La radiación ionizante no se puede percibir con los sentidos.

Pero si no podemos verla, olerla, oírla ni sentirla, ¿cómo sabemos que existe? ¿Qué es la radiación ionizante? En esta unidad encontrarás algunas de las respuestas.

Para entender qué es la radiación ionizante antes tenemos que entender qué es un átomo.

Ya en la Grecia antigua, mientras el filósofo Demócrito estudiaba la materia, descubrió que, si cogía un trozo de materia y lo iba dividiendo en pedazos cada vez menores, acabaría por llegar a un trozo diminuto que sería indivisible. A los trozos de materia indivisible los llamó átomos. Fue el primero que sugirió que todas las sustancias conocidas están formadas por átomos o combinaciones de ellos, pero no llegó a comprobarlo experimentalmente.

En el siglo XIX John Dalton demostró la existencia de los átomos, entendiendo éstos como la parte más pequeña de un elemento químico que mantiene su identidad o sus propiedades y que no es posible dividir mediante procesos químicos. Todos los átomos de un mismo elemento son iguales, tienen la misma masa, y átomos de diferentes elementos tienen distinta masa.



Posteriormente, con el desarrollo de la física nuclear en el siglo XX, se comprobó que el átomo estaba constituido por partículas más pequeñas: electrones, protones y neutrones.
En cuanto a la estructura del átomo ha habido muchas teorías desde la Antigüedad. Con cada teoría se explicaba algún aspecto de la física, pero no todos. Actualmente se acepta que el átomo tiene una estructura interna formada por un núcleo y una corteza o nube de electrones orbitando en torno al núcleo.

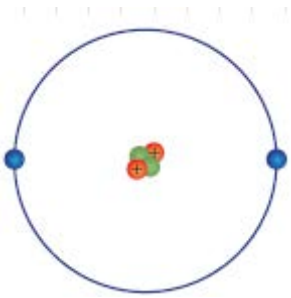
El núcleo del átomo está formado por dos tipos de partículas: los protones, que tienen carga eléctrica positiva, y los neutrones, que no tienen carga eléctrica. En un átomo neutro, que es su estado habitual, el número de electrones es igual al número de protones.

Como las cargas eléctricas iguales se repelen, igual que los polos magnéticos de igual signo de dos imanes, los protones tienen repulsión electromagnética, pero se mantienen unidos por la existencia de una fuerza más potente, denominada fuerza nuclear fuerte.

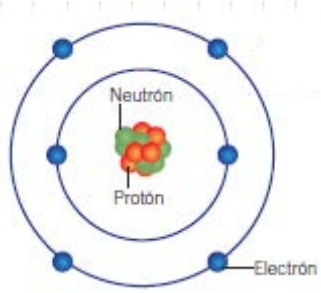
Prácticamente toda la masa del átomo se encuentra en el núcleo, ya que los electrones tienen una masa 1.835 veces menor que la del protón y el neutrón.

El núcleo más sencillo es el del Hidrógeno, formado por un protón, el núcleo siguiente es el del helio. En la figura de la siguiente página vemos un átomo de helio. Tiene un núcleo formado por dos protones, dos neutrones y alrededor del núcleo giran dos electrones.

Otro ejemplo podría ser un átomo de carbono, que tiene seis protones y seis neutrones en su núcleo y seis electrones a su alrededor. Éste es el aspecto de un átomo de carbono.



Átomo de helio



Átomo de carbono

Al número de protones del núcleo se le denomina número atómico y se representa por la letra Z, que se escribe en la parte inferior izquierda del símbolo químico.

La cantidad total de partículas del núcleo (protones y neutrones) es el número másico, que se representa por la letra A, y se escribe en la parte superior izquierda del símbolo químico.

Existen átomos con igual número atómico pero distinto número másico, a los cuales se les conoce como isótopos. Por ejemplo, existen tres isótopos naturales del Hidrógeno, el protio (1H), el deuterio (2H) y el tritio (3H). Todos poseen las mismas propiedades químicas (las del Hidrógeno) y se diferencian en algunas propiedades físicas.

Hay tantos átomos como elementos químicos, lo que supone algo más de un centenar; por ejemplo, el Hidrógeno, el carbono, el hierro y el Uranio...

En condiciones normales de equilibrio, las partículas del núcleo del átomo permanecen fuertemente unidas, es como si estuvieran atadas. Pero un exceso o una falta de neutrones pueden romper ese equilibrio. Entonces se convierten en elementos inestables, con tendencia a transformarse en otros elementos. Estas transformaciones, llamadas también desintegraciones, se producen en el núcleo de los átomos liberando gran cantidad de energía en forma de radiaciones ionizantes, y este fenómeno se conoce con el nombre de radiactividad, descubierta por Becquerel en 1896.

BY NC SA

Normalmente podemos medir la rapidez con que tiene lugar este proceso y expresarla utilizando una unidad especial denominada ***becquerelio***, que es la actividad de una cierta cantidad de material radiactivo que sufre una desintegración espontánea cada segundo. Se llama así en honor a Henri Becquerel.

Las radiaciones ionizantes emitidas por los átomos inestables se llaman así porque cuando atraviesan la materia pueden arrancar electrones de los átomos que se encuentra en su camino. Entonces, ese átomo ya no es eléctricamente neutro, puesto que ha perdido electrones, y se convierte en un ión. Se dice que este átomo ha sido ionizado.

1.1.5. Los tipos de radiaciones ionizantes que existen son:

- Las que se presentan en forma de partículas con masa (radiación corpuscular):

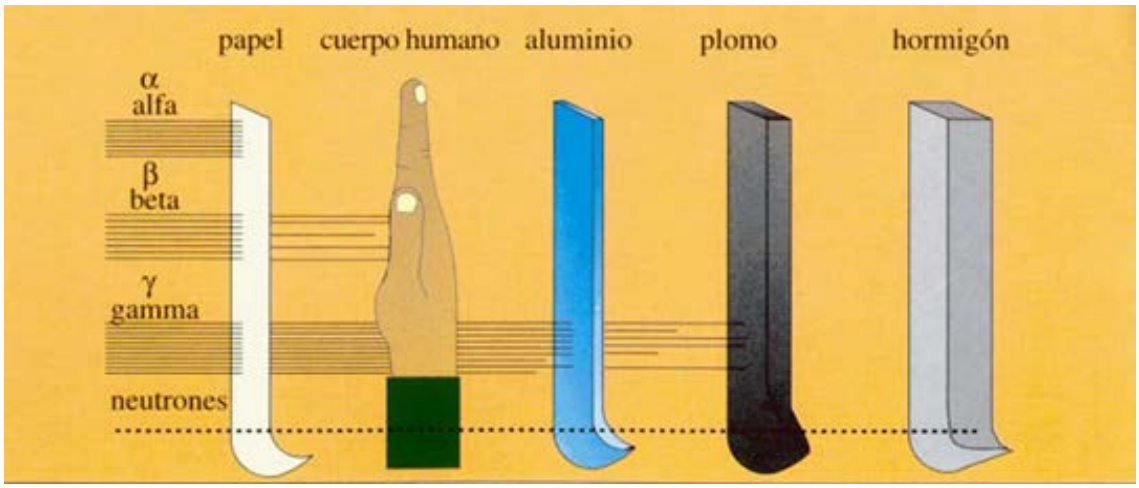
  – *Radiación alfa:* son núcleos de helio 4, que se emiten en ciertas desintegraciones nucleares (constituidas por dos neutrones y dos protones). Tiene mucha masa, pero es poco penetrante. Se detienen con una hoja de papel.
  – *Radiación beta*: son flujos de electrones (beta negativas) o positrones (beta positivas) liberados en determinadas desintegraciones nucleares. Tienen una masa menor que las partículas alfa, pero son un poco más penetrantes. Llegan a penetrar entre uno o dos centímetros en los tejidos vivos y se detienen con una lámina de aluminio.
  – *Neutrones*: este tipo de radiación es muy penetrante debido a que no tiene carga eléctrica y es indirectamente ionizante. Se absorben con elementos químicos como el boro y el cadmio.

- Las que se presentan en forma de radiación electromagnética (sin carga ni masa):

  – *Rayos X.*
  – *Rayos gamma*.

Son radiaciones muy penetrantes que se detienen mediante gruesos muros de hormigón o de plomo. La diferencia entre los rayos X y los rayos gamma sólo está en su procedencia, los rayos gamma proceden de un núcleo atómico inestable mientras que los rayos X, un poco menos penetrantes que los rayos gamma, proceden de las capas externas del átomo, donde se encuentran los electrones.

BY NC SA



Puntos clave

Los núcleos atómicos inestables se desintegran y emiten radiación ionizante.

La unidad de actividad, igual a una desintegración por segundo, se llama, becquerelio.

Las radiaciones ionizantes son capaces de ionizar la materia que atraviesan (arrancan electrones de los átomos que se encuentra en su camino convirtiendo esos átomos en iones).

Los tipos principales de radiación ionizante son la radiación alfa, beta, neutrónica, rayos X y gamma. Estos tipos de radiación difieren en el grado de penetración en la materia.

1.2. ¿CÓMO DETECTAR LA RADIACIÓN?

En la unidad anterior has aprendido qué es la radiación ionizante. No podemos verla, olerla, oírla ni sentirla. ¿Pero cómo sabemos que está ahí? En esta lección mostraremos las formas de detectar ese tipo de radiación.

La radiación ionizante es invisible, silenciosa, no huele ni sabe a nada y tampoco se puede tocar. Sin embargo, este tipo de radiación está presente a nuestro alrededor, e incluso, dentro de nosotros mismos hay sustancias que emiten radiación ionizante. La radiación ionizante puede producir efectos sobre las personas y sobre el medio ambiente. Por ello, es importante detectarla, identificarla y medir en qué cantidad está presente.

Si nuestros sentidos no pueden detectarla, ¿qué podemos hacer para controlar las radiaciones que nos rodean? Los científicos han desarrollado unos instrumentos que permiten saber si estamos en presencia de radiaciones ionizantes y medirlas, basándose en los efectos que la radiación ionizante produce sobre la materia. Estos instrumentos se denominan detectores de radiación ionizante.

Los efectos que producen las radiaciones ionizantes sobre la materia son muy complejos.

Algunos efectos que producen determinadas radiaciones no ionizantes, como pueden serla radiación ultravioleta e infrarroja del Sol, nos resultan muy cotidianos. Por ejemplo, nuestra piel se pone morena al exponerse al Sol, como consecuencia de la acción de la radiación solar sobre las células de la misma. Pues bien, en los detectores de radiación ionizante existen sustancias cuyas características físico-químicas cambian al interaccionar con las radiaciones ionizantes. Algunos ejemplos son: gases que se convierten en conductores de electricidad, sustancias que emiten luz, etc.

En función de las características de los detectores, reciben diferentes nombres: cámara deionización, contador proporcional, contador Geiger-Müller, contador de centelleo, dosímetro, etc.

Distintos instrumentos medidores de radiación

Dosímetro personal

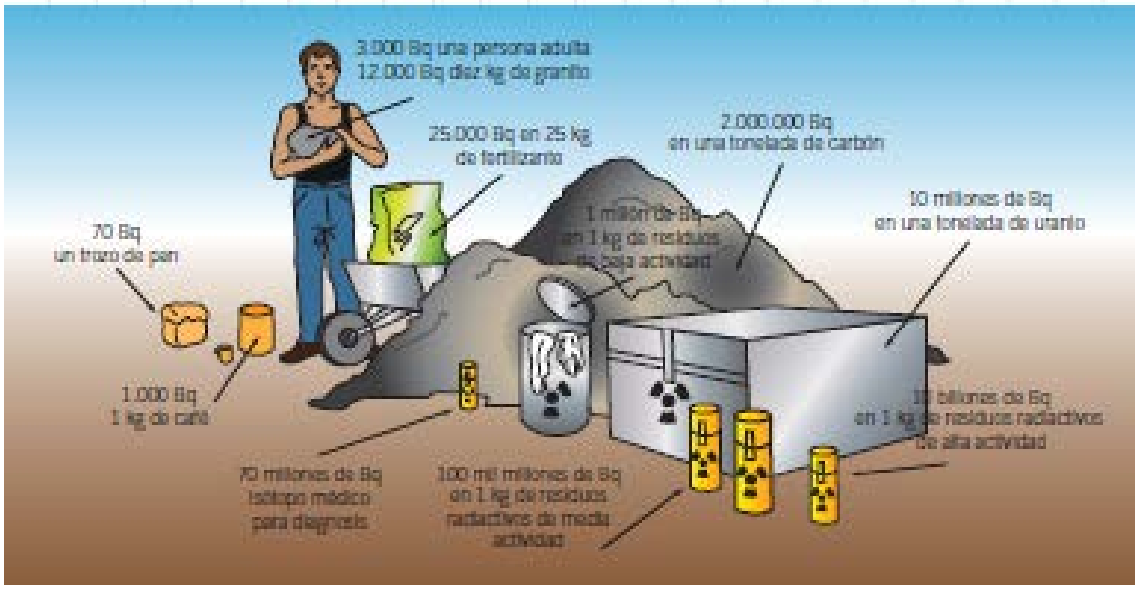
Los detectores nos permiten conocer y definir muchas características de las radiaciones, como son su actividad y su energía, y nos orientan sobre los posibles efectos que pueden producir en el organismo.

La actividad de una fuente radiactiva nos proporciona una idea de lo intensa que es dicha fuente. A modo de ejemplo, podríamos comparar la actividad de una fuente radiactiva con el nivel de batería de una cámara de fotos, esto es, si la batería está llena podremos hacer muchas fotos, mientras que si la batería se agota no podremos hacer ninguna.

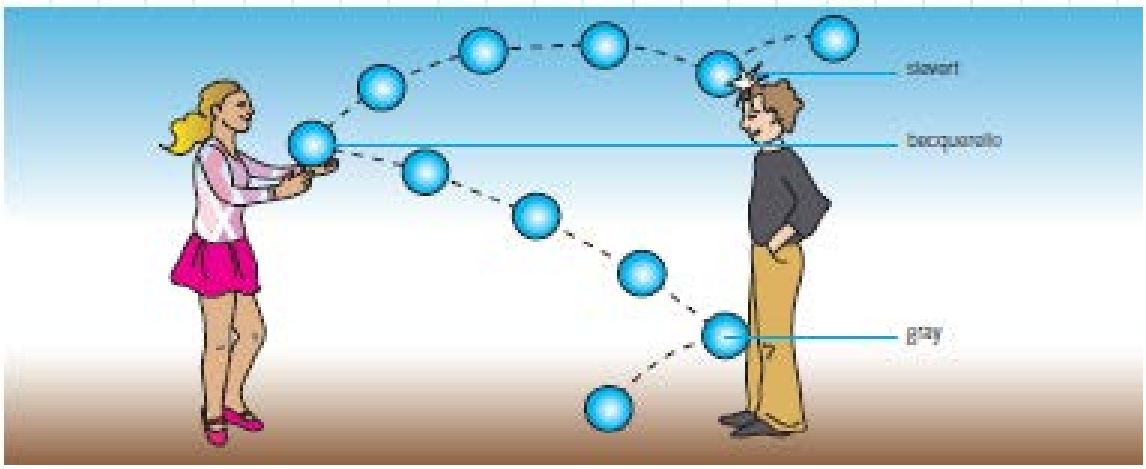
La actividad de las fuentes radiactivas se mide en unas unidades que se denominan becquerelios, en honor al científico Henry Becquerel, descubridor de la radiactividad. Sin embargo, el becquerelio (Bq) es una unidad muy pequeña y por eso, se suele hablar de kilobecquerelios (kBq), ya que utilizar el becquerelio sería como medir longitudes o distancias en micras.

Como se puede ver en la imagen, en un simple trozo de pan se pueden detectar 70 Bq de radiactividad, y en un kilo de café, 1.000 Bq.

BY NC SA



Para predecir de forma aproximada los posibles efectos que pueden producir las radiaciones en el organismo, se utiliza el concepto de dosis. Para entender estas características, vamos a proponer a modo de ejemplo un juego.



Representación simplificada de la relación entre las tres unidades que miden la radiactividad y las dosis de radiación ionizante (becquerelio, gray y sievert).

Una chica está lanzando globos rellenos de agua a un chico. La velocidad con la que los lanza representa la actividad. Los globos lanzados, podrán seguir distintos caminos:

- Algunos globos golpearán al chico, rompiéndose en ese momento y mojándole.
- Otros globos, tras chocar contra él, caerán al suelo sin haberse roto, por lo que no habrán conseguido el objetivo de mojarle.
- El resto, por su peso, caerán directamente al suelo, sin tocarle.

Viendo lo mojado que está el chico, podríamos hacernos una idea de la “dosis” de agua que ha recibido.

Cuando hablamos de radiaciones ionizantes, no todas tienen la misma fuerza ni representan el mismo peligro. Por eso, al hablar de dosis, tenemos que diferenciar el tipo de radiación ionizante que la está ocasionando: partículas alfa, beta, neutrones, rayos X o rayos gamma. Siguiendo con nuestro ejemplo, no es lo mismo que los globos estén llenos de aire que de agua: al chocar con el cuerpo, apenas notaremos el impacto de un globo lleno de aire, mientras que si está lleno de agua el daño será mayor.

Pero, además, no todas las partes del cuerpo son igualmente sensibles a este tipo de radiación.

El mismo globo lleno de agua no nos hace el mismo daño si nos da en la cara que si lo hace en una pierna.

La magnitud que determina la energía media absorbida en el medio por unidad de masa se representa como dosis absorbida, “D”. Se mide en grays (Gy). En el campo de la Protección Radiológica, es frecuente el uso del miligray (mGy), ya que el gray es una dosis elevada.

La dosis absorbida es insuficiente para expresar el efecto biológico que produce la radiación, ya que éste depende de las características de la radiación y del tejido expuesto a la misma. Para tener en cuenta estas dos realidades se utilizan dos magnitudes: “dosis equivalente” y “dosis efectiva”.

La dosis equivalente, “H”, es la dosis absorbida en un órgano o tejido “T”, ponderada en función del tipo y calidad de la radiación, “R”. Su unidad es el sievert (Sv). El valor de la dosis equivalente permite comparar, desde el punto de vista de la Protección Radiológica, los diferentes daños que la misma dosis absorbida puede causar, en un órgano o tejido, dependiendo del tipo de radiación y de la energía de ésta.

La dosis efectiva (E) es la suma ponderada de las dosis equivalentes en los distintos órganos y tejidos del cuerpo a causa de irradiaciones internas y externas. Se mide también en sievert (Sv). El valor de la dosis efectiva, “E”, nos da una información sobre el riesgo global en el organismo humano.

En el caso de fotones de todas las energías y electrones de todas las energías (como sería el caso de los rayos X y gamma), el factor de ponderación de la radiación es “1”, de forma que en este caso “dosis absorbida” y “dosis equivalente” coinciden y se cumple la equivalencia 1 Sv = 1 Gy. Para otros tipos de radiaciones ionizantes el factor de ponderación no es uno, así por ejemplo para las partículas alfa es 20 y para los neutrones, según su energía va de 5 a 20.

Puntos clave

Los sentidos del ser humano no son capaces de detectar por sí mismos la radiación ionizante, por lo que es necesario recurrir a una serie de instrumentos llamados detectores que nos avisan de la presencia de este tipo de radiaciones.

Los detectores nos permiten conocer y definir muchas características de las radiaciones ionizantes, como su actividad y su energía, y nos orientan sobre los posibles efectos que pueden producir en el organismo.

La actividad de las fuentes radiactivas se mide en unas unidades denominadas becquerelios.

BY NC SA

Para expresar los posibles efectos que pueden producir las radiaciones ionizantes en el organismo, se utiliza el concepto de “dosis”.

La “dosis absorbida” determina la energía media absorbida en el medio por unidad de masa. Se mide en grays (Gy)

Para tener en cuenta el efecto biológico que produce la radiación se utilizan dos magnitudes: la “dosis equivalente” y la “dosis efectiva”. Ambas se miden en sievert (Sv).

La “dosis equivalente” es la dosis absorbida en un órgano o tejido ponderada en función del tipo y calidad de la radiación.

La “dosis efectiva” es la suma ponderada de la dosis equivalente

1.3. ¿CÓMO AFECTA A NUESTRO CUERPO LA RADIACIÓN IONIZANTES?

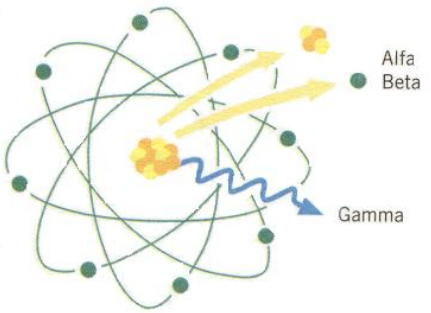
1.3.1. Propiedades de penetración de la radiación ionizante y forma en que afectan al cuerpo humano

Las radiaciones ionizantes, en función de su energía, pueden producir en la materia que atraviesan un gran número de transformaciones químicas y físicas. El daño que la radiación ionizante puede producir en el cuerpo humano depende de factores como:

- El tipo de radiación ionizante a la que está expuesto el cuerpo humano: alfa, beta, gamma, rayos X, neutrones.

- Posición de la fuente de radiación: dentro del cuerpo humano o externa a él.

Radiación alfa. Se trata de partículas que constan de dos protones y dos neutrones. Apenas tiene poder de penetración (hasta 5 cm en aire) y pueden detenerse interponiendo una lámina de papel. Se frena en las capas exteriores de la piel y no es peligrosa, a menos que los elementos que la emiten se introduzcan directamente en el organismo por ingestión o inhalación o a través de cortes o heridas. Una vez en el interior del organismo, si son partículas alfa de alta energía, su peligrosidad es elevada debida a su alto poder de ionización.



***Radiación beta*.** Son electrones libres que se generan en la desintegración de núcleos radiactivos.

Tiene mayor poder de penetración que la radiación alfa, por ejemplo, en tejido vivo penetran hasta 1 ó 2 cm y se detienen con una lámina de aluminio. Los isótopos que emiten radiación beta y están situados en el exterior del cuerpo humano pueden ser perjudiciales para el tejido superficial (la piel) cuando dichos isótopos penetran en el interior del organismo, pueden dañar diferentes órganos.

***Radiación gamma*.** Es una radiación electromagnética originada en el núcleo de los átomos radiactivos. Penetra profundamente en los tejidos, pero libera mucha menos energía en los mismos que la radiación alfa o la beta, y puede atravesar el cuerpo humano. Para detener la radiación gamma se precisa un material pesado, como plomo

o barreras de hormigón. Los rayos X son de la misma naturaleza que los rayos gamma, pero se originan en la zona de la corteza de los átomos.

Como medidas básicas de protección contra la radiación ionizante están:

- La distancia: alejarse todo lo posible de la fuente de radiación.
- El tiempo de exposición: permanecer el menor tiempo posible cerca de la fuente de radiación.
- Uso de barreras de protección o blindajes: interponer entre la fuente de radiación y las personas una barrera que detenga o disminuya la radiación ionizante.

1.3.2. Efectos de la radiación ionizante en el cuerpo humano

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son consecuencia de la interacción de la radiación a nivel celular, siendo la Radiobiología la ciencia que estudia los sucesos que se producen después de la absorción de energía procedente de las radiaciones ionizantes, los esfuerzos del organismo para compensar los efectos de esa absorción y las lesiones y reparaciones que se pueden producir en el organismo.

La aparición de estos efectos va a depender, entre otros factores, del tipo de tejido, y de la capacidad de reparación del mismo. También van a influir la edad del individuo en el momento de la exposición, su estado de salud y su predisposición genética. Por tanto, no todas las personas expuestas a radiaciones ionizantes tienen la misma respuesta.

Los efectos biológicos asociados con la exposición a radiaciones ionizantes se pueden clasificar en dos categorías:

- ***Efectos deterministas***: se producen cuando la exposición a radiaciones ionizantes origina la muerte de tal cantidad de células de un tejido u órgano que da lugar a un mal funcionamiento del mismo. La aparición de estos efectos se produce sólo cuando la dosis supera un cierto valor denominado “umbral de dosis”. La gravedad del efecto va a depender de la dosis recibida. No todos los tejidos y órganos tienen la misma respuesta frente a las radiaciones ionizantes. Entre los más sensibles están los ovarios, testículos, cristalino y médula ósea. Entre los efectos deterministas podemos destacar, entre otros, las quemaduras y las cataratas.

- ***Efectos estocásticos***: Si debido a la exposición a radiaciones ionizantes, se producen transformaciones celulares, éstas pueden dar lugar a la aparición de cáncer o enfermedades hereditarias en los descendientes de las personas expuestas. Para estos efectos no existe umbral de dosis, pero la probabilidad de que aparezcan sí depende de la dosis.

Puntos clave:

Las radiaciones ionizantes, en función de su energía, pueden producir en la materia que atraviesan un gran número de transformaciones químicas y físicas. Hay diferentes tipos de radiaciones ionizantes: alfa, beta, X y gamma.

La distancia, el tiempo y el blindaje son las medidas básicas de protección frente a las radiaciones ionizantes.

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son consecuencia de la interacción de la radiación a nivel celular. Se pueden clasificar en dos categorías: deterministas y estocásticos. Radiobiología efectos deterministas efectos estocásticos

1.4. APLICACIONES MÉDICAS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

En un centro sanitario se utilizan diferentes tipos de radiaciones ionizantes para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades. En unos casos se usan equipos generadores de radiación ionizante, como son los equipos de rayos X para diagnóstico o aceleradores lineales de electrones, para tratamiento. En otros, se usan isótopos radiactivos, bien en forma de fuentes encapsuladas, también llamadas fuentes selladas (material radiactivo dentro de una cápsula hermética) o no encapsuladas (abiertas).

1.5. APLICACIONES DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN INDUSTRIA E INVESTIGACIÓN.

Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el campo de la industria y también de la investigación son muchas y muy variadas. La industria aprovecha la capacidad que las radiaciones tienen para atravesar los objetos y materiales y el hecho de que cantidades insignificantes de elementos radiactivos puedan medirse rápidamente y de forma precisa proporcionando información exacta de su distribución espacial y temporal.

A continuación, se presentan algunas de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el campo industrial, agricultura, alimentación e investigación.

1.5.1. Usos en industria

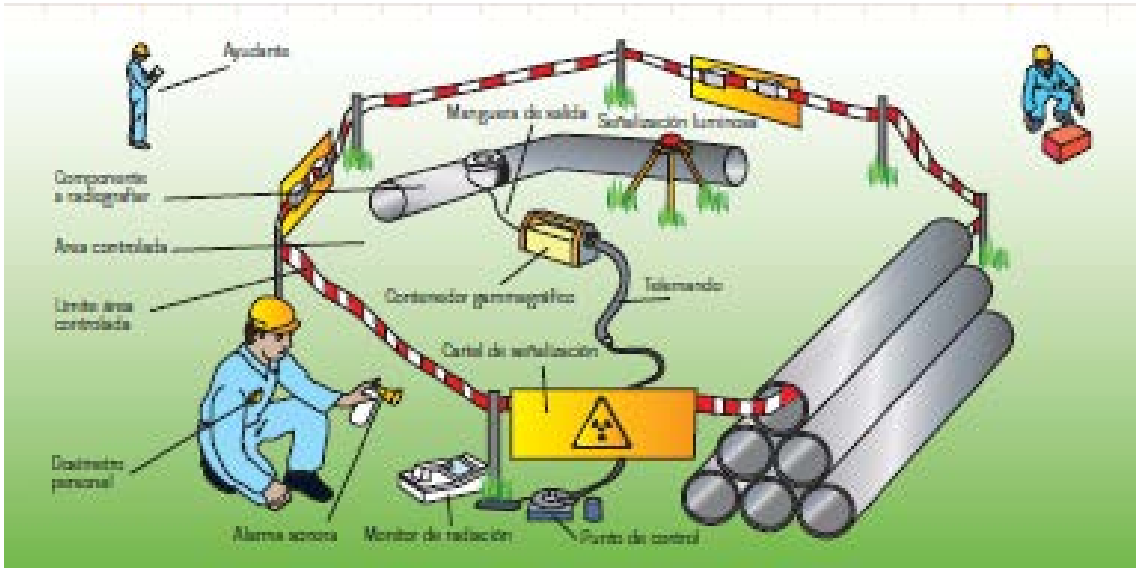
Algunas de las aplicaciones más significativas de las radiaciones ionizantes en la industria son:

- Equipos de control de proceso, para controlar el proceso de fabricación, por ejemplo, midiendo el espesor y la densidad de las hojas de papel, láminas de plástico o planchas de acero, o midiendo el nivel de llenado en el proceso de embotellado o en depósitos que contengan líquidos.

- Medida del grado de humedad, muy útil para medir la humedad en materiales a granel (arena, cemento), para controlar el grado de humedad en el terreno o en los materiales de construcción, etc.

Equipo de control de proceso para medida Medidor del grado de humedad de nivel de llenado

- Gammagrafía o radiografía industrial. Usada, por ejemplo, para verificar las uniones de soldadura en tuberías.



- Control de seguridad y vigilancia. Todos los detectores de seguridad de aeropuertos, correos, edificios oficiales, etc. utilizan los rayos X para radiografiar bultos y ver su contenido.

BY NC SA

- Detectores de humo, instalados dentro de las redes de vigilancia contra incendios. Su diseño incorpora una cámara de ionización, una fuente radiactiva (Am-241, <37 KBq) y una carcasa envolvente del conjunto. La fuente radiactiva ioniza el aire de la cámara y produce una débil corriente eléctrica. Las partículas de humo que penetran en la celda captan los electrones y reducen o interrumpen esa corriente de iones, lo que desencadena una señal de alarma.

- Esterilización de materiales. Técnica que utiliza la radiación ionizante por su acción bactericida.

- Muy utilizado en la industria farmacéutica y alimentaría.

- Modificación de las características de materiales. Se utiliza por ejemplo en el proceso de vulcanización del caucho, en la producción de cristales coloreados, o en el tratamiento de ciertos plásticos para hacerlos más duraderos, fuertes y resistentes al fuego.

- Eliminación de la electricidad estática aprovechando la ionización que provocan las radiaciones en los medios que atraviesan. Es muy útil en la industria textil, de plásticos, papel, vidrio, etc.

- Datación. Mediante el análisis del Carbono-14 radiactivo podemos determinar con precisión la antigüedad de diversos materiales orgánicos. Esta técnica se utiliza en la investigación histórica, el estudio del clima o la restauración pictórica y escultórica.

- Detección de fugas. Introduciendo en las canalizaciones, isótopos radiactivos como trazadores.

- Técnicas analíticas. Para determinar la composición o estructura de la materia que se analiza.

1.5.2. Usos en agricultura y alimentación

También son muchas las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en agricultura y en alimentación. Así, por ejemplo, encontramos:

- Optimizar los recursos hídricos. Mediante el uso de sondas de neutrones se puede determinar la humedad de un terreno estableciendo así la cantidad de agua que le falta o le sobra para obtener una cosecha óptima, ahorrando con ello mucha agua.

- Control de plagas mediante la técnica del insecto estéril. En el laboratorio se esterilizan mediante radiaciones ionizantes grandes cantidades de machos que luego se sueltan en el área afectada.

- Alimentación. Técnica que mediante la irradiación con rayos gamma permite la conservación y esterilización de determinados alimentos.

1.5.3. Usos en investigación

El uso de las radiaciones ionizantes ha supuesto un increíble avance en todo tipo de actividades de investigación tales como los estudios de Biología celular y molecular del cáncer, patologías moleculares, evolución genética, terapia genética, desarrollo de fármacos, etc.

- En general la investigación emplea los isótopos radiactivos no encapsulados ensayando en laboratorio, a pequeña escala, el comportamiento de un proceso o actividad que posteriormente podrá aplicarse a gran escala.

- También se emplean técnicas analíticas para investigar la estructura cristalina de distintos compuestos o para identificar componentes en muestras.

En definitiva, los numerosos usos de la radiación ionizante y de los materiales radiactivos contribuyen a mejorar la calidad de vida de la sociedad. Pero siempre se deben sopesar.

Puntos clave

Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el campo de la industria y también de la investigación son muchas y muy variadas.

Algunas de las aplicaciones más significativas de las radiaciones ionizantes en la industria son para medidas de espesor y densidad, o medida de nivel en los productos fabricados, control de calidad de materiales metálicos y soldaduras mediante radiografía y gammagrafía industrial, medida del grado de humedad en suelos, inspección de bultos mediante el uso de equipos de rayos X en controles de seguridad, detectores de humos en sistemas contra incendios, esterilización de materiales en el campo quirúrgico y alimentario, etc.

En investigación se usan isótopos radiactivos no encapsulados en distintos campos de las ciencias: biología, desarrollo de fármacos, etc. Así como técnicas analíticas para investigarla estructura cristalina de distintos compuestos o para identificar componentes en muestras.

BY NC SA

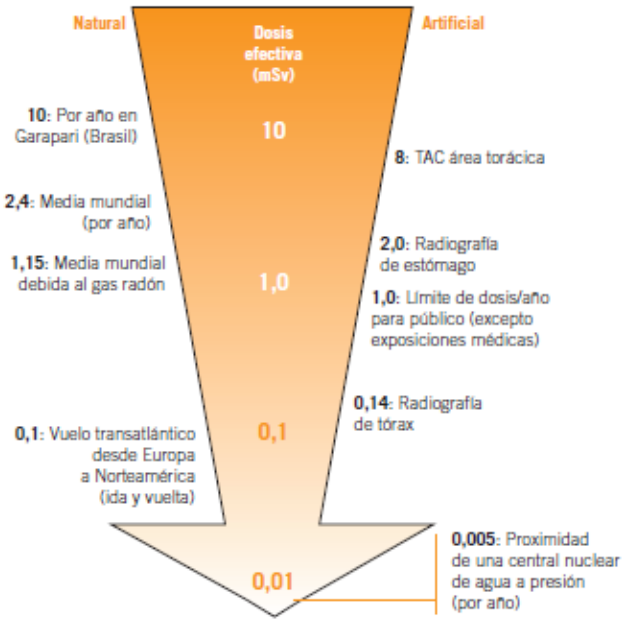
1.6. RADIACIÓN IONIZANTE EN LA VIDA DIARIA

Más del 80% de la dosis efectiva anual de la población mundial procede de fuentes naturales de radiación ionizante. Para describir esta exposición a la radiación tenemos que referirnos a pequeñas cantidades de dosis efectiva, para lo que utilizaremos 1/1.000 de sievert, que es un milisievert (símbolo mSv), y una millonésima de sievert, el microsievert (símbolo µSv). En esta unidad utilizaremos la palabra "dosis" con el significado de dosis efectiva.

Las radiaciones ionizantes que nos rodean en nuestra vida diaria se pueden clasificar atendiendo a su origen como naturales o artificiales.

La exposición de la población a las radiaciones ionizantes de origen natural, que han existido desde siempre, varía según las áreas geográficas. La exposición a la radiación natural o radiación de fondo se puede producir por la incorporación en el organismo de isótopos radiactivos existentes en la corteza terrestre, por inhalación o por ingestión, (se trata entonces de una exposición interna) o por las radiaciones procedentes del medio ambiente y de la radiación cósmica (exposición externa).

Una característica distintiva de la radiación natural es que afecta a toda la población con una intensidad relativamente constante a lo largo del tiempo. La dosis efectiva medida per cápita es del orden de 2,4 mSv al año, en la que prácticamente la mitad está producida por el gas radiactivo Radón.



Las radiaciones ionizantes de origen artificial (debidas a las aplicaciones industriales, energéticas, médicas, etc.) se comportan de la misma forma que las fuentes naturales por lo que pueden producir exposiciones internas o externas.

Los límites de dosis recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), incorporados a la normativa europea y a nuestra legislación, son fruto de una serie de estudios en individuos y poblaciones expuestos a diferentes niveles de dosis de radiación y en sus descendientes.

El límite establecido para los miembros del público (sin tener en cuenta el fondo radiactivo natural y las exposiciones médicas) es de 1 mSv por año natural.

La dosis anual se suele expresar en milisievert por año (mSv/año). La unidad de actividad es el becquerelio (símbolo Bq) y utilizaremos Bq por metro cúbico y Bq por kilogramo para expresar la concentración de isótopos radiactivos en los materiales.

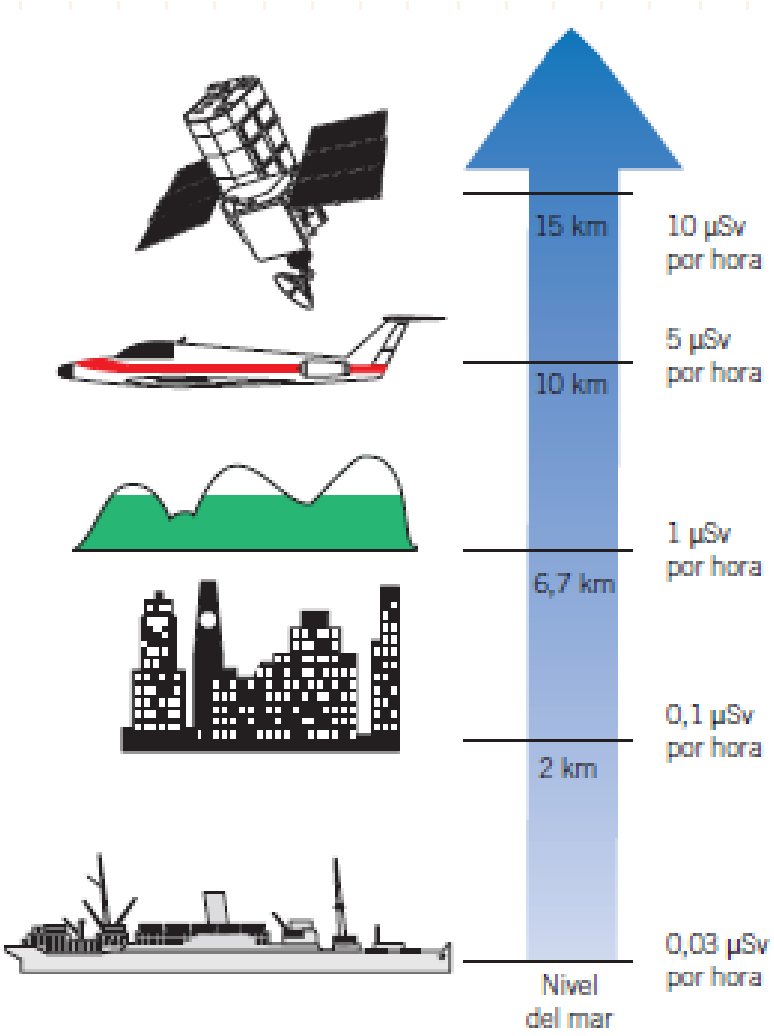
El cuadro que se encuentra al final de esta unidad es un resumen de las dosis anuales que recibimos de radiación ionizante natural y artificial.

CC BY NC SA

1.7. RADIACIÓN IONIZANTE NATURAL

1.7.1. Radiación cósmica

Las tasas de dosis de radiación cósmica aumentan con la altitud, porque perdemos el efecto protector de la atmósfera terrestre. Los pasajeros y la tripulación de un avión recibirán una dosis de 0,03 mSv durante un vuelo de 5.000 kilómetros y un 10% de esta dosis, aproximadamente, se debe a los neutrones. La tasa de dosis anual para las personas que viven por encima del nivel del mar aumenta en 0,03 mSv por cada 1.000 metros de altitud.



Valores anuales de radiación cósmica a diferentes altitudes

También influye, aunque en menor medida, la latitud, por eso las personas que viven más cerca de los polos reciben más dosis que las que viven cerca del ecuador. Por ejemplo, una persona que viva en Escocia recibirá un 20% más de tasa de dosis de radiación cósmica que una persona que viva en Grecia.

1.7.2. Radiación en la Tierra

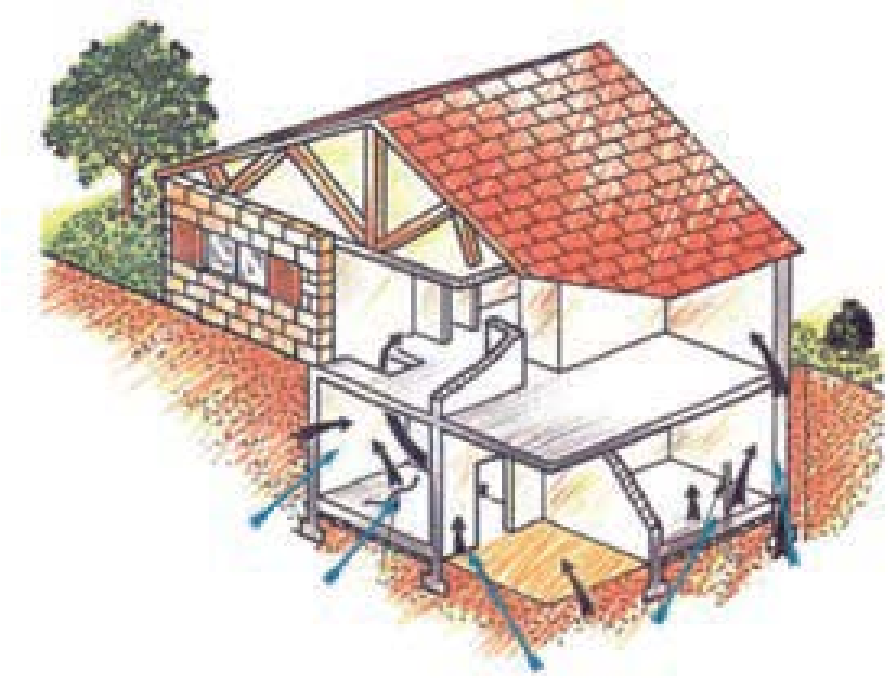
Los principales elementos radiactivos presentes en las rocas que constituyen la corteza terrestre son el Potasio 40 y las dos series de elementos radiactivos naturales procedentes de la desintegración del Uranio 238 y del Torio 232. También existe el Rubidio 87 y el Uranio 235 pero revisten menor importancia.

Los niveles de radiación natural terrestre alrededor del mundo difieren de un lugar a otro, debido a la variación de la concentración de estos elementos en la corteza terrestre. Así, los valores altos de radiación están ligados en general a formaciones geológicas que presentan mayor contenido en estos elementos tal y como sucede, por ejemplo, en determinado tipo de granitos y rocas sedimentarias, mientras que los niveles más bajos se asocian a rocas básicas y a formaciones sedimentarias de origen marino.

1.7.3. Radón

El gas radiactivo Radón-222 junto con los elementos de su serie radiactiva (descendientes) son los causantes de la mayor parte de la dosis que recibimos de origen natural. La presencia de Radón en el aire de las casas tiene diferentes orígenes: el suelo situado bajo la casa, los materiales de construcción o el agua de consumo, aunque este último, únicamente constituye una fuente importante en situaciones especiales. En la ilustración se muestran las principales vías de entrada de Radón en una vivienda.

La concentración de Radón en el aire interior es variable, llegándose a medir valores superiores a 5.000 Bq/m^3 en algunas zonas de España.

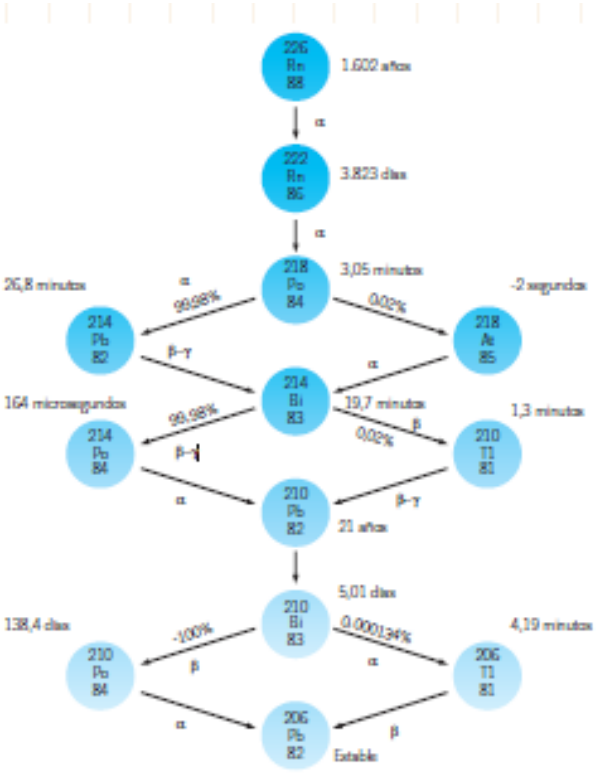


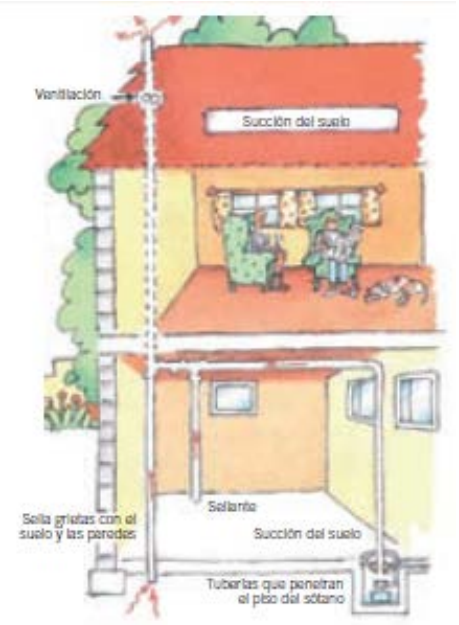
Principales vías de entrada de Radón en una casa

El gas Radón-222 se desintegra dando lugar a isótopos radiactivos de vida media corta emisores de radiación alfa, beta, o beta/gamma.

BY NC SA

Nuestros pulmones retienen parte de estos isótopos radiactivos (exposición interna) y nosotros recibimos una dosis de radiación a medida que se van desintegrando. Las concentraciones de Radón-222 varían durante el día y se encuentran en su nivel más bajo cuando los habitantes abren puertas y ventanas ventilando bien sus casas.





Esta ilustración presenta diferentes opciones de mitigación. El sistema de mitigación más común usualmente tiene sólo una tubería que penetra el piso del sótano, esta tubería también puede ser instalada en la parte exterior de la casa.

Estas concentraciones de Radón-222 también se ven afectadas por factores atmosféricos ya que en periodos de fuertes lluvias el Radón se disuelve fácilmente en el agua haciendo que disminuya la cantidad de Radón que alcanza la superficie.

Por tanto, en los casos en que las concentraciones no son muy elevadas, podemos disminuirla concentración de Radón en nuestras viviendas aumentando el grado de ventilación.

En las zonas donde la concentración de gas Radón es elevada se puede disminuir utilizan dos sistemas de extracción de aire (como se muestra en la ilustración de la página anterior) o con membranas.

Esta dosis de radiación natural es más elevada en lugares donde el terreno es más rico en Uranio. En nuestro país hay zonas, como, por ejemplo, en Pontevedra (Galicia) y en la Sierra de Guadarrama (Madrid), donde las concentraciones de Radón son mayores.

BY NC SA

1.7.4. Exposición interna a la radiación ionizante natural

La radiación interna se debe a la inhalación de polvo que contenga en suspensión partículas radiactivas, así como a la ingestión de agua y alimentos que hayan incorporado algún elemento radiactivo en su composición.

El potasio natural contiene un 0,01% del isótopo radiactivo potasio-40 y es un mineral imprescindible para nuestro organismo. Está relacionado con el sistema nervioso y el mantenimiento de la masa muscular. Es el tercer mineral más abundante en el cuerpo humano.

Prácticamente todos los alimentos contienen potasio, por ejemplo: en un litro de leche hay aproximadamente 50 Bq de Potasio-40 y en un kilo de cacahuetes unos 200 Bq. La concentración media de Potasio-40 en nuestro organismo es de unos 60 Bq/kg y se estima que se recibe una dosis efectiva del orden de 180 µSv/año. Ésta es una exposición interna de radiación ionizante natural a la que no podemos escapar, porque el potasio es un elemento esencial y sólo absorbemos la cantidad necesaria.

El Uranio-238 y su familia, incluido el isótopo radiactivo Radio-226, se encuentran en la mayoría de las rocas, suelos y en el agua del mar. Algunas aguas subterráneas contienen Radio-226 en concentraciones más o menos elevadas en función de la geología del terreno por la que transcurren.

1.8. RADIACIÓN IONIZANTE ARTIFICIAL

En las unidades siguientes hablaremos de las radiaciones ionizantes de origen artificial aplicadas a la medicina, industria e investigación. Algunos ejemplos de los usos de la radiación ionizante son: aparatos de rayos X para diagnostico en medicina, para el control de soldaduras o para el control de seguridad en aeropuertos y edificios públicos, estimación dela antigüedad de restos orgánicos (midiendo la cantidad de Carbono 14), aumento de los periodos de almacenamiento de algunos alimentos que previamente han sido irradiados (cebollas, patatas, azafrán, etc.), comprobación del estado de soldaduras (mediante gammagrafías) en tuberías, vigas, etc.

1.8.1. Dosis media anual típica que reciben las personas a nivel mundial

La información contenida en este cuadro procede del Informe del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica (en su 56º período de sesiones) que actualiza los datos recogidos en el informe correspondiente al año 2000 sobre fuentes y efectos de la radiación ionizante.

Este Comité fue creado por la Asamblea General de Naciones Unidas en 1955 y su misión es estimar los niveles y efectos de la exposición a la radiación ionizante e informar sobre ellos. Los informes del Comité se utilizan como base científica para evaluar los riesgos de la radiación y para establecer medidas de protección.

El cuadro recoge los valores de las tasas anuales de dosis efectivas medias a nivel mundial, procedentes de exámenes médicos con fines de diagnóstico, y de otras fuentes de radiación artificial, como son las pruebas nucleares atmosféricas y la producción de energía de origen nuclear.

Cuando se calcula la dosis de radiación recibida por las personas que trabajan con radiaciones ionizantes, la media sobre la totalidad de la población resulta muy pequeña, dado que los trabajadores expuestos (que son los que trabajan con radiaciones

BY NC SA

ionizantes) constituyen una proporción reducida de la población y su dosis está estrictamente controlada.

De estos datos se deduce que la fuente de radiación más importante de exposición es el Radón, ya que contribuye en, aproximadamente, el 50% de la radiación natural y, además es la principal fuente de exposición si consideramos también las fuentes artificiales.

Puntos clave

Un 80%, por lo menos, de la dosis media anual de radiación ionizante recibida por la población mundial proviene de fuentes naturales.

Las principales fuentes naturales son el Radón y sus descendientes de la cadena de desintegración, los elementos radiactivos existentes en nuestros cuerpos, los elementos radiactivos que ingerimos a través del agua y los alimentos, la radiación gamma procedente de los materiales de construcción de los edificios y la radiación gamma de los isótopos de la tierra, y la radiación cósmica del sol y del espacio exterior.

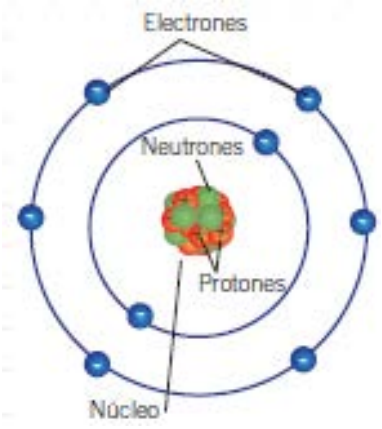
La radiación ionizante artificial incluye la radiación recibida por el diagnóstico de enfermedades o lesiones y por el tratamiento de las mismas. Una dosis de radiación muy pequeña es la debida a las pruebas nucleares, a las descargas procedentes de las instalaciones nucleares, a la exposición en el trabajo y a otras fuentes.

1.9. LA RADIACIÓN IONIZANTE Y SUS EFECTOS BIOLÓGICOS

La radiación ionizante puede afectar al cuerpo humano. Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son consecuencia de la interacción de la radiación con las células vivas.

1.9.1. Ionización

Cuando una partícula o fotón gamma choca con otro átomo, lo más probable es que reaccione con la órbita exterior de los electrones. Si se expulsa un electrón, el átomo perderá una carga negativa y pasará a cargarse positivamente. El átomo cargado se llama ión, y se dice que el átomo se ha ionizado. El hueco que queda en su órbita externa le hace químicamente reactivo. Si la reacción química tiene lugar en una célula viva, es probable que dañe a la célula y por ello cause efectos biológicos no deseables. Esta capacidad para causar ionización y los efectos biológicos que produce es la razón por la que deben adoptarse precauciones cuando se utiliza cualquier tipo de radiación ionizante.



Sabemos que la radiación ionizante es penetrante y, en algunos casos, puede pasar a través de objetos sólidos como el metal. A continuación, se dan las distancias típicas de penetración:

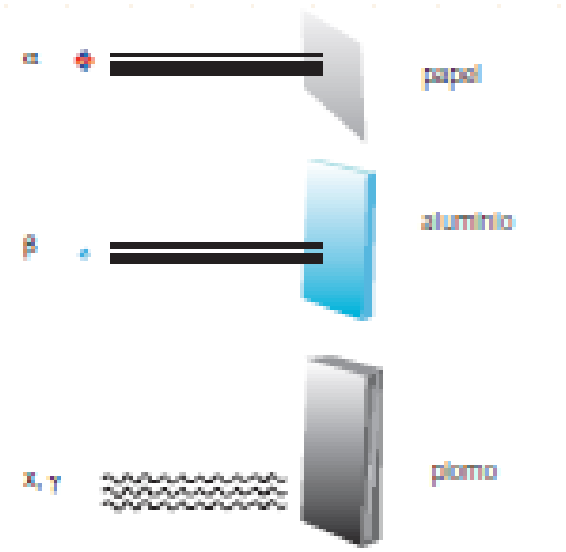
- Partícula alfa: hasta 5 centímetros de aire. Produce una ionización muy intensa.

- Partícula beta: hasta 1 centímetro de aluminio.
- Radiación gamma: hasta varios metros de hormigón, o varios centímetros de plomo.
- Radiación X: semejante a la gamma.

Para detener la radiación alfa es suficiente una lámina de papel. Cuando el isótopo emisor de radiación alfa se encuentra en el exterior del cuerpo humano la radiación se frena en las capas exteriores de la piel y no es peligrosa, pero se convierte en peligrosa cuando penetra en el interior del organismo por ingestión, inhalación o a través de heridas, dado que deposita su energía en un espacio muy corto, lo que provoca graves daños, si se trata de radiación alfa de alta energía.

La radiación beta es algo más penetrante que la radiación alfa y es capaz de penetrar 1 ó 2 cm en los tejidos vivos. Se frena con una lámina de aluminio. Como blindaje para este tipo de radiación se utilizan planchas de metacrilato.

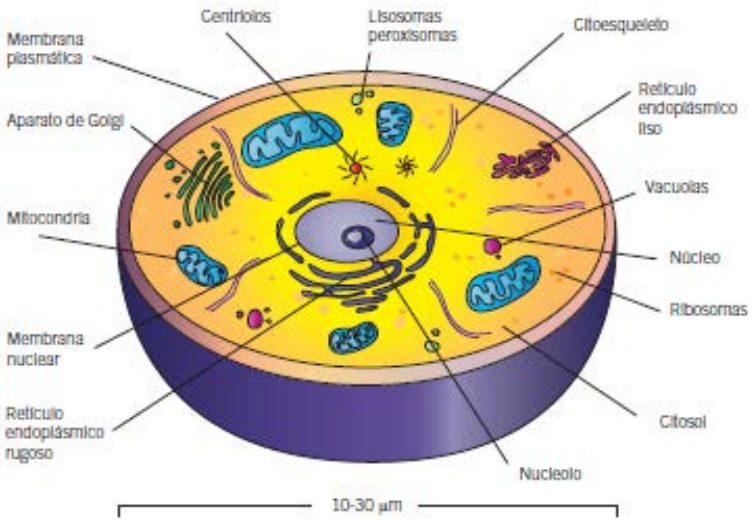
La radiación X y gamma son radiaciones electromagnéticas. La radiación gamma procede del núcleo del átomo mientras que la radiación X procede de la zona de la corteza del átomo radiactivo. La radiación gamma es más penetrante que la X, pero ambas pueden atravesar el cuerpo humano, aunque depositan a su paso menos energía que la radiación alfa o la radiación beta. Para frenar o atenuar este tipo de radiación se utilizan planchas de metales pesados como por ejemplo el plomo, o muros de hormigón.



1.10. ¿QUÉ EFECTOS PRODUCE LA RADIACIÓN IONIZANTE?

Una de las reacciones más importantes que se produce al interaccionar la radiación ionizante con el cuerpo humano, es la radiólisis o rotura de los enlaces químicos de las moléculas, con la posibilidad de que se formen otras moléculas distintas de las originales.

El elemento más abundante en el medio vivo es el agua y la ionización de ésta puede dar lugar a la aparición de radicales libres que son moléculas altamente reactivas. A su vez, estos radicales libres pueden, por ejemplo, combinarse entre sí para formar agua oxigenada, compuesto químico altamente oxidante que puede atacar y romper los enlaces químicos en moléculas complejas, como las que forman los cromosomas, dando lugar a la aparición de efectos biológicos.



La unidad básica del organismo vivo es la célula, en cuyo núcleo y concretamente en el ácido desoxirribonucleico (ADN) se encuentra codificada toda la información genética. Los efectos biológicos que produce la radiación son consecuencia de la transferencia de energía a los átomos y moléculas constituyentes de las células, dando lugar a ionizaciones. Cuando una radiación incide sobre una célula se producen ionizaciones que pueden afectar de forma directa o indirecta a la molécula de ADN. El efecto puede manifestarse bien en el propio individuo, denominándose efecto somático o bien en sus descendientes, denominándose entonces efecto hereditario.

En función de la forma en que la radiación produce un daño en la salud del individuo los efectos se denominan estocásticos o deterministas.

- Los efectos deterministas se deben a la muerte de las células. Si la dosis fuera lo suficientemente elevada, la pérdida celular podría ser tan importante que el tejido quedaría degradado funcionalmente.
  Por debajo de un umbral determinado (nivel de dosis), estos efectos no se producen, pero por encima de un determinado nivel de dosis (el umbral para efectos clínicos) el efecto se producirá. Además, su gravedad aumenta con la dosis recibida. Los umbrales asociados a estos efectos están frecuentemente en valores de dosis de unos pocos grays (Gy)[1]

- La inducción de cáncer y los efectos hereditarios son efectos estocásticos, es decir, son de naturaleza probabilística (pueden o no producirse) y la probabilidad de que ocurran dependerá de la dosis recibida. Para este tipo de efectos, a falta de una evidencia científica clara, se ha adoptado una actitud conservadora de tal forma que en el campo de la protección radiológica se supone la hipótesis de que se pueden producir a cualquier nivel de dosis y no existe dosis umbral.

[1] (1) El sievert (símbolo Sv) es una unidad derivada del sistema internacional que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva (julio por kilogramo (J Kg-1), corregida por los posibles efectos biológicos producidos, mientras que el gray (Gy, unidad de dosis absorbida) mide la energía absorbida por un material. Se cumple la equivalencia 1 Sv = 1 Gy para las radiaciones electromagnéticas (rayos X y gamma) y los electrones, pero para otras radiaciones debe utilizarse un factor corrector. Por otro lado, la inducción de cáncer, al ser un efecto estocástico, se supone que se puede producirse a cualquier nivel de dosis, pero debemos considerar que la radiación es únicamente uno de los muchos agentes que potencialmente pueden causar cáncer.

1.10.1. ¿Qué efectos biológicos producen las radiaciones ionizantes en el embrión/feto?

En una mujer embarazada los efectos que se pueden producir en el embrión/feto, pueden ser de naturaleza determinista o de naturaleza estocástica. Son efectos deterministas el aborto, las malformaciones congénitas y el retraso mental. La inducción de cáncer es un efecto estocástico.

Se ha demostrado que los efectos deterministas (aborto, malformaciones congénitas o retraso mental) no se producen si el embrión/feto recibe dosis por debajo de 100 mSv. Hay que tener en cuenta que estos efectos también pueden producirse por otras causas no relacionadas con la radiación como la edad de la madre, su estado nutricional, consumo de medicamentos, alcohol o tabaco, antecedentes hereditarios, infecciones durante el embarazo, características del embarazo, parto, etc.

Puntos clave

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son consecuencia de la interacción de la radiación con las células vivas, dando lugar a la aparición de radicales libres que son moléculas altamente reactivas.

La radiación ionizante tiene diferente poder de penetración en función del tipo de radiación (alfa, beta, rayos X o gamma).

Cuando una radiación incide sobre una célula se producen ionizaciones que pueden afectar de forma directa o indirecta a la molécula de ADN. El efecto puede manifestarse bien en el propio individuo, denominándose efecto somático o bien en sus descendientes, denominándose entonces efecto hereditario.

En función de la forma en que la radiación produce un daño en la salud del individuo los efectos se denominan estocásticos o deterministas.

1.11. PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN IONIZANTE

El uso de las radiaciones ionizantes en distintos campos de la industria, medicina, investigación, etc., ha supuesto un gran avance para la humanidad, pero también pueden producir daños. Por ello es necesario establecer medidas de protección para los trabajadores/as expuestos/as, y para la población en su conjunto. En esta unidad se van a exponer los principios básicos de la protección radiológica, los riesgos que comportan las radiaciones ionizantes en base a la naturaleza de la fuente emisora de estas radiaciones, así como las medidas de protección radiológica a aplicar.

El ser humano además de estar expuesto a la radiación ionizante del fondo natural, también está expuesto a fuentes de radiación ionizante de origen artificial. Aunque inicialmente la utilización de fuentes de radiaciones ionizantes artificiales supuso un gran avance en el desarrollo científico de la sociedad, muy pronto se pusieron de manifiesto los daños que su mal uso podía producir en la salud. Se hizo evidente la necesidad de establecer unas medidas de protección, lo que ha dado origen a la disciplina denominada protección radiológica.

La protección radiológica tiene como finalidad la protección de los individuos, de sus descendientes y de la humanidad en su conjunto, de los riesgos derivados de aquellas actividades que supongan la presencia de radiaciones ionizantes.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) –fundada en 1928 por la Sociedad Internacional de Radiología– es la autoridad científica independiente que, desde 1950, tiene asignada la misión de establecer la base científica y la doctrina y principios en que se sustenta la protección radiológica.

La ICRP considera que el objetivo principal de la protección radiológica es evitar los efectos biológicos deterministas y limitar al máximo la probabilidad de aparición de los efectos estocásticos.

Los efectos estocásticos son aquellos efectos que son más probables cuanto mayor es la cantidad de radiación recibida, pero cuya gravedad no depende de esa cantidad de radiación.

Suelen ser efectos retardados, que pueden aparecer entre 5 y 30 años después de haber sufrido exposición, como el cáncer.

Los efectos deterministas son aquellos efectos que no ocurren a no ser que la dosis de radiación recibida supere un determinado nivel y cuya gravedad depende de la cantidad de radiación recibida. Suelen ser efectos inmediatos, como náuseas, vómitos, quemaduras en la piel.

En España, las normas de protección de los trabajadores/as expuestos/as y de los miembros del público contra los riesgos de las radiaciones ionizantes figuran en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes y el Consejo de Seguridad Nuclear es el único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

1.11.1. Principios básicos de protección radiológica

Las normas de protección radiológica se sustentan en los siguientes principios:

- Justificación: toda práctica que implique la exposición a las radiaciones ionizantes debe suponer un beneficio para la sociedad. Deben considerarse los efectos negativos y las alternativas posibles.

- Optimización: todas las exposiciones a la radiación ionizante deben mantenerse a niveles tan bajos como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales (As Low As Reasonably Achievable, principio **ALARA**)

- Limitación: las dosis de radiación recibidas por las personas estarán, en cualquier caso, por debajo de los límites de dosis legalmente establecidos.

Se considera trabajador/a expuesto/a aquel/aquella que por razones de su trabajo está expuesto a las radiaciones ionizantes, con probabilidad de recibir 1/10 de los límites de dosis. Se define como miembro del público al resto de la población.

BY NC SA

En la siguiente tabla se muestran los límites recogidos en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes:

Dosis (mSv)	Trabajadores/as expuestos/as	Miembros público
Dosis efectiva en 5 años	100 mSv	
Dosis efectiva máxima en 1 año	50 mSv	1 mSv
Dosis equivalente en un año: • Cristalino • Piel y extremidades	 150 mSv 500 mSv	 15 mSv 50 mSv

Límites	Especiales
Trabajadora expuesta embarazada: dosis al feto	1 mSv/embarazo
Personas en formación y estudiantes entre 16 y 18 años	6 mSv/año
Dosis equivalente en un año: • Cristalino. • Piel y extremidades	 50 mSv 150 mSv

Los valores recogidos en esta tabla no incluyen las dosis recibidas de la radiación de fondo de origen natural ni la recibida como consecuencia de exámenes o tratamientos médicos

1.11.2. Riesgos

La ICRP utiliza el término “riesgo” como la probabilidad de que se produzca un efecto perjudicial teniendo en cuenta no sólo su probabilidad sino también la gravedad del suceso.

Irradiación externa: puede ser producida por fuentes de radiación: aceleradores, equipos de rayos X, fuentes encapsuladas y fuentes no encapsuladas. La irradiación es la acción de someter a una persona u objeto a las radiaciones ionizantes. Se habla de irradiación externa cuando la fuente es exterior al individuo.

La contaminación es la presencia indeseada de sustancias radiactivas en la superficie o en el interior de un cuerpo u organismo. En el primer caso se habla de contaminación externa y en el segundo de una contaminación interna.

Una persona sufrirá una contaminación externa cuando se depositen sobre su piel sustancias radiactivas, mientras que la contaminación interna se producirá cuando penetren isótopos radiactivos en el organismo, bien por inhalación, por ingestión o a través de heridas.

Los isótopos radiactivos que han penetrado en el organismo producen a su vez irradiación. Una persona irradiada por una fuente radiactiva exterior a ella sufre en sus tejidos los efectos biológicos de la radiación mientras está próxima a la fuente, pero bastará que se aleje suficientemente de ella para que cese la irradiación. Por el contrario, una persona contaminada continuará siendo irradiada en tanto no cese la contaminación, y ella misma puede actuar como fuente de contaminación o irradiación de otras personas.

La contaminación externa es fácilmente eliminable mediante lavado de la superficie contaminada, mientras que en la contaminación interna los efectos dependerán de la afinidad de los elementos radiactivos, que los hace depositarse en unos u otros órganos en función de las características metabólicas de los mismos; la permanencia de la

CC BY NC SA

actuación de esos elementos radiactivos depende, por una parte, de la capacidad de eliminación de esa sustancia por el organismo a través de las vías naturales, y, por otro, del período de semidesintegración del isótopo en cuestión.

Irradiación

Contaminación

1.11.3. Medidas prácticas de protección radiológica

En la práctica y con objeto de controlar la exposición a las radiaciones se aplican una serie de medidas que varían según exista (o no) riesgo de contaminación.

Cuando una persona está sometida a la irradiación de una fuente externa, la dosis de radiación que recibe es igual al producto de la tasa de dosis (dosis recibida en la unidad de tiempo) por el tiempo durante el cual está expuesta a la radiación. Por tanto, a menos tiempo menos dosis.

La tasa de dosis en un punto es proporcional al flujo de radiación en él. Este flujo (y por tanto la tasa de dosis) decrece en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Además, la radiación ionizante es atenuada al atravesar un espesor de material interpuesto entre emisor y receptor (blindaje).

BY NC SA

Normas básicas para reducir la irradiación externa

DISTANCIA

Debe ser la máxima posible respecto a la fuente emisora de radiación. Hay que recordar que la dosis disminuye con la distancia (de acuerdo con la Ley del inverso del cuadrado de la distancia.

TIEMPO

Debe ser el menor posible. La dosis es directamente proporcional al tiempo de exposición, si se reduce a la mitad, la dosis se reduce de forma proporcional.

BLINDAJE

Cuando la combinación de tiempo y distancia no reduce la dosis a niveles permisibles, hay que interponer una barrera de material absorbente entre la fuente y el usuario

Por tanto, la protección contra la irradiación por una fuente externa se consigue mediante la combinación de tres factores: tiempo de exposición, distancia y blindaje.

Cuando existe riesgo de contaminación (por ejemplo, en el manejo de fuentes no encapsuladas) además de los factores anteriores de tiempo, blindaje y distancia hay que aplicar medidas adicionales. Estas medidas adicionales tienen por objeto evitar la dispersión de la contaminación, o que esa contaminación se deposite en la piel de una persona o, incluso, pueda llegar al interior de su organismo.

Se deben utilizar equipos de protección individual que sean adecuados a la posible contaminación.

Así, en unas condiciones puede ser suficiente el uso de guantes de algodón y mascarilla de aerosoles, mientras que en casos extremos pueden necesitarse equipos autónomos de respiración, doble mono, calzas, guantes de algodón, guantes de plástico, etc.

En caso de contaminación externa del organismo, hay que eliminarla para evitar que ésta se convierta en contaminación interna. Las medidas consisten en quitar la ropa, almacenándola en bolsas de plástico, ducharse con agua tibia y jabón neutro, en el caso de que la contaminación sea difusa, o simplemente lavar las zonas contaminadas, en el caso de que éstas se reduzcan a áreas definidas.

Si existe la posibilidad de que se produzca dispersión de la contaminación al ambiente (material radiactivo en forma de aerosol, polvo o vapores) los trabajos se realizarán en el interior de una vitrina de extracción que, en caso necesario, puede incorporar filtros.

Si se efectúan trabajos en una zona contaminada con material radiactivo, siempre que sea posible se aplicarán previamente técnicas de descontaminación.

BY NC SA

En este tipo de ambientes se deben prohibir actividades como por ejemplo comer, beber o fumar, ya que facilitaría la incorporación al interior del organismo de la contaminación allí existente.

1.11.4. Normas generales de protección que deben ser establecidas a todas las prácticas que impliquen un riesgo derivado de las radiaciones ionizantes

Finalmente, existen unas normas generales de protección que deben aplicarse en zonas donde exista riesgo de emisión de radiaciones ionizantes. Entre ellas destacaremos:

- Delimitación de zonas: el espacio en el que existan generadores de radiación o donde se manipulen o almacenen materiales radiactivos, debe estar perfectamente delimitado y señalizado. Los reglamentos establecen los criterios de clasificación de zonas y el tipo de señalización a utilizar en cada una de ellas.

  Las zonas se señalizan con el símbolo internacional de radiactividad, trébol con puntas radiales (riesgo de irradiación externa) o con campo punteado (riesgo de contaminación).

  El color del trébol varía en función de la zona de que se trate: vigilada, controlada, de permanencia limitada, de permanencia reglamentada o de acceso prohibido.

- Formación del personal que va a trabajar con radiaciones ionizantes sobre los efectos de la radiación, las normas de protección y las precauciones a tomar durante el trabajo.
- Vigilancia médica basada en los principios generales de medicina del trabajo.
- Vigilancia radiológica mediante el uso de dosímetros.

BY NC SA

Puntos clave

La utilización de fuentes de radiaciones ionizantes en distintos campos comporta unos beneficios, pero también lleva consigo el riesgo de producir daños a la salud.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) tiene asignada la misión de establecer la base científica y la doctrina y principios en que se sustenta la protección radiológica.

Las normas de protección radiológica se sustentan en tres principios: justificación, optimización (principio ALARA) y establecimiento de unos límites de dosis.

Los riesgos de la exposición a estas radiaciones ionizantes pueden ser por irradiación o por contaminación y los medios de protección dependerán del tipo de riesgo.

La protección contra la irradiación por una fuente externa se consigue mediante la combinación de tres factores: tiempo de exposición, distancia y blindaje.

Cuando existe riesgo de contaminación además de los factores anteriores hay que aplicar medidas adicionales como puede ser, entre otros, la utilización de equipos de protección individual.

1.11.5. Transporte

El material radiactivo usado para diagnóstico o terapia (fuentes encapsuladas y no encapsuladas) requiere ser transportado desde los suministradores hasta las instalaciones donde va a ser usado o administrado a los pacientes. La mayor parte del transporte que se efectúa contiene pequeñas cantidades de material radiactivo (que se usa con fines de diagnóstico médico), aunque a veces se transportan fuentes de alta actividad necesarias para terapia.

La vía aérea es la vía más utilizada en el transporte de material radiactivo usado en medicina, ya que, por su naturaleza isotópica sufre un rápido decaimiento radiactivo, y precisa ser transportado de manera urgente.

Hasta su destino final, en hospitales o establecimientos sanitarios, estos materiales, que van contenidos en embalajes de pequeño tamaño, son transportados por carretera.

Los residuos radiactivos generados como consecuencia de las aplicaciones médicas son transportados hasta los centros de tratamiento o almacenamiento.

En España, el transporte de material radiactivo está regulado por una serie de reglamentos de aplicación internacional, basados en el Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos del OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica).

1.11.6. Protección radiológica

En lo que se refiere a la protección radiológica del paciente, la legislación española ha transpuesto la Directiva Europea 97/43/Euratom, que fija las medidas de radioprotección del paciente, en varios reales decretos. El objetivo es garantizar la mejora de la calidad y eficacia del acto radiológico médico, evitando exposiciones inadecuadas o excesivas, sin impedir el uso de las radiaciones ionizantes en el plano de la detección precoz,

BY NC SA

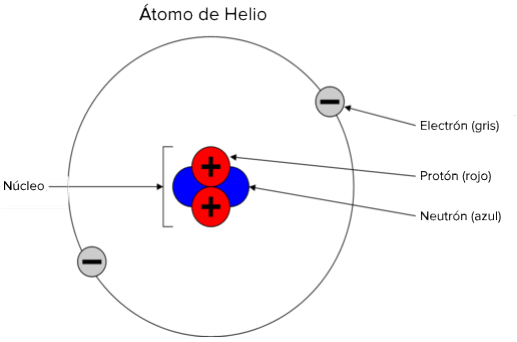
diagnóstico o tratamiento de enfermedades. Entre las disposiciones más importantes reflejadas en la normativa vigente están:

- Toda exposición a las radiaciones en un acto médico deberá estar justificada (Real Decreto 815/2001, de 3 de julio, de las radiaciones ionizantes, sobre justificación del uso para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas), realizarse al nivel más bajo posible de dosis compatible con el objetivo de la prueba diagnóstica y se llevará a cabo, siempre, bajo la responsabilidad del médico especialista.

- Todo el personal involucrado (médicos y operadores) deben poseer los conocimientos adecuados sobre técnicas aplicadas y las normas de radioprotección.

- Todas las instalaciones serán objeto de vigilancia estricta por parte de las autoridades competentes.

1.11.7. La estructura del átomo



Todo lo que nos rodea está compuesto por átomos, que representan los ladrillos con los que se construye cualquier material. Los griegos consideraron que el átomo era la parte más diminuta de la materia y le dieron el nombre que utilizamos hoy y que significa "una cosa que no puede dividirse". Este concepto de átomo indivisible se aceptó hasta 1897, en que Sir Joseph Thompson descubrió que podía descomponerse en partes más pequeñas. Consideró que el átomo es una especie de "pastel con pasas" donde las pasas serían los electrones. En 1913, Neils Bohr y Walter Bethe sugirieron la existencia de un núcleo con protones y neutrones rodeado por electrones girando en órbitas. Hoy el concepto de órbita totalmente definida ha sido sustituido por una probabilidad. Según el modelo ondulatorio de Schrödinger, los electrones se encuentran en orbitales, que se definen como las regiones del espacio donde es más probable encontrar el electrón. Aun así, en las explicaciones siguientes seguiremos el modelo de Bohr. En la figura se representa el átomo de helio, con los protones de color rojo, los neutrones de color azul y girando alrededor de éstos los electrones, de color gris.

Esta idea nos da una imagen muy útil del átomo. Así, los electrones son pequeñas partículas cargadas de electricidad; cada electrón tiene una carga negativa y puede eliminarse de los átomos de algunos materiales con una simple frotación (se conoce como electricidad estática). El átomo en su estado normal es neutro y sus electrones deben estar equilibrados por una carga positiva en el núcleo. Esta carga la proporcionan los protones, pues cada uno neutraliza exactamente a un electrón y lo mantiene en su capa mediante la atracción entre las cargas eléctricas. El número de protones del átomo es el número atómico.

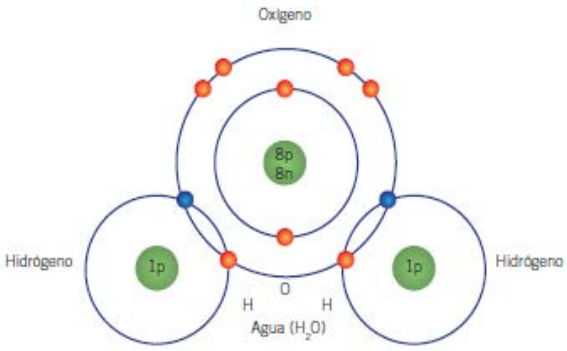
Los protones y los neutrones son unas 2.000 veces más pesados que un electrón y componen la masa del átomo. El número total de protones y neutrones es el número másico.

En resumen, podemos decir que:

- La masa atómica es el número de protones más neutrones.
- El número atómico es el número de protones.

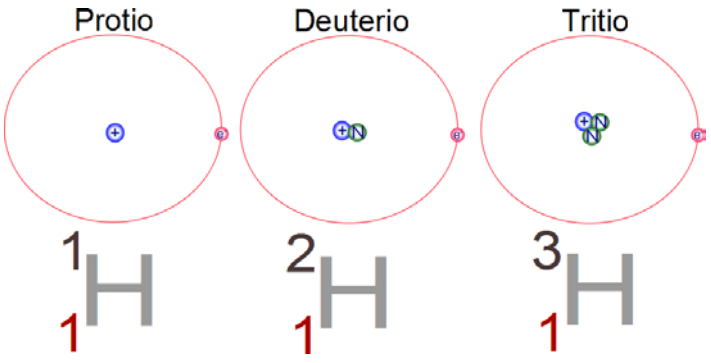
Examinemos el oxígeno, que es un átomo de mayor tamaño que el helio y tiene en su núcleo ocho protones y ocho neutrones. Naturalmente, el oxígeno debe tener un número atómico de ocho, que equivale a los ocho protones que están compensados por ocho electrones para hacer neutro al átomo. Estos ocho electrones tienen que estar en capas alrededor del núcleo y entendemos que éstos están en dos capas diferentes, dos en una interior y seis en otra exterior. Los electrones de la exterior son los que pueden eliminarse por ionización y son también los causantes de las propiedades químicas del elemento.

El agua es una molécula compuesta de dos elementos: Hidrógeno y oxígeno que reaccionan juntos a través de sus electrones externos. El Hidrógeno tiene un protón en el núcleo y un electrón en una capa, por lo que sólo tienen un electrón exterior. La molécula de agua tiene un total de ocho electrones en la capa externa, que sabemos que constituye una estructura química muy fuerte y estable. La energía liberada en esta reacción es la fuente de calor en la combustión del Hidrógeno.



Volvamos al núcleo. ¿Cómo puede ser estable? Sabemos que las cargas opuestas se atraen, pero en el núcleo existen muchos protones juntos y podría esperarse que los protones se repelieran unos a otros, lo cual es cierto, pero en el núcleo existen otras partículas que son los neutrones que actúan como un “adhesivo atómico” haciendo que el núcleo permanezca unido, mediante fuerzas nucleares.

Podría pensarse que el núcleo de Hidrógeno, al tener sólo un protón, no necesitaría ningún neutrón que actuara de enlace adhesivo y, sin embargo, hay otros dos tipos de átomos de Hidrógeno que contienen neutrones: el Hidrógeno-2, con un neutrón, al que llamarnos Deuterio, y el Hidrógeno-3, con dos neutrones, que se llama Tritio. Estos tres tipos de Hidrógeno son isótopos del Hidrógeno. Más adelante veremos que el “adhesivo” no funciona muy bien en el núcleo del tritio.



BY NC SA

1.12. LOS RESIDUOS RADIACTIVOS

Las actividades humanas con materiales radiactivos generan residuos a los que se denomina residuos radiactivos; la gestión de estos residuos tiene como objetivo fundamental que no se produzcan daños a las personas o al medio ambiente como consecuencia de las radiaciones ionizantes.

1.12.1. ¿Qué son y de dónde proceden los residuos radiactivos?

Un residuo radiactivo es cualquier material que contiene isótopos radiactivos en cantidades superiores a determinados valores establecidos por las autoridades competentes y para el cual no está previsto ningún uso.

Los residuos radiactivos se producen en las distintas aplicaciones en las que está presente la radiactividad:

- Aplicaciones energéticas. Se producen residuos radiactivos como consecuencia de la operación y el desmantelamiento de las centrales nucleares, entre los que se encuentra el combustible nuclear gastado. Todos estos residuos suponen alrededor del 90% de la producción total.

Combustible gastado procedente de las centrales nucleares

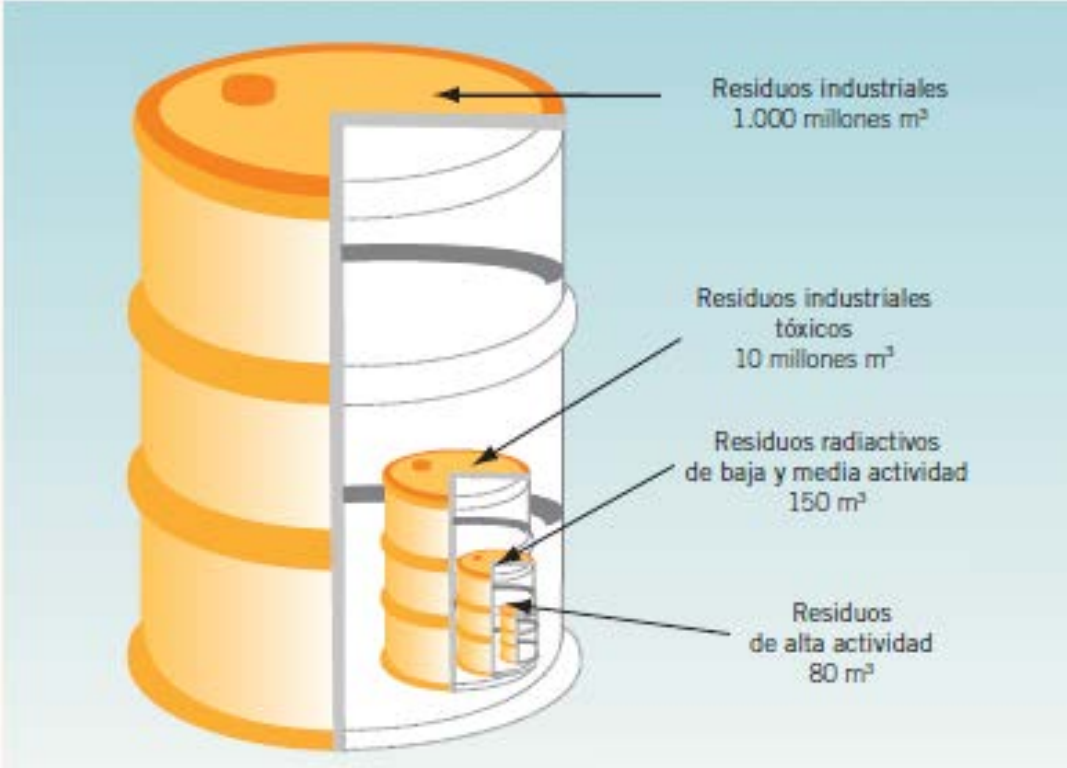
- Aplicaciones no energéticas. Derivadas de los usos de los isótopos radiactivos, fundamentalmente en actividades como investigación, medicina e industria. Este grupo se conoce como el de los “pequeños productores”. Todos estos residuos suponen alrededor del 10% de la producción total.

Los residuos radiactivos se clasifican en diferentes categorías teniendo en cuenta su nivel de radiactividad (muy baja, baja, media y alta actividad) y el periodo de semidesintegración de los isótopos radiactivos que mayoritariamente contengan (residuos de vida larga aquellos que contienen cantidades importantes de isótopos radiactivos cuyo periodo de semidesintegración sobrepasa 30 años y de vida corta en caso contrario).

En España hay que gestionar las siguientes cantidades de residuos radiactivos:

- Residuos de baja y media actividad (RBMA) y residuos de muy baja actividad (RBBA): 176.000 m^3.
- Combustible gastado de las centrales nucleares y residuos de alta actividad (RAA): 12.800 m^3.

En comparación con otros tipos de residuos, las cantidades de residuos radiactivos que se generan anualmente en toda la Unión Europea son pequeñas:



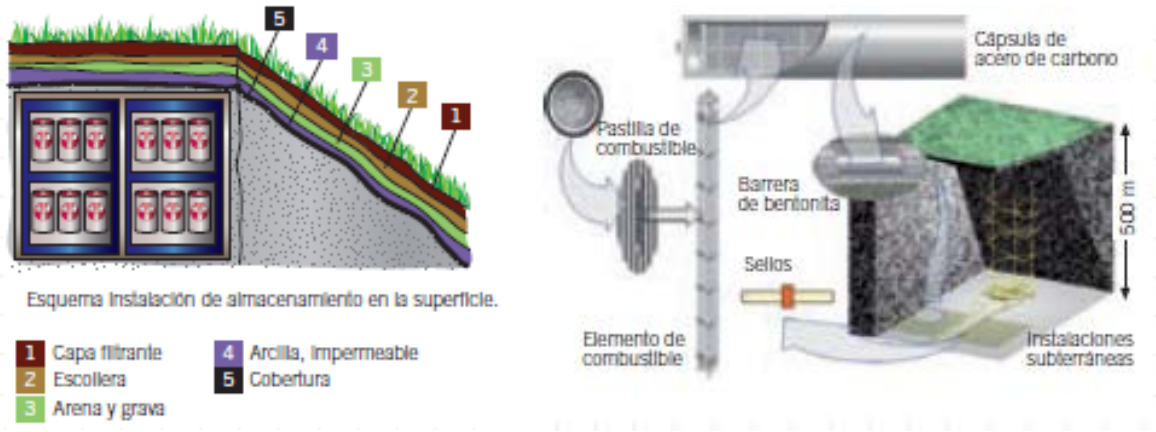
Producción anual de residuos en la UE

1.12.2. La gestión de los residuos radiactivos

El objetivo de la gestión a largo plazo de los residuos radiactivos es proteger a las personas y al medio ambiente contra toda emisión o diseminación de las materias radiactivas que contienen.

Para ello, los residuos radiactivos se concentran y se confinan hasta que su radiactividad desaparece, aislándolos del medio ambiente y de las personas mediante barreras que aseguran que los contaminantes radiactivos no se dispersarán y podrán llegar a producir algún daño.

En función del contenido de radiactividad, los residuos radiactivos se confinarán en instalaciones de almacenamiento construidas cerca de la superficie de la tierra (muy baja, baja y media actividad) o en formaciones geológicas profundas (alta actividad).



Instalación de almacenamiento en la superficie

1.12.3. La seguridad en la gestión de los residuos radiactivos

El Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) ha establecido los principios de seguridad que deben tenerse en cuenta en la gestión de los residuos radiactivos y que son aplicados en todos los países. Cada tres años, España se somete a un examen de carácter internacional para que los demás países valoren la seguridad de nuestra gestión de los residuos radiactivos. El primero de dichos exámenes se realizó en 2003.

Para el almacenamiento definitivo de los residuos de muy baja, baja y media actividad en España está en funcionamiento, desde 1992, la instalación superficial de El Cabril, en Hornachuelos (Córdoba).

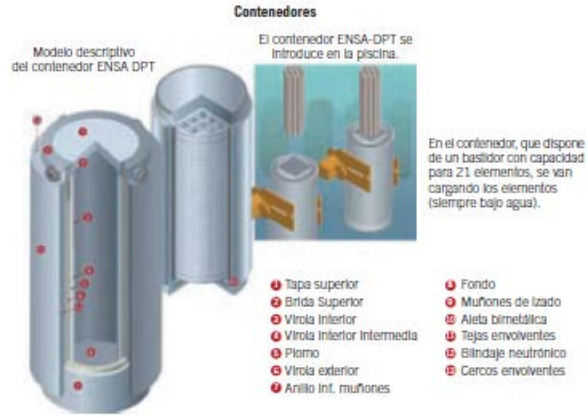
Centro de almacenamiento en superficie de residuos de baja y media actividad de El Cabril. Hornachuelos (Córdoba)

Mientras se decide una opción final para el combustible gastado y los residuos de alta actividad, es necesario poner en práctica soluciones para su almacenamiento temporal.

El combustible gastado de las centrales nucleares, una vez finalizada su vida útil, se descarga bajo agua en las piscinas existentes en las centrales. El agua actúa como refrigerante y blindaje frente a las radiaciones emitidas por el combustible gastado. Posteriormente, una vez saturada la capacidad de las piscinas, se han adoptado soluciones para cada central mediante la Almacenamiento Temporal Individualizado (ATI). Los elementos combustibles de introducen en contenedores que constituyen un

sistema de barreras ingenieriles (acero inoxidable, plomo y hormigón) para extraer calor residual y retener las radiaciones.

Estos contenedores están diseñados para ser almacenados a la intemperie o en un edificio y ser transportados para su posterior gestión.



Actualmente existen en operación ATI en las centrales nucleares de Trillo y José Cabrera.

La opción preferente para el almacenamiento temporal del combustible gastado es la construcción de un Almacén Temporal Centralizado (ATC) que será una instalación diseñada para guardar en un único lugar el combustible gastado de las centrales nucleares y los residuos de alta actividad que se producen en España.

El diseño de ATC estudiado hasta la fecha se dispondría en la superficie del terreno para almacenar en seco los residuos mediante un sistema de espacios modulares. El sistema diseñado blinda la radiación emitida y evacua el calor generado, garantiza el control y aislamiento del material radiactivo, proporciona capacidad de almacenamiento temporal durante cien años y permite la extracción posterior del combustible y otros residuos para las siguientes etapas de gestión.

En la actualidad se investiga la transmutación de elementos radiactivos como una posible vía para la gestión de los residuos de alta actividad y del combustible gastado, que permitiría reducir su peligrosidad.

La transmutación es la conversión de un elemento químico en otro mediante una reacción nuclear.

Aplicado a los residuos radiactivos, se trata de encontrar métodos para transformar los isótopos radiactivos presentes en los residuos en isótopos estables, eliminando de esta forma su impacto radiológico.

Un ejemplo de isótopo radiactivo que se puede transmutar en otro menos peligroso es el Tc-99, que tiene una vida media muy larga. Si el Tc-99 se irradia con neutrones, se transforma en Tc-100 por absorción de un neutrón. Este isótopo se desintegra para producir el elemento estable Rutenio, y lo hace en tiempos del orden de minutos, con lo que desaparece el problema de su almacenamiento a largo plazo.

BY NC SA

En España, la gestión de los residuos radiactivos se lleva a cabo por la empresa pública Enresa y el control de la seguridad en la gestión corresponden al Consejo de Seguridad Nuclear.

Puntos clave

Los residuos radiactivos se generan en las distintas aplicaciones de los materiales radiactivos como son la producción de energía eléctrica en las centrales nucleares y las aplicaciones en medicina e investigación.

La gestión de los residuos radiactivos se lleva a cabo aislándolos y confinándolos entre barreras de seguridad, hasta que su radiactividad decaiga a niveles que no puedan producir daños a las personas y al medio ambiente.

BY NC SA

2

INTERVENCIONES PARA PERSONAL DE EMERGENCIA EN PRESENCIA DE MATERIAL RADIACTIVO.

2.1. INTRODUCCIÓN

El uso de fuentes radiactivas en la sociedad actual es una realidad que va en aumento y que forma parte de nuestro presente y de nuestro futuro, tanto el cercano que es ya hoy, como el lejano que ya se dibuja y entrevé en el campo de la investigación.

Los centros de experimentación y exploración espacial, la medicina, los centros de investigación como CERN, son agujeros a través de los cuales es posible ver la "tendencia de la ciencia" investigan, experimentan y revolucionan la ciencia, la medicina y tecnología para los próximos años, décadas seguro y siglos, quizás ...,la apertura de nuevas puertas en la física, la matemática, la informática, la química y un largo etcétera. Todos ellos utilizan, investigan, crean y manipulan con cantidad y frecuencia, fuentes radiactivas o material radiactivo…exploran y crean un universo de isótopos radiactivos que van colocando donde pueden ser útiles al hombre y su evolución.

Que nos benefician es algo indiscutible y que todo el mundo disfruta directa o indirectamente de estos, también, el transporte, almacenaje, utilización y manipulación, suponen un riesgo elevado por la energía que estas fuentes radiactivas pueden llegar a "desprender" en caso de que se produzca una pérdida en su control.

La falta de percepción por cualquiera de los sentidos hasta niveles elevados y tardíos para reaccionar, hacen de este riesgo un enemigo que solo puede ser detectado con equipos de medición específicos y apropiados cuando estamos en su presencia., nos golpea fuerte con energía que puede llegar a matarnos y no estamos sintiendo nada.

También los servicios de bomberos y de emergencias en general, introducen en su día a día herramientas de última generación, algunas muy sofisticadas, en sus camiones y vehículos de respuesta, que cubren "siniestros" de los que algunos ya llaman "riesgos tecnológicos".

El riesgo radiológico es, en comparación de otros como el fuego, un auténtico "novato" y recién llegado a las estadísticas de emergencias.

Esta **baja estadística** origina la necesidad de abordarlo en un formato diferente.

La **experiencia** es el don más preciado de los servicios de emergencia.

Dos realidades enfrentadas que basan su solución en la **formación.**

Desde los primeros instantes de la emergencia hasta la coordinación interestatal que puede darse en emergencias de este tipo, con un aumento de su eficacia y objetividad, así como en su número de horas reservadas para esta emergencia, proponiendo como objetivo primordial la correcta activación e identificación desde los primeros momentos

El manejo y comprensión algunos aparatos de medición precisan de horas formativas, así como un mantenimiento posterior.

Para que un usuario sea considerado con garantía de no dar un falso negativo y positivos comprensibles y de calidad, precisa no sólo de una cantidad de horas formativas , sino que además precisa de horas para que el usuario adquiera la destreza de utilizarlo como su propio Smartphone, pero no solamente en una mesa o en un aula 20 minutos, si no en el terreno, con fuentes reales, con el stress, con el miedo y la alerta (que somos humanos) y resolviendo cualquier avería o incidencia que suceda en el aparato en ese momento, para cuando acudimos a la Intervención y la alarma empieza a pitar como una loca y se enciende una lucecita…y hay que saber lo que pasa.

BY NC SA

Una “especialización “que origina en los escenarios propuestos diferentes fases y niveles formativos por objetivos, cubiertos por los diferentes componentes de la Protección Civil en los diferentes grupos de acción y desde los primeros Intervinientes hasta las estructuras más impresionantes, como la UME, que, a pesar de su juventud, ha demostrado sobradamente la responsabilidad que están dispuestos a asumir en las condiciones más hostiles.

Para empezar, cada servicio de bomberos y su administración han de tener claro, sobre todo, donde están, hasta donde quieren llegar y hasta dónde pueden llegar, con el objetivo de que en el momento en el que estemos en presencia de una emergencia con presencia de material radiactivo, apliquemos lo antes posible las medidas de seguridad correspondiente según lo que dispongamos y entender que hay entre otras cosas que pedir refuerzos, o ayuda, o asesoramiento…pero sobre todo saber ¡a quién!

Demasiadas veces en la cultura popular y en los servicios de emergencia se mezcla la N con la R como pasa también con siglas NRBQ , conviven en un acrónimo pero en realidad cada una de ellas tiene sus propias características, y aunque es cierto que comparten parte de sus procedimientos o planes de intervención, existen diferencias entre las cuatro que han de ser muy tenidas en cuenta, especialmente aquellas que pueden generar un error en conceptos que afecten directamente a la salud de los Intervinientes o incrementen el riesgo de las víctimas.

Al final, una guía como esta del año 2018 quiere tener también muy en cuenta la protección de los trabajadores de los servicios de emergencia, por lo que la orientación será siempre dentro de los parámetros legales y la prevención del riesgo laboral, especialmente en los efectos deterministas y estocásticos que se dan en estas emergencias para los trabajadores que intervienen.

El control de la seguridad de los intervinientes y hacer todo lo posible para que cualquier dosis sea lo más bajas posibles en cuanto se pueda, solo pueden conseguirse con una buena planificación, una buena formación y una respuesta bien preparada en todos los ámbitos, también el político.

Esta guía solo habla de R…riesgo radiológico o presencia de fuentes radiactivas para usos industriales, médicos, generadores de energías pequeños, aceleradores de partículas y un largo etcétera, pero en ningún caso referente a fisión nuclear que es a lo que se refiere la N y que se aborda en toda la documentación de las centrales nucleares.

El respeto profesional y la enseñanza mutua y recíproca entre la Emergencia y los técnicos, científicos y expertos es en este tipo de intervenciones es un factor a tener en cuenta, debiéndose recrear y entrenar el intercambio de información entre ambos a fin de que en la Emergencia todos hablemos el “mismo idioma”.

El uso de EPI’s apropiados y el entrenamiento que conllevan es en muchos casos mal valorado, en ocasiones por empresas o técnicos que asocian incorrectamente los trabajos rutinarios y en condiciones tranquilas con las situaciones reales de emergencias, con víctimas implicadas, o con invenciones que pueden durar días, que generan incluso en las profesionales situaciones límite y de riesgo para lo que estamos entrenados. No son un juego.

Un equipo de Protección respiratorio autónomo requiere para un bombero años de entrenamiento hasta adquirir destreza en su manejo. Verlo en una estantería y que alguien piense que el día que suceda una Intervención se lo pondrá y manejara sin más no suele funcionar en las emergencias.

CC BY NC SA

La utilización de trajes de protección con sus consiguientes procedimientos de vestido y desvestido, las condiciones de trabajo en situaciones complicadas y de esfuerzo y el estrés térmico que originan, exigen un entrenamiento constante y concienzudo para evitar accidentes que desgraciadamente han sucedido y seguirán sucediendo hasta que cada uno comprenda su rol en estas emergencias. El papel todo lo aguanta, como se suele decir.

El problema de estos equipos no es cuando todo funciona perfecto y va de maravilla, el problema y la dificultad es que cuando fallan (que fallan) resolver lo que sucede, o entenderlo y reaccionar puede ser y es la diferencia entre la vida y la muerte.

Del otro lado, la utilización de los equipos de detección especialmente los de segunda fase, necesitan de una formación y comprensión técnica apropiada, no basta con pasearlo y leer la pantalla. Los rangos de energía y los diferentes tipos de radiaciones emitidos por las fuentes, son un mundo muy complejo.

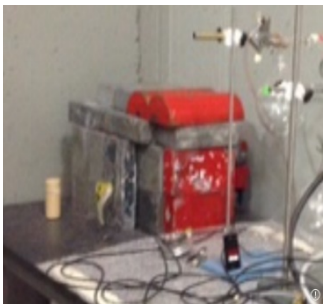
Ni todos los aparatos detectan todas las energías, ni todos los aparatos detectan todas las radiaciones, ni todas las radiaciones se buscan de la misma manera, ni todos los escenarios son iguales…y un largo etcétera, que debe hacernos reflexionar sobre el manejo de estos aparatos por parte de los servicios de emergencia y las horas de entrenamiento necesarias para cualificar personal (practicar y reciclar).

Esto no es impedimento sin embargo para poder asegurar una primera respuesta muy completa aún en ausencia de estos equipos y contando con otro que en primera respuesta sí que puede ser fundamental como es el dosímetro de lectura directa o DLD, y una segunda respuesta o fase que debe incluir equipos de medición de contaminación y radiómetros en los servicios de bomberos que nos permita comenzar a gestionar lo antes posible lo que está sucediendo.

Otra de las características de estas intervenciones es que la formación en identificación e interpretación puede, y de hecho es suficiente, en muchos casos resolver la intervención sin necesidad de desplegar más que los medios adecuados sin crear una alarma innecesaria.

La presunción de que todo está guardado en su sitio cuando las cosas pasan, forma parte del mundo ideal lejano a la emergencia, que muestra empíricamente que los sucesos casuales se juntan y pueden causar situaciones muy graves, creadas por la mano del hombre o por la naturaleza.

Las fotos a continuación muestran un castillo con ladrillos de plomo en una instalación radiactiva. Se puede observar claramente como las condiciones de ese blindaje son más que discutibles en caso de cualquier incidente adicional como fuego (bomberos rastreando o apagando sin visibilidad), derrumbe o inundación.



BY NC SA

Sin embargo, y pese a la poca estadística de sucesos, entre otras cosas por ser un tipo de siniestro “moderno” y por un estricto y fiable control nacional e internacional, normativo en todo su transporte, almacenamiento y utilización, existe la posibilidad (no la probabilidad) de encontrar incidentes o accidentes en los que los materiales radiactivos pueden generar un serio peligro para la salud de las personas.

El objeto de esta Guía también es ofrecer el desarrollo de las fases estratégicas propuestas por diferentes referentes a nivel internacional para abordar este tipo de intervenciones, dividiendo en fases la respuesta para controlar los tiempos y las acciones a fin de minimizar los riesgos, asegurando la máxima efectividad, descartando por medio de la formación e información aquellas intervenciones en las que el Riesgo sea bajo o nulo pese a la presencia del material (que son muchas), pero sobre todo detectar emergencias que pueden ser de magnitud lo antes posible y activar correctamente en ese caso todo el mecanismo de emergencia.

No podemos terminar esta introducción sin hacer alusión a las amenazas y actos terroristas en un momento como el actual, donde cualquier tipo de amenaza o explosión desconocida debe incluir un descarte de material radiactivo presente, no solamente en las escenas del atentado si no también en los pisos francos utilizados por estos terroristas para la elaboración de dichos artefactos. La detección preventiva tiene un papel importantísimo en este sentido y ya son muchos los países que dotan a patrullas de policías de detectores muy sensibles y sencillos para pasearlos en lugares públicos y anticiparse.

2.2. FASES DE UNA INTERVENCIÓN

La división en fases de una Intervención con presencia de material radiactivo no es ni más ni menos que una manera de establecer un orden en las acciones que asegure que se cumplen todos los objetivos a conseguir, donde saltarse un paso o no comprender el riesgo, puede crear muchos errores en cadena difíciles de solucionar a posteriori.

Estas fases creemos que pueden facilitar la “puesta en escena” de los escenarios que han de ser creados por los grupos de intervención, y siguiendo con el símil, los actores y los guiones de cada uno de ellos, que cuanto más coordinados, mejor saldrá todo.

Están profundamente ligados a los niveles formativos, específicos del riesgo radiológico y generados por cada fase y los objetivos a cumplir en cada una de ellas, y adecuados por supuesto a los niveles recomendados por la OIEA y otros manuales y servicios de emergencia internacionales , que demandan, identifican y proponen con/ y en diferentes documentos y maniobras las figuras a desarrollar y un Manual para “**Primeros Intervinientes**” así como su necesidad formativa en niveles como fundamental.

Estos “**Primeros Intervinientes**” son sin duda el personal más numeroso, más importante y más vulnerable en la Intervención. Son el principal objetivo de esta Guía. También considerado en otros manuales como “Personal no especializado”, denominación curiosa por qué SI tienen formación en información Nivel I o básico, pero no son considerados “Personal especializado”. Veremos estas dos figuras más adelante con detalle.

BY NC SA

ESTRATEGIA DE FASES EN INTERVENCIONES CON PRESENCIA DE MATERIAL RADIACTIVO				
	1ª FASE *NOTIFICACIÓN* *EVALUACIÓN* *ACTIVACIÓN* **PRIMERA RESPUESTA OPERATIVA** ***NO ESPECIALIZADO***	**2ª. FASE (control)** *GESTIÓN SINIESTRO* *CRITERIOS RADIOLÓGICOS* **ESPECIALIZADO**	**3ª FASE (Puesta a seguro)** *ACCIONES PLANIFICADAS* *ALARA* ***ESPECIALIZADO***	**4ª FASE** *ACCIONES PLANIFICADAS* *ALARA* *FIN INTERVENC.*
Objetivos y acciones	Reconocimiento Control Riesgos Rescate y protección de víctimas Acciones mitigación en zona caliente Riesgos no radiológicos. Control contaminación Filiación	Control de la primera fase y sus consecuencias e información. DOSIMETRÍA Trabajo en fuentes Mapa radiológico Monitorización Asignaciones de dosis a Intervinientes	Implantación de medidas y decisiones de 2ª fase. Planificación acciones. DOSIMETRIA Asignaciones de dosis a Intervinientes. Recuperación fuentes.	Decisiones sobre contaminación en el terreno Comprobaciones y verificaciones Mapa descontaminación.
Figuras	Equipo intervención Equipo SOS Jefe dotación Controlador	Asesor radiológico. DOSIMETRIA en intervenciones. Especialistas en equipos de medición. Comunicación.	Asesor radiológico Especialistas en mediciones y recuperación De Fuentes. Especialistas monitorización. Comunicación.	Especialistas en descontaminación. Transportes
Material a utilizar	EPI´s bomberos ERA (contamin.) Filtros FFP3 Guantes vinilo Dosímetros Fichas respuesta Prismáticos Material señalización.	EPI´s apropiados a riesgo. Prismáticos. Fichas ayuda. Pizarra campo Equipos de medición. Pértiga. Elementos blindaje	EPI´s apropiados a riesgo. Tele herramientas. Elementos blindaje. Fichas ayuda.	El apropiado a los tipos de descontaminación. Almacenes temporales.
Nivel formativo	“No especializado” RAD 1	Especialistas RAD 2	Especialistas RAD 3	

2.3. PRIMERA FASE

La primera fase comienza con tres acciones que no forman parte de las medidas que se toman sobre el escenario del siniestro, pero que son fundamentales para el éxito y la coordinación de toda la secuencia, por lo que consideramos imprescindible incluirlas aquí.

Las tres acciones, que precisan también de formación y práctica son:

- Notificación.
- Evaluación.
- Activación.

Los primeros momentos desde la recepción de la llamada, han de seguir una secuencia procedimentada específicamente en riesgo radiológico, a fin de agilizar la velocidad y adecuada respuesta.

El CSN es el órgano de referencia y primero que ha de ser informado y activado en cualquier escenario en el que se sospeche o encuentre material radiactivo.

Si bien las tres primeras etapas de esta primera fase no se producen sobre el terreno, (notificación, evaluación y activación) forman parte del entramado tanto organizativo como del operativo, y por tanto van a depender ya de una transmisión de información que ha de ser analizada y tenida en cuenta en la activación desde el primer momento.

Notificar, evaluar y activar un siniestro con presencia de material radiactivo es ya un buen comienzo.

La demanda formativa del personal que corresponde a estas tres primeras etapas está claramente ligada al conocimiento y soltura en el manejo de dicha secuencia procedimentada específica para el riesgo radiológico, así como al manejo de la información referente a la llamada recibida y que contenga algún tipo de información sobre el suceso y su origen radiactivo.

Personal de salas 112, salas de comunicaciones de policía, sanitarios, bomberos, etc. han de ser los receptores de esta formación.

- **Notificación**: Incluye tanto la notificación de la Emergencia al resto de servicios de Emergencia implicados, como la distribución de las instrucciones o la información a la organización de la respuesta. Los procedimientos de notificación deberán ser claros y garantizar la fluidez de las comunicaciones, de manera que la respuesta sea lo más rápida y eficaz posible.

- **Evaluación**: Es importante una rápida evaluación del riesgo que permita disponer lo más pronto posible de una clasificación de la Emergencia que a su vez haga factible dar instrucciones concretas para los primeros actuantes y en general a toda la organización de respuesta.

  Como norma general será el CSN el que realizará la evaluación con la información disponible, que en este caso será la que recopilen los servicios de primera respuesta sobre el escenario.

- **Activación:** La activación de los servicios de emergencia debe estar adecuada al nivel de evaluación resultante. Los planes regionales y municipales de riesgo

radiológico han de tener en su contenido la estructura jerárquica y organigramas correspondientes, y serán activados según su propio organigrama.

2.3.1. Primera respuesta operativa

Los primeros intervinientes o personal no especializado conforman la primera respuesta sobre el terreno, que le correspondería el RAD 1 de formación.

Está compuesto por Policías, Bomberos, Ambulancias, Vigilantes y Agentes de seguridad privada, etc., sin olvidar la parte de población que decide ayudar por iniciativa y que va a formar parte del escenario.

Son los primeros en llegar y por tanto los primeros en emitir una información fiable para las centrales de comunicación que estarán expectantes para evaluar y activar según procedimientos, lo necesario.

2.3.1.1. Guía de acciones

Establecer desde el primer momento la Distancia de Seguridad que vamos a denominar “a priori”, respetando los criterios de Zonificación sin aparatos de medición que están contenidos en la tabla del manual de primeros intervinientes de la OIEA que se encuentra a continuación.

Situación	Zona interior acordonada inicial (perímetro de seguridad)
Determinación inicial - exterior	
Fuente no blindada o potencialmente dañada [18]	30 m circundantes[19]
Derrame importante de una fuente potencialmente peligrosa	100 m circundantes[19]
Incendio, explosión o humos relacionados con una fuente potencialmente peligrosa	Radio de 300 m [19]
Presunta bomba (posible DDR), explosionada o no explosionada	Radio de 400 m o más para la protección contra una explosión[20]
Determinación inicial – dentro de un edificio	
Daño, pérdida de blindaje o derrame relacionado con una fuente potencialmente peligrosa	Zonas afectadas y adyacentes (incluidos pisos superiores e inferiores)
Incendio u otro suceso asociado a una fuente potencialmente peligrosa que puede propagar materiales en todo el edificio (p.ej., a través del sistema de ventilación)	Edificio completo y distancia exterior apropiada indicada *supra*
Ampliación basada en la monitorización radiológica[21]	
Tasa de dosis ambiental de 100 µSv/h[22]	Dondequiera que se midan estos niveles

19 Brinda protección contra la exposición externa a una fuente de gran magnitud (p.ej., Cs-137 de 100 TBq), que puede dar por resultado efectos deterministas graves para la salud. El radio recomendado está en conformidad con la referencia [6].

20 Para brindar protección contra fragmentos de bombas (incluidos fragmentos radiactivos).

21 La tasa de dosis no permite evaluar todas las vías de exposición y sólo debe utilizarse como base para ampliar la zona, no para reducir el tamaño de la zona interior acordonada. Sólo un evaluador radiológico puede evaluar todo el riesgo radiológico. Sólo un evaluador radiológico puede reducir el tamaño de la zona en función de las condiciones radiológicas.

22 La tasa de dosis ambiental se mide a 1 m por encima del nivel del suelo o del objeto.

Utilizar EPI's para protegerse de la contaminación con cierta garantía, los servicios de emergencia que lleven dichos EPI´s han de utilizarlos y los que nos lo llevan evitar penetrar en la zona caliente hasta que dispongan del…especialmente para aquellos Servicios de emergencia que no los llevan en su material de respuesta.(policías, vigilantes) .En estos casos la simple incorporación de una mascarilla FFP3, vestimenta de manga larga y unos guantes de látex/nitrilo puede aumentar notablemente la protección contra la contaminación radiactiva y evitar que pase a ser interna, unido a los conceptos correctamente aprendidos y aplicados de distancia, tiempo y blindaje pueden completar una secuencia en primera respuesta más que aceptable.

Recopilar la mayor y mejor información posible sobre el origen "radiológico" del siniestro, a fin de hacer fluir la información a los expertos y ajustar los niveles de Emergencia.

Las medidas de salvamento de vidas no deben demorarse por la presencia de material radiactivo. No debe negarse la atención a ninguna víctima por una posible exposición o contaminación.

Se establecerá desde el primer momento, de acuerdo con los medios sanitarios, un punto de confinamiento de todas las víctimas válidas e inválidas que vayan siendo extraídas.

Se establecerá desde el primer momento un punto de control de contaminación y confinamiento si es necesario de los primeros intervinientes.

Se realizará lo antes posible una filiación de todas las victimas e intervinientes a fin de asignar a posteriori las dosis correspondientes en función del escenario.

Se realizará lo antes posible un croquis y anotaciones del escenario que incluya distancias, tiempos y acciones efectuadas en la zona caliente, a fin de recrear el escenario posteriormente y asignar las dosis a los implicados.

Podría considerarse finalizada y dar paso a la fase 2 cuando la urgencia de salvamento de vidas y la mitigación de riesgos adicionales (en mayor o menor medida) hayan sido cumplidos como objetivos prioritarios o lo estén siendo a la llegada de personal especializado.

La 1ª fase puede durar 5 o 10 minutos en los casos más favorables, y lo que haga falta cuando haga falta en aquellas circunstancias en las que concurran varios siniestros en uno como los casos de derrumbe, atentado, incendio grave o colapso de estructuras en instalaciones que utilicen material radiactivo, etc.

BY NC SA

2.3.1.2. Ficha 1ª respuesta

TASA DE DOSIS	Tiempo ocupación total en el que la dosis superan 50 mSv	Tiempo ocupación total en el que la dosis superan 500 mSv
0.1 mSv/h 100 µS/h	500 horas	5000 horas
1 mSv/h	50 horas	500 horas
10 mSv/h	5 horas	50 horas
100 mSv/h	30 minutos	5 horas
1000 mSv/h 1 Sv/h	3 minutos	30 minutos

	Nombre de la victima	Tiempo de exposición	Distancia con la fuente
1			
2			
3			
4			

	Nombre del interviniente	Tiempo de exposición	Distancia con la fuente
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Dibujar esquema de situación:

Recomendaciones

Encendido aparatos medición. Dosímetro. Prismáticos

Todo los intervinientes con protección E2+ ERA

Zonificación a priori: Sospecha contaminación-300 metros y viento de espaldas Nunca más de 100microSieverts/h. Sin contaminación confirmada 50 metros

Riesgos asumibles .No asumibles.

Mitigación riesgos inmediatos.

Búsqueda y rescate de posibles víctimas en la zona caliente. (Binomios/trinomios)

Búsqueda de información referente a las fuentes radiactivas afectadas.

Envío información constante a CCCC/Salem CSN

Preparar recepción víctimas e intervinientes. 0,3 µS/h

Rellenar ficha.

Necesidad urgente de Monitorización radiológica con radiómetros.

Activación1ª alarma 0,20 mSv	Tiempo de trabajo para Llegar a 50 mSv	Tiempo de trabajo para llegar a 500 mSv
1 minuto	250 minutos	2500 minutos
30 segundos	125 minutos	1250 minutos
15 segundos	75 minutos	750 minutos
10 segundos	41 minutos	410 minutos
5 segundos	20 minutos	200 minutos
2 segundos	**8 minutos**	**80 minutos**

Tabla asociada a la dosimetría en 1ª Respuesta

La tabla anterior, que también se encuentra en la ficha de *primera respuesta*, asocia directamente las alarmas de dosis fijadas (0,20 mSv 1ª alarma, 0,50 mSv 2ª alarma, 1 mSv 3ª alarma y 2 mSv 4ª alarma) con la noción de riesgo que representa en el escenario, relacionado directamente con el tiempo transcurrido desde la llegada y penetración en el escenario hasta que se ha producido la activación de la alarma y el tiempo estimado de trabajo hasta llegar a los diferentes niveles establecidos y justificados en esta fase por el salvamento de vidas.

2.3.1.3. Puntos de confinamiento y control de contaminación.

Los puntos de confinamiento y control de la contaminación de público, víctimas (válidas e inválidas), los intervinientes han de estar presentes desde el primer momento en el que se produzca la identificación y activación de que en la Emergencia hay presencia de material radiactivo implicado.

Si bien es cierto que no en todos los casos asociados a riesgo radiológico va a estar presente la contaminación, solo personal con la formación adecuada puede determinar verdaderamente la ausencia de dicha contaminación y por tanto la eliminación de cualquier recurso durante la Intervención destinado a realizar el control de la misma.

Como norma general, se considerará la presencia de contaminación y por lo tanto la implantación de los recursos hasta que se demuestre la ausencia de la misma por especialistas cualificados.

Los puntos de control y de confinamiento propuestos a continuación son tres:

- Punto confinamiento y control de contaminación de víctimas.
- Punto confinamiento y control de contaminación de público sin lesiones.
- Punto confinamiento y control de contaminación de Intervinientes.

- **Punto de confinamiento y control de contaminación de victimas**

Gestionado por los servicios Sanitarios, dando asistencia, recepcionando y realizando el triaje médico a todas las víctimas, válidas o inválidas, que estén siendo extraídas de la zona caliente y que necesiten asistencia sanitaria.

- **Punto de confinamiento y control de contaminación del público.**

En este punto ha de realizarse el confinamiento, filiación y control de la contaminación del público que se encontraba en la zona caliente en el momento del incidente y que no presenta ningún tipo de lesiones. Es importante entender que este público ha de ser retenido y reclamado hasta el punto elegido para una vez que contemos con los equipos y el personal cualificado podamos realizar su monitorización.

La ducha de emergencia, el lavado de cara y manos, así como suministrar mascarillas,

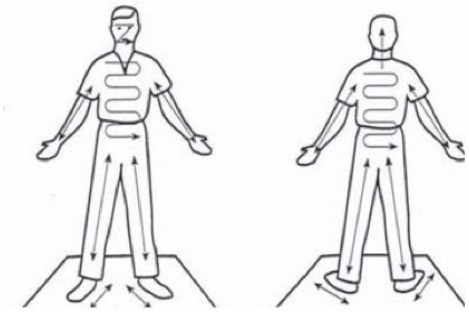
ropa seca y recomendaciones de no tocarse ni comer ni fumar hasta haberlos monitorizado y tratado, realizando un desvestido procedimentado, es lo más recomendable en estos casos, prestando especial atención a aquellas personas que portan contaminación visible, que estaban cerca de la fuente y, especialmente las que portan en manos, pelo, hombros y cara (presunción de contaminación interna).

En muchos casos pueden haber ya abandonado el escenario y ser localizados por los medios de comunicación, herramienta operativa fundamental en estos casos, por lo que pueden recibir instrucciones si ya están en casa siguiendo la premisa anterior.

Existen vídeos y recomendaciones muy interesantes sobre cómo auto descontaminarse en casa; posteriormente han de pasar también un control de contaminación interna.

La posibilidad de tener un escenario con gran cantidad de público afectado nos hace reflexionar sobre el grave fallo que puede producirse si no se prevé esta posibilidad.

Gestionado por los servicios de bomberos con asistencia de otros especialistas grupo de seguridad o sanitario en los casos en los que pueda verse desbordada la cantidad de público por el tipo de emergencia, el recurso “triaje radiológico “aparece como una buena alternativa, en los que hay que realizar una monitorización de mucho público.100 personas o 2 horas de espera es considerado por algunas guías una cifra para realizar su implantación.



El triaje en estos casos ha de ser práctico y eficaz, y puede separar grupos de público por umbrales de contaminación, lo que nos permitiría dar urgencia a los casos más importantes y asumir cantidades pequeñas de gente con niveles muy bajos de contaminación que puede ser enviada a casa con instrucciones para realizar.

Este tipo de procedimiento ha sido extraído y se encuentra desarrollado y explicado al completo en la guía TMT handbook.

Gran parte de este público son los que se consideran “preocupados con motivo” ya que han estado en la escena y requieren saber su nivel de riesgo con respecto a la contaminación, el objetivo es identificarlos cuanto antes a fin de poder extraerlos.

BY NC SA

- **Punto de confinamiento y control de contaminación de intervinientes.**

La primera respuesta de los servicios de emergencia, y en este caso concreto la de los bomberos, se hace generalmente con trajes de intervención que cubren riesgos adicionales (mecánicos, térmicos, etc.) que cubren perfectamente la protección para la contaminación, pero que pueden presentar dificultades en el proceso de desvestido, y más cuando una premisa fundamental en este proceso es retirar el equipo de protección respiratoria en último lugar.

Los trajes específicos solo para el riesgo de contaminación (tipo 3, 4 y 5, etc.) son mucho más sencillos en cuanto a procedimiento de desvestir, por lo que será el mismo que se utiliza en el resto de situaciones, con la particularidad de intentar siempre hacerlo en seco y con la eliminación de la protección respiratoria en último lugar del desvestido.

La contaminación se considerará presente hasta que se demuestre su ausencia o se realice la evaluación por expertos.

El punto de control y confinamiento de la contaminación de los intervinientes pretende asegurar que todo el material radiactivo (contaminación externa) que puedan portar en sus EPI´s sea retirada con un procedimiento adecuado a fin de asegurar que no se produzca la dispersión del mismo y lo que es más importante, que no penetre en ningún caso en el interior del organismo pasando a ser contaminación interna.

Como norma general, evitar cambiar la contaminación de sitio, lo ideal es confinarla y realizar el procedimiento de desvestido descrito más adelante y en seco, introduciendo todo en bolsas con el correspondiente etiquetado. La descontaminación y el proceso de desvestido “en seco” han de ser entrenados y conocidos por el personal que lo va a realizar, eliminando la protección respiratoria SIEMPRE en la última parte del proceso.

El uso de agua para eliminar la contaminación depositada en los EPI´s sólo se utilizará en los casos en los que la gravedad y cantidad de dicha contaminación sea tan grande que el proceso de desvestido no pueda ser realizado con todas las garantías. En estos casos, la recogida de agua contaminada será obligatoria, y jamás se eliminará el procedimiento sistemático del desvestido por si el proceso con agua no ha eliminado la contaminación.

2.3.1.4. Materiales en primera respuesta

La lista de materiales expuesta a continuación es la asociada a las acciones de primera respuesta y por lo tanto interesantes en vehículos asociados a estas. En el caso de bomberos, es material normal que suelen y deben ir en los vehículos de primera respuesta.

BY NC SA

El único añadido como elemento específico en este tipo de emergencias es el ***DLD o dosímetro de lectura directa***, recomendado por la OIEA en primera respuesta por su sencillez, eficacia y poco coste económico.

Es importante destacar que el **dosímetro** es considerado por muchos (nosotros entre ellos) como un elemento de Autoprotección en la primera respuesta de la emergencia, y que su función *principal* es la de indicar la DOSIS (microSv, mSv,…)que se está recibiendo en ese punto concreto el dispositivo.

Algunos modelos disponen en su menú de la medición en “tasa de dosis”, o el paso unos segundos a dicha pantalla, que puede mirarse en la ficha de primera respuesta en las mediciones de tasa de dosis (mSv/h), pero no es un “radiómetro” como tal, por lo que no ha de utilizarse en sustitución de este.

Destacar la importancia de anotar en el plano de la escena en primera respuesta toda la información referente a tiempos , distancias, gestos y posiciones (en la medida de lo posible), puesto que se van a asumir las dosis por el salvamento de vidas pero también ha de mirarse, y esto forma parte de las funciones de seguridad en la intervención, por el derecho de estos intervinientes a conocer con la máxima precisión posible las dosis recibidas en el transcurso de su trabajo, tanto para incorporarlo a fichas personales de historial médico, como por llegar a ser tenido en cuenta tanto en enfermedades futuras como por las lesiones que puedan originarse a consecuencia de la radiación.

Esta es una de las funciones para las que puede ser utilizada el dosímetro; posteriormente, en la fase de control y asignación de dosis, su función será variada a avisadores acústicos cuando el portador llegue a la dosis fijada para su tarea, teniendo en cuenta que en esta fase ya conoceremos el mapa radiológico.

La recreación de escenarios colocando el dosímetro en la posición de los intervinientes el mismo tiempo que hayan empleado, es otra de sus utilidades, y permite obtener los datos requeridos que mencionábamos.

Incorporar un dosímetro a una víctima cuyo rescate precisa planificación también puede ser interesante.

BY NC SA

1 Protección. Respiratoria-aislamiento de atmósfera con contaminaciónradiactiva. Evita contaminación interna. Eliminar siempre lo último en desvestido	**ERA-equipo de respiración autónoma** con botella de aire comprimido, máscaras de presión positiva y atmósfera independiente. Máxima seguridad Dificultad desvestida	**Filtros-específicos** para partículas con máscara o semi-máscara, en concreto los P3 con factor de penetración menor de 0,05% Atención a concentraciones. Buena seguridad Desvestido aceptable	**Máscaras FFP3** Excepto en gases, buena seguridad Desvestido fácil. Diferencias importantes en cuanto a comodidad.
2 Guantes látex/vinilo	Evitar contaminación en la piel de la mano. A ser posible, doble guante siempre. En caso de estar contaminados cambiar los externos.	Pueden deteriorarse fácilmente por tener poca resistencia mecánica. Llevar de repuesto.	
3 EPI´s Equipos intervenciónón Bomberos. Chaquetón y pantalón. Ropas de manga larga o chubasqueros.	Evitan contacto contaminación con piel. Facilitan la eliminación de la contaminación depositada sobre los intervinientes.		Desvestido metódico y sistemático para evitar ingreso en organismo.
4 DOSÍMETRO	Dispositivo de Autoprotección utilizado para medir la dosis recibida. Lleva tabla de riesgo asociado.	Útil en recreación de escenarios para asignar dosis posteriormente a primeros intervinientes. También posible situar en víctima que requiere rescate prolongado.	Imprescindible en segunda y tercera fase para todos los intervinientes. Posible uno por binomio.
5 Materiales varios y de señalización	Señalizacion de la zonificación con conos, mangajes , triángulos,……	Megáfonos muy útiles para reclamar atención gente y agrupar Camillas extracción rápida	Prismáticos Fichas de filiación Fichas datos primera respuesta

2.3.1.5. Acciones mitigación en zona caliente

Las acciones de mitigación en zona caliente son las encaminadas a atenuar lo antes posible los riesgos que han sido localizados en el escenario.

Como estrategia para intervinientes, vamos a separarlas en:

- Acciones sobre la o las victimas
- Acciones sobre la o las fuentes
- Acciones sobre riesgos adicionales

En las **acciones sobre las víctimas**, a la hora de proteger por el incidente radiológico, se trata de protegerla de los dos Riesgos que ya sabemos que nos podemos encontrar, RADIACION Y CONTAMINACIÓN.

La extracción y alejamiento de la víctima es aplicar distancia y tiempo.

Aplicar un blindaje entre la víctima y la fuente es otra opción a valorar.

Protección respiratoria, desvestidos, ducha, lavado,…. protegen de la contaminación.

Confinar la contaminación en la víctima por medio de mantas evita la dispersión de material radiactivo en caso de que la vida del paciente esté en peligro y haya que realizar el traslado de forma inmediata.

Las **acciones sobre las fuentes** en caso de urgencia han de ser tomadas con más precaución, puesto que la falta de formación puede generar un accidente; volvemos a la formación y a lo importante que es para que los intervinientes en esta fase puedan realizar una acción con el mínimo riesgo y comprendiendo la situación.

Existen elementos como palas o bicheros en los camiones de bomberos que con la precisión y rapidez adecuadas pueden servir de gran ayuda…eso sí, con el conocimiento y la comprensión adecuadas adquiridas en la formación.

Cambiar la fuente de sitio aplicando la distancia con respecto a las víctimas puede ser en ciertos casos una buena opción, especialmente cuando la extracción es complicada por el número de víctimas o por encontrarse atrapadas algunas (accidentes, colapsos…).

Blindar la fuente en el escenario también es una opción si se encuentran blindajes de fortuna, pero hay que aprender a buscarlos….saber qué sirve y qué no.

Tapar y señalizar correctamente con plásticos la zona contaminada en los casos de polvos o líquidos puede ayudar mucho a evitar su dispersión.

Las **acciones sobre riesgos adicionales** se refieren a aquellos que pueden estar también presentes y que en muchos casos han de ser tratados antes que el radiológico puesto que pueden tener mayor importancia.

El fuego, siempre que esté presente, exige su rápida extinción ya que va a empeorar cualquier escenario. Es cierto que las técnicas de extinción pueden elegirse empezando por la que genere menos residuos (CO_2 o mantas ignífugas) pero, en caso necesario, el uso de agua como agente ha de utilizarse con control y ser conscientes de que genera un residuo que hay que tener en cuenta.

En los casos de fugas líquidas las retenciones con absorbentes y barreras físicas serán utilizados para evitar la dispersión.

En estructuras colapsadas va a ser necesario asegurar el escenario lo antes posible para poder realizar las fases correspondientes.

2.3.1.6. Objetivos formativos en primera respuesta operativa

RAD 1-propuesta formativa

- Saber identificar en el reconocimiento la presencia de material radiactivo.
- Conocer los símbolos radiológicos y los escenarios donde podemos encontrarlos.

- Conocer las etiquetas radiactivas. Entenderlas y conocer su riesgo e información.
- Conocer los bultos de transporte.
- Saber transmitir esa información (CSN)

Conocimiento de radioprotección básico. AUTOPROTECCIÓN

- Diferenciar entre irradiación y contaminación.
- Saber utilizar los criterios distancia, tiempo y blindaje.
- Saber aplicar los criterios de “control de la contaminación”

Efectos estocásticos y efectos deterministas.

- En principio, intentar controlar y confinar todo lo implicado.
- Atención de víctimas contaminadas sin aparatos de medición. La presunción.
- Atención de víctimas irradiadas sin aparatos de medición. La presunción.
- Crear “estaciones de control de la contaminación “sencillas y con criterio radiológico.
- Rellenar y utilizar ficha de 1ª respuesta
- Conocer técnicas de Mitigación en 1ª respuesta
- Conocer técnicas de Actuaciones en zona caliente
- Conocer los aparatos básicos de 1ª respuesta. (En caso de tenerlos)
- Manejo de DOSIMETROS como material de AUTOPROTECCIÓN. DOSIS.
- Preparar la llegada de 2ª fase en mismo idioma.

2.4. SEGUNDA FASE

Es la llegada de personal que consideramos ESPECIALIZADO, es decir, que está integrado en un servicio de emergencia, pero especializada por su nivel formativo (RAD 2 o RAD 3) en comenzar a hacer una más acertada gestión de la emergencia.

No es ni muchísimo menos el objetivo primordial de esta guía, por lo que solamente realizaremos su exposición y objetivos formativos sin entrar más a fondo,

Es la primera presencia del Grupo radiológico sobre el escenario, y la figura en manuales de la OIEA es la de oficial en radio protección en servicios de emergencia.

Cuanto antes contemos con personal especializado y operativo en el escenario, antes y mejor se empieza a realizar las funciones de protección radiológica que debe aplicarse sobre los trabajadores de emergencia que se encuentran realizando acciones o que ya las han realizado o que las tienen que realizar, y que necesitan asesoramiento e información cuanto antes…o asistencia médica en los casos más extremos sin tener ninguna dolencia o sintomatología.

La segunda fase presentada en el cuadro anterior empieza con hacerse cargo de todo lo que ha sucedido en la primera fase.

El traspaso de la ficha de primera fase es a la llegada de esta figura cuando se efectúa, a fin de que pueda efectuar el cálculo de dosis recibida por los intervinientes en sus acciones iniciales, así como la comprensión del estado en el que se encuentre el siniestro.

BY NC SA

Puede encontrarse con una primera respuesta aún no finalizada en los casos de víctimas que hayan requerido o requieran planificación para rescate, en cuyo caso hacerse cargo de esta cuestión será lógicamente prioritario.

En los casos en los que esta cuestión este resuelta, COMPROBARÁ las acciones y las estaciones de control de la contaminación, aportando a su llegada aparatos, en caso de tenerlos, para realizar el correcto chequeo de dicha contaminación y el establecimiento de las medidas pertinentes.

Una vez resuelta esta parte, pueden comenzarse las labores de monitorización del escenario, el llamado mapa radiológico, verificando las mediciones reales que se están produciendo, empezando a localizar donde se encuentran las fuentes y creando un mapa radiológico que nos puede ayudar a entender si hay exposición y salida de blindaje de la o las fuentes, y por tanto si nos focalizamos en una sola acción de recuperación o van a ser necesarias varias etapas.

Es una información que conforme se va recabando, va disponiéndose para ser transmitida a los servicios técnicos u otras unidades de emergencia (UME) que puedan presentarse en el lugar del siniestro, que nos ayudarán y asesorarán sobre los siguientes pasos a seguir, pudiendo contar con nosotros en los casos en los que el escenario lo demande, o quizás prescindiendo a partir de ahí de nuestra presencia por poder hacerse cargo de la situación.

El control sobre la fuente (o las fuentes) requiere ya otro tipo de objetivos y planificación.

Recuperar y poner bajo control una fuente, requiere una planificación que comienza por las características del siniestro, pudiendo encontrarnos según el caso:

- Fuente conocida. Tiene información de transporte o de la instalación, con lo cual vamos a trabajar con certeza en ciertos aspectos
- Fuente desconocida. Situación muy delicada que requiere de formación técnica para poder resolver la situación. En estos casos cuanto antes sepamos de que se trata, mucho mejor para todos.
- Varias fuentes en el escenario. Situación también muy delicada, que requiere de una correcta planificación.

2.4.1. Objetivos formativos en segunda fase

FORMACIÓN específica en equipos de medición

- Conocimiento uso radiómetros
- Conocimiento y uso de contaminómetro
- Dosimetría y control de dosis
- Recreación escenarios
- Creación mapa Radiológico
- Interacción con expertos

BY NC SA

3

ESCENARIO: INCIDENTE EN VÍA PÚBLICA CON PRESENCIA DE UNA FUENTE RADIACTIVA

3.1. PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN

Es necesario definir el conjunto de procedimientos de actuación que den la adecuada respuesta operativa a los escenarios descritos.

Estos procedimientos deberán ser lo más normalizados posibles y, tendrán en cuenta a todos los equipos y servicios operativos que estén llamados a participar en los mismos.

Harán referencia a las medidas de protección y otras actuaciones de emergencia posibles en cada caso.

Las medidas de protección y actuaciones de emergencia, definidas en la DBRR y en la Guía del CSN, así como aquellas otras que se considera deben tenerse en cuenta en el desarrollo de los procedimientos en la CAM, son las siguientes:

- **Medidas de protección a la población, personal de la instalación, o intervinientes**

    - Evacuación
    - Confinamiento
    - Profilaxis radiológica con IK
    - Salvamento de víctimas
    - Atención medico sanitaria
    - Descontaminación víctimas y público
    - Descontaminación personal de intervención
    - Tratamiento de personas irradiadas y/o contaminadas
    - Traslado de víctimas contaminadas y/o irradiadas
    - Restricción consumo de alimentos y agua

- **Actuaciones de medida y control de la radiación**

    - Control dosimétrico y de la contaminación
    - Zonificación y acotamiento de zonas
    - Aislamiento y/o confinamiento de la fuente
    - Caracterización radiológica del entorno
    - Acondicionamiento inicial y/o gestión de residuos radiactivos
    - Descontaminación de zonas
    - Mitigación de medidas urgentes

- **Otras actuaciones de emergencia**

    - Control de accesos
    - Filiación
    - Atención psicosocial
    - Información a la población
    - Información a los medios

BY NC SA

Bases operativas

La unificación de criterios será fundamental para alcanzar el éxito y control de la Intervención, facilitando la coordinación entre los diferentes grupos.

En este apartado se establecen las bases operativas que se considera necesario tener en cuenta con el objeto de unificar la elaboración los procedimientos operativos, definidos anteriormente. Incluyen:

- Criterios radiológicos operativos.
- Principios básicos de actuación.
- Establecimiento de la actuación del personal especializado y no especializado

Criterios radiológicos operativos.

El término ***criterios radiológicos,*** según aparece en la DBRR, título I apartado 6, hace referencia a los parámetros cuantitativos o cualitativos establecidos para ayudar en la toma de decisiones sobre las medidas de protección y otras actuaciones de carácter radiológico a adoptar en las emergencias radiológicas, y abarca los siguientes puntos:

- Los principios básicos de protección radiológica aplicados a las emergencias radiológicas, que son consideradas intervenciones.
- El establecimiento de niveles de Intervención para medidas de protección a la población.
- El establecimiento de niveles de dosis de emergencia para protección del personal de intervención.

Principios básicos de actuación.

Además de los criterios radiológicos, siempre habrá que tener en cuenta una serie de principios básicos de actuación. Desde el punto de vista del desarrollo de los procedimientos se han considerado principalmente los siguientes:

- *Prioridad de salvamento de vidas*. Las medidas de salvamento de vidas no deben demorarse por la presencia de material radiactivo. No debe negarse atención a una víctima por una posible contaminación o irradiación.
- *Aplicación de medidas para reducir la exposición*. La protección a la irradiación externa se basa en tres reglas fundamentales, que siempre hay que tener en cuenta y que son la forma básica de evitar las consecuencias de las radiaciones:
    - Tiempo.
    - Distancia.
    - Blindaje.
- *Aplicación de medidas para evitar la contaminación radiactiva*. Excepto en casos muy concretos, debe considerarse la posibilidad de existencia de contaminación hasta que se demuestre lo contrario. Para evitar la contaminación interna y externa, deberán utilizarse equipos de protección

BY NC SA

personal que deben estar adaptados a cada circunstancia concreta y a la actuación del personal de intervención.

- *Registro de datos de población afectada.* En el lugar en el que se produzca una emergencia radiológica se deberán registrar los datos del público que haya podido haber estado dentro de la zona delimitada antes de ser evacuado por los servicios de emergencia a fin de realizar un seguimiento.

Personal especializado y no especializado

Personal de primera respuesta o personal no especializado. La primera respuesta o actuación de personal no especializado, va a suponer en todos los casos la parte más arriesgada de la Intervención, ya que en algunas ocasiones se van a tener que llevar a cabo acciones de rescate sin conocer con precisión las dosis a las que pudieran estar expuestos, fundamentalmente por acciones de rescate y salvamento de vidas.

Segunda respuesta o personal especializado. Los grupos de acción descritos en la organización forman parte de la respuesta operativa del Plan. Cada grupo, esta vez sí, deberá estar formado por personal especializado en función de sus categorías, y sus medios, tanto humanos como materiales, deberán estar adscritos al Plan en el Anexo correspondiente.

Medidas de protección a la población

Medidas de protección urgentes: Son aquellas medidas que hay que aplicar de una forma rápida a fin de que tengan el mayor efecto posible y que su eficacia disminuye con el tiempo de espera al ejecutarlas.

Se trata siempre de reducir al mínimo los efectos deterministas y estocásticos sobre las personas:

1- Monitorización radiológica: Imprescindible solicitarla en caso de no tenerla en primera respuesta a fin de comenzar la valoración y evaluación lo antes posible en cualquier Emergencia o sospecha de la presencia de material radiactivo.

2- Evacuación: El aumento de la distancia con respecto a la fuente o nube radiactiva entre el público afectado o que pueda verse afectado hacia una zona sin peligro.

3- Confinamiento: A fin de realizar un "control de la contaminación". Refugio del público en edificios o instalaciones a fin de aislarles del paso de una nube radiactiva. Control de las víctimas extraídas de la zona caliente a fin de realizar una evaluación radiológica y evitar que se conviertan en vectores de transmisión.

4- Control de accesos: Asociado a las zonas de planificación y zonificación con la creación de puntos de control y registro de entradas y salidas.

5- Autoprotección ciudadana y del personal de Intervención: La utilización de equipos adecuados al riesgo por parte de los equipos de Intervención, así como la aportación de materiales o equipos a las víctimas.

6- Descontaminación de víctimas e Intervinientes Imprescindible desde el primer momento y con métodos y estaciones de control de contaminación asociadas a zonas de Planificación e Intervención.

BY NC SA

7- Aislamiento de la Fuente o material radiactivo: Como primera medida en aquellos casos que sea posible a fin de blindar y proteger.

8- Profilaxis radiológica: En casos de contaminación radiactiva con yodo radiactivo.

9- Estabulación de animales: Vectores a considerar en las Intervención con la posible presencia de animales de compañía en zonas afectadas. Control sobre los que puedan incorporar contaminación a su organismo.

Medidas de protección de larga duración.

Normalmente aplicadas con información analizada sobre la Emergencia ya que van a ser aplicada por un largo periodo de tiempo.

Normalmente pertenecen a una fase posterior de "recuperación".

1- Control de alimentos y agua

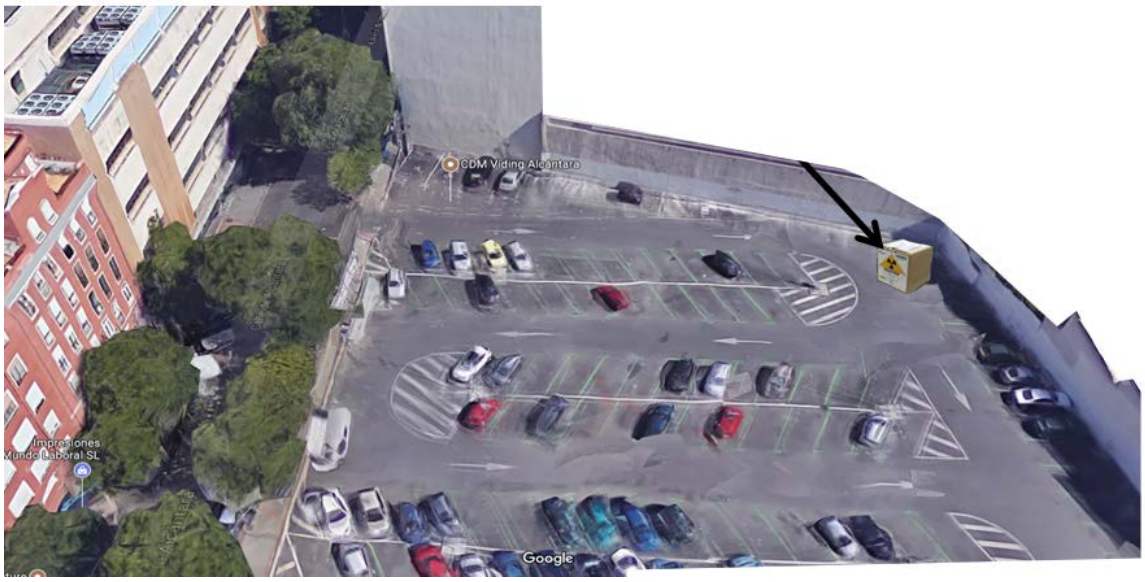
2- Descontaminación de áreas.

3- Realojamiento temporal o permanente de público.

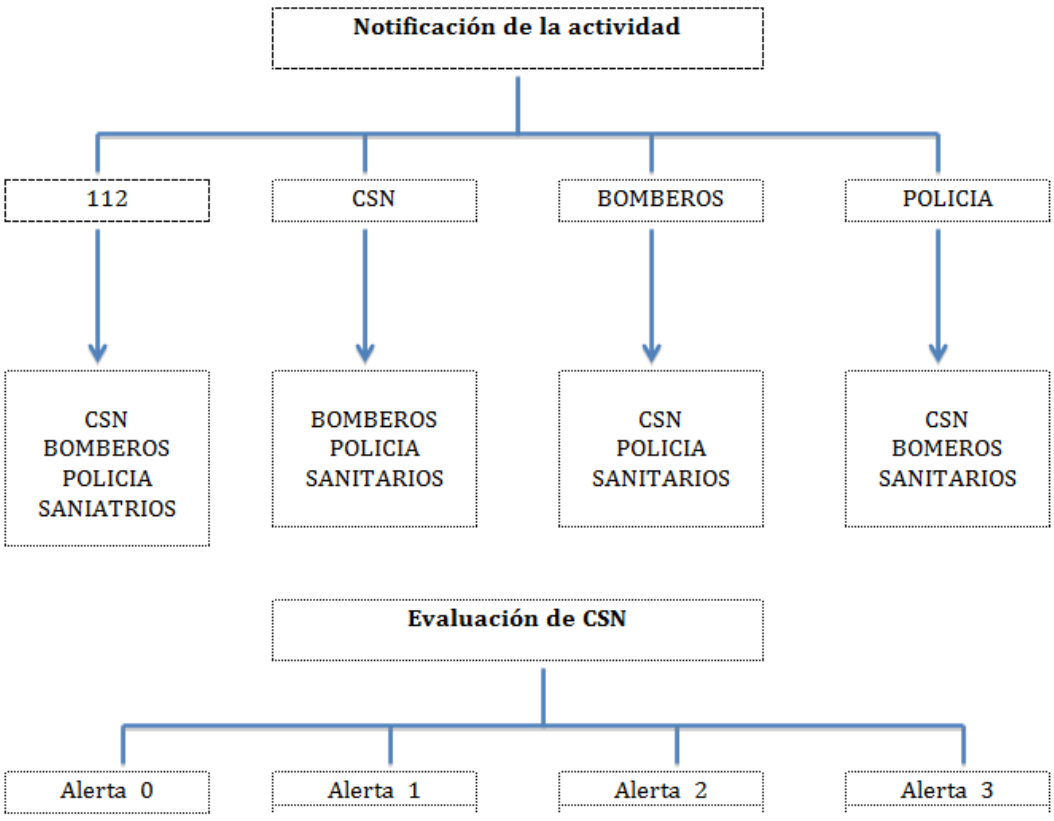
3.2. INCIDENTE EN VÍA PÚBLICA

Un ciudadano da aviso al 112 de, hay un paquete abandonado en la vía pública y que tiene una simbología como las salas de radiografías

Descripción del incidente:

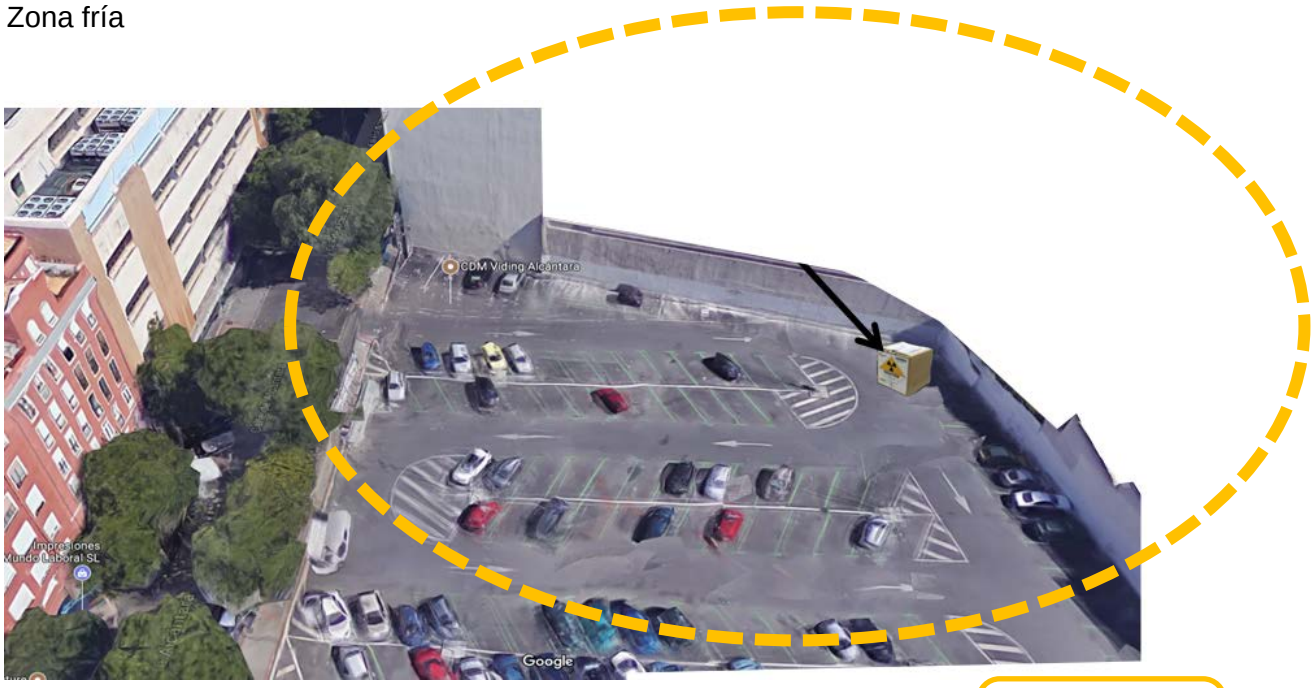


Activación de servicios de emergencia.



3.3. PRIMERA RESPUESTA

Llegada de policía: Realiza un cordón de seguridad a 100 metros estableciendo la Zona fría



Cordón policial 100 metros

<u>Acciones a desarrollar por parte de la Policía Local / Nacional / Guardia Civil</u>

Comprobación de los hechos informados, verificando a una distancia no inferior a 30 metros.

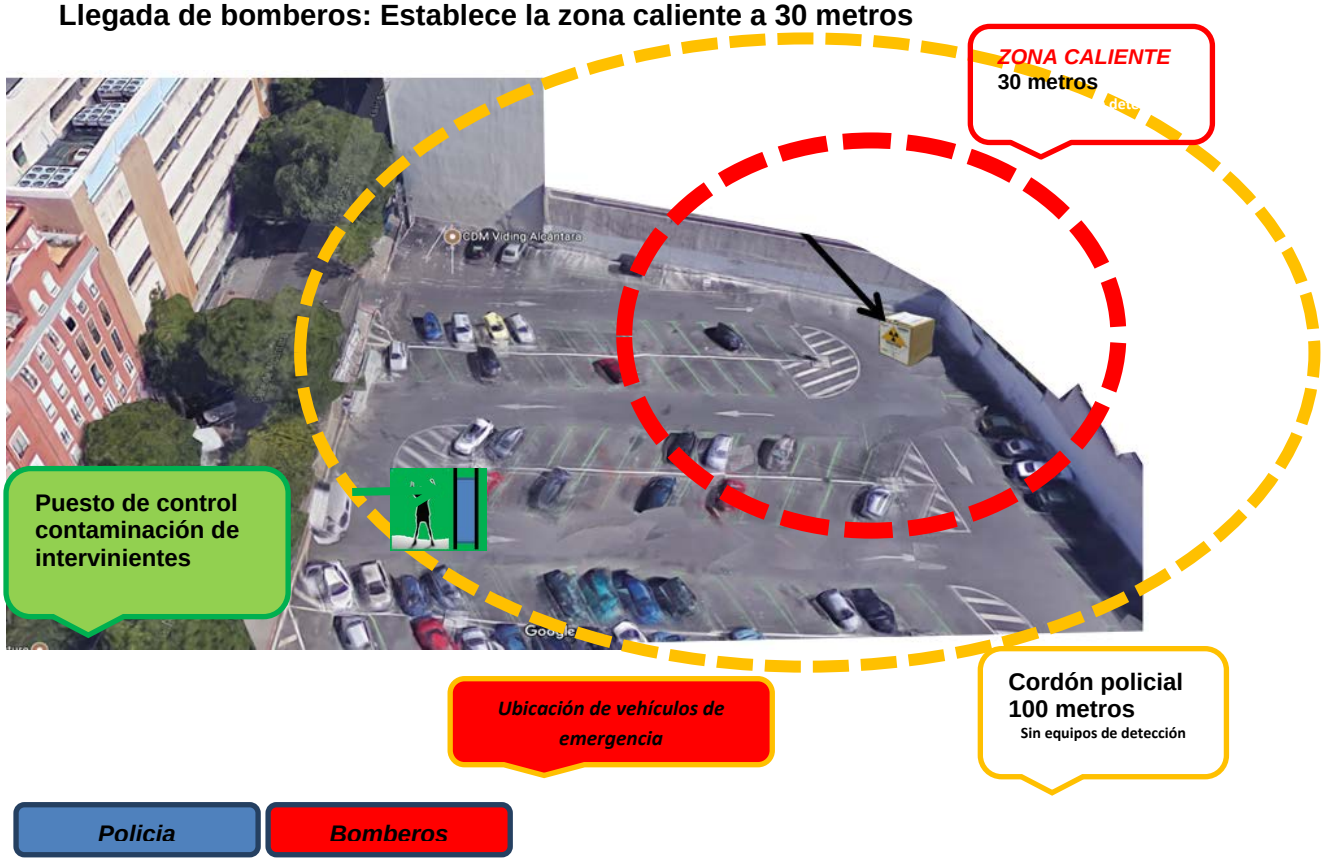
Zonificación en 1ª respuesta. Realizaran un cordón de seguridad a 100 metros del bulto sospechoso, evitando que nadie entre dentro de la zona determinada.

Confinamiento de los posibles afectados. Si hubiera victimas afectadas, las confinaran en una zona próxima. (Si la victima lo permite ponerle una mascarilla bucal, protección de las vías respiratorias por posible contaminación adherida a la ropa).

Filiación de afectados. Realizara un registro de todos los afectados.

Planificar vías de acceso. Facilitaran las vías de accesos al resto de servicios de emergencia.

Llegada de bomberos: Establece la zona caliente a 30 metros



Acciones a desarrollar por parte de Bomberos: En 1ª Respuesta

Salvamento y rescate: Si hubiera victimas implicadas;

> Proteger a las víctimas de ellas mismas, ponerle protección respiratoria, una mascarilla bucal es lo mínimo imprescindible, por posible contaminación de sus ropas.

Protección personal: Equipo completo de intervención + ERA.

Mitigación de medidas urgentes: Realizara un cordón de seguridad estableciendo la zona caliente a una distancia del bulto sospechoso de 30 metros.

Identificación: Comprobara la simbología y etiquetas de peligro del bulto sospechoso

Elaboración de la ficha tipo: Cumplimentara la ficha tipo, indicando tiempo de exposición de las víctimas, distancia de la víctima respecto al bulto sospechoso, nombre de los bomberos que han realizado el rescate, tiempo empleado en el rescate. Ordenara a su personal permanezca junto a las victimas rescatadas hasta disponer de equipos de

comprobación de contaminación. Él mando responsable debe de realizar un plano de la situación donde se encontraban las víctimas y entregar toda esta información a los especialistas en 2ª respuesta.

Identificación: Comprobará la simbología y etiquetas de peligro del bulto sospechoso.

Información: Recibirá la información obtenida por la policía, a través de la empresa transportista.

Rescate: Minimizar el número de personas expuestas, secuenciar los trabajos reduciendo los tiempos de exposición.

Elaboración de la ficha tipo: Cumplimentará la ficha tipo, indicando tiempo de exposición de las víctimas, distancia de la víctima respecto al bulto sospechoso, nombre de los bomberos que han realizado el rescate, tiempo empleado en el rescate. Ordenará a su personal permanezca junto a las victimas rescatadas hasta disponer de equipos de comprobación de contaminación. Él mando responsable debe de realizar un plano de la situación donde se encontraban las víctimas y entregar toda esta información a los especialistas en 2ª respuesta.

Si por circunstancias se encontrarán víctimas en el lugar del accidente, seguir estas instrucciones.

1ª Respuesta (Ver algoritmo de decisiones)

- ✓ Comunicar a la central, de aviso al CSN del incidente.

1º Realizar un rescate rápido y seguro apartando a las posibles víctimas de la fuente emisora de radiación a una distancia de 30 metros aproximadamente.

- ✓ Si el estado de la víctima lo permite, protegerles las vías respiratorias.

Zonificación:

- ✓ Zona caliente distancia 30 metros.
- ✓ Zona templada espacio comprendido entre la zona caliente y la zona fría.
- ✓ Zona fría distancia 100 metros

2º El mando debe de realizar un plano de la situación, indicando sobre este ¿Dónde se encontraban la/s víctimas.

¿Tiempo aproximado de exposición?

¿Tiempo de rescate?

¿Quiénes han realizado el rescate?

¿Tiempo de exposición de los rescatadores

BY NC SA

Una vez detectada la presencia de radiaciones ionizantes en el siniestro, el mando tomará la siguiente información, que deberá de entregar al evaluador radiológico del Consejo de Seguridad Nuclear CSN

TASA DE DOSIS	Tiempo ocupación total en el que la dosis superan 50 mSv	Tiempo ocupación total en el que la dosis superan 500 mSv
0.1 mSv/h 100 µS/h	500 horas	5000 horas
1 mSv/h	50 horas	500 horas
10 mSv/h	5 horas	50 horas
100 mSv/h	30 minutos	5 horas
1000 mSv/h 1 Sv/h	3 minutos	30 minutos

Recomendaciones

Encendido aparatos medición. Dosímetro. Prismáticos

Todo los intervinientes con protección E2+ ERA

Zonificación a priori: Sospecha contaminación-300 metros y viento de espaldas
Nunca más de 100microSieverts/h. Sin contaminación confirmada 50 metros

Riesgos asumibles. No asumibles.

Mitigación riesgos inmediatos.

Búsqueda y rescate de posibles víctimas en la zona caliente. (Binomios/trinomios)

Búsqueda de información referente a las fuentes radiactivas afectadas.

Envío información constante a CCCC/Salem CSN

Preparar recepción víctimas e intervinientes. 0,3 µS/h

Rellenar ficha.

Necesidad urgente de Monitorización radiológica con radiómetros.

Nombre de la victima		Tiempo de exposición	Distancia con la fuente
1			
2			
3			
4			

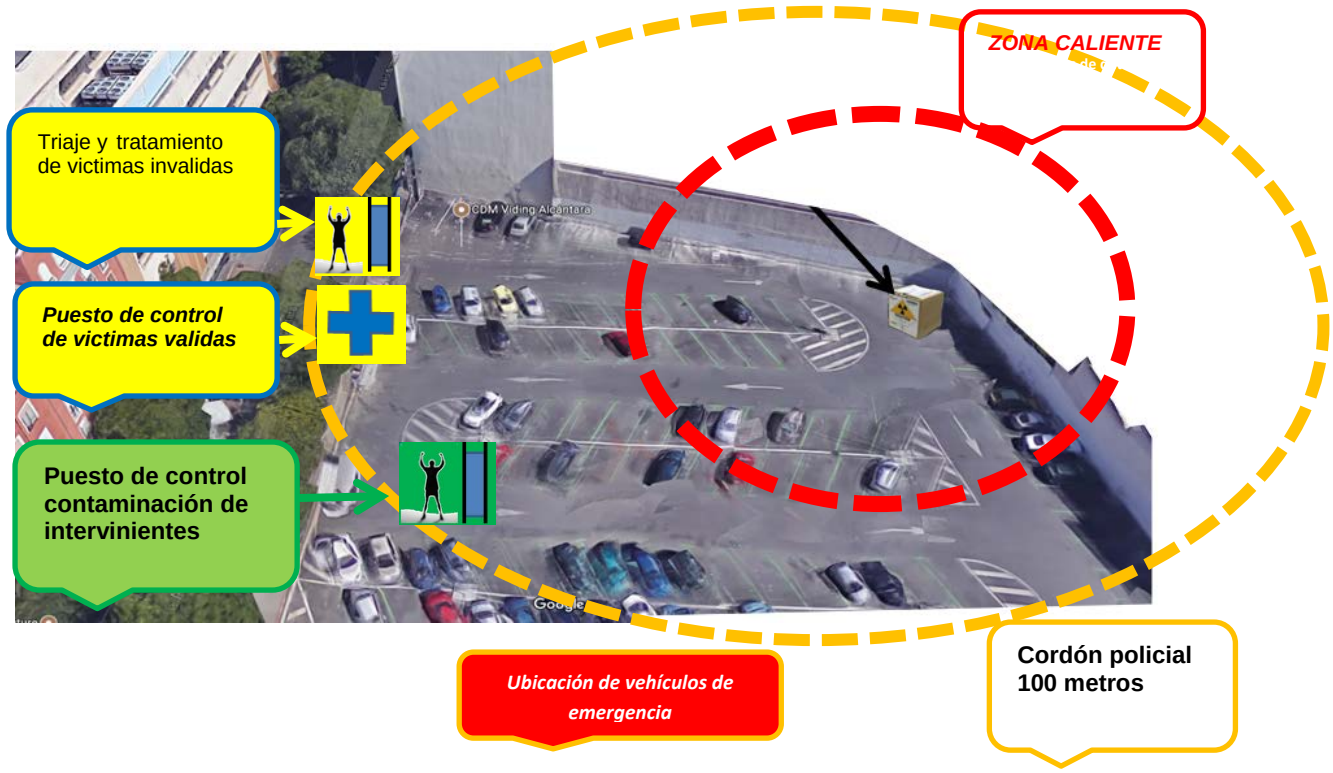
Nombre del interviniente		Tiempo de exposición	Distancia con la fuente
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Dibujar esquema de situación:

BY NC SA

3.4. SEGUNDA RESPUESTA

Llegada de sanitarios: Establecimiento de puestos de control médico, victimas válidas y victimas inválidas.



El personal sanitario: Debe seguir las instrucciones de zonificación para situar los diferentes puntos de control.

Supervisar con el contaminometro si tuvieran contaminación adherida a sus ropas, piel, etc.

El Triaje será realizado según sus procedimientos, dónde estará reflejado los procedimientos de descontaminación de las víctimas y su posterior traslado al hospital.

Acciones a desarrollar en 2ª Respuesta por parte de los bomberos especialistas.

Con la información recibida del mando de la 1ª respuesta.

Protección personal del grupo de especialistas en 2ª respuesta: Trajes tipo 3 B + mascarilla bucal FFP3 + dobles guantes de nitrilo + botas de PVC.

Comprobar con el contaminómetro que, los primeros intervinientes no tienen contaminación adherida. (Si hubiera contaminación, seguir procedimiento de desvestido).

El grupo de detección debe de, realizar un mapa de la radiación / contaminación de la zona caliente. En el borde de la zona caliente iniciarán la primera medición de contaminación, irán avanzando hacia el bulto/s sospechoso, deteniéndose en el punto donde el equipo de detección de una lectura de **2,5 µS/h.** A partir de este punto se aproximarán con la pértiga extendida tomando lecturas a dos alturas, (a ras de suelo y/a 1 metro de altura).

Las acciones iniciales realizadas en zona caliente se recrearán con el uso del dosímetro, situándolo en la posiciones donde estaban los intervinientes el tiempo que estuvieron.

Toda la información registrada en el mapa de contaminación junto a la ficha tipo entregada por el mando de la 1º respuesta, será entregada al evaluador radiológico del Consejo de Seguridad Nuclear)

Llegada de 2º Respuesta,

Especialistas con medios.

- ✓ Con la información recibida del mando en el siniestro, recibida la ficha tipo.
- ✓ A las victimas confinadas, en el espacio que determinó el mando, comprobar:
  Si tiene contaminación adosada a la ropa o piel, empleará un contaminómetro.
- ✓ Empleando los equipos de detección y las protecciones adecuadas deben de realizar un mapa de radiación/contaminación de la zona afectada.
- ✓ El grupo de detección debe de, realizar un mapa de la radiación /contaminación de la zona caliente. En el borde de la zona caliente iniciarán la primera medición de contaminación, irán avanzando hacia el bulto sospechoso, deteniéndose en el punto donde el equipo de detección de una lectura de **2,5 µS/h.** A partir de este punto se aproximarán con la pértiga extendida tomando lecturas a tres alturas, (a ras de suelo, 1 metro y dos metros de altura).
- ✓ Empleo de pértiga con radiómetro, protección con dosimetría. Si la dosimetría es compartida, el dosímetro lo portará el más cercano a la fuente.

BY NC SA

- ✓ Toda la información registrada en el mapa de contaminación junto a la ficha tipo entregada por el mando de la 1º respuesta, será entregada al evaluador radiológico del Consejo de Seguridad Nuclear)

Nos informan desde la empresa transportista que, una furgoneta transportaba una fuente de **Cobalto 60.** Con una actividad de **37 MBq. Y se ha caído en la vía pública quedando abandonada. (Ficha página 33)**

Se calcula la tasa de dosis

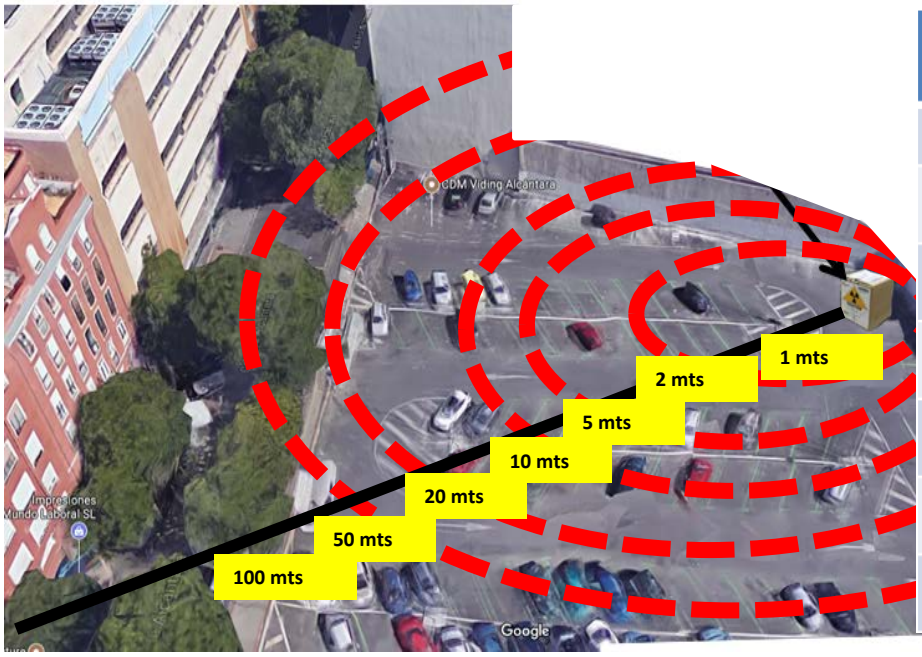
[Γ] = [mSv . m2 / (h . Bq)]

CO; Cobalto 60 = 0,351.

A = Actividad de la fuente.

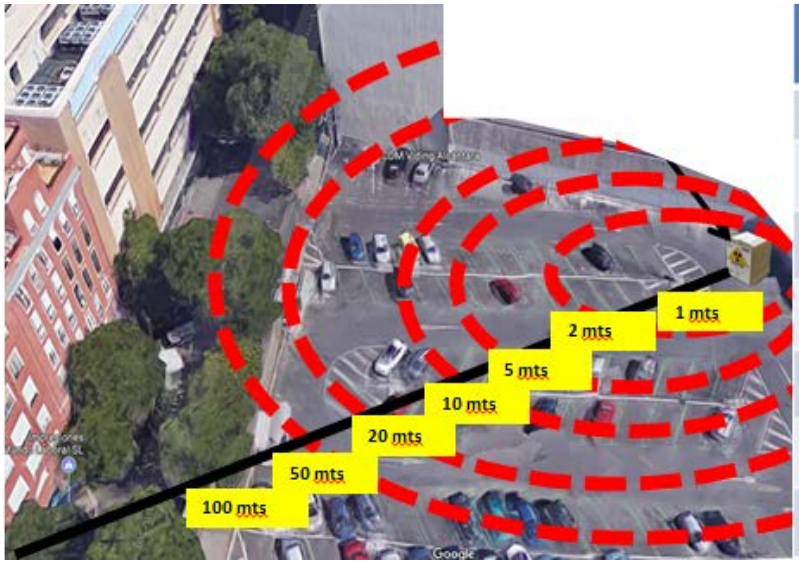
$\mathbf{D^2}$ = a la distancia al cuadrado

Cálculo de tasas de dosis usando Γ. Tasa $\frac{\Gamma \cdot A}{D^2}$ de dosis **182,6298 µS/h**



Distancia metros	Tasa de dosis
1	733,0901 µSv/h
2	182,6298 µSv/h
5	28,9144 µSv/h
10	7,1027 µSv/h
20	1,7144 µSv/h
50	0,2468 µSv/h
100	0,0517 µSv/h

Si trasferimos estos datos, a los datos del mando de la 1ª Respuesta, sabremos que radiación a recibido las victima, y los bomberos que han realizado los rescates.



Distancia metros	Tasa de dosis
1	733,0901 µSv/h
2	182,6298 µSv/h
5	28,9144 µSv/h
10	7,1027 µSv/h
20	1,7144 µSv/h
50	0,2468 µSv/h
100	0,0517 µSv/h

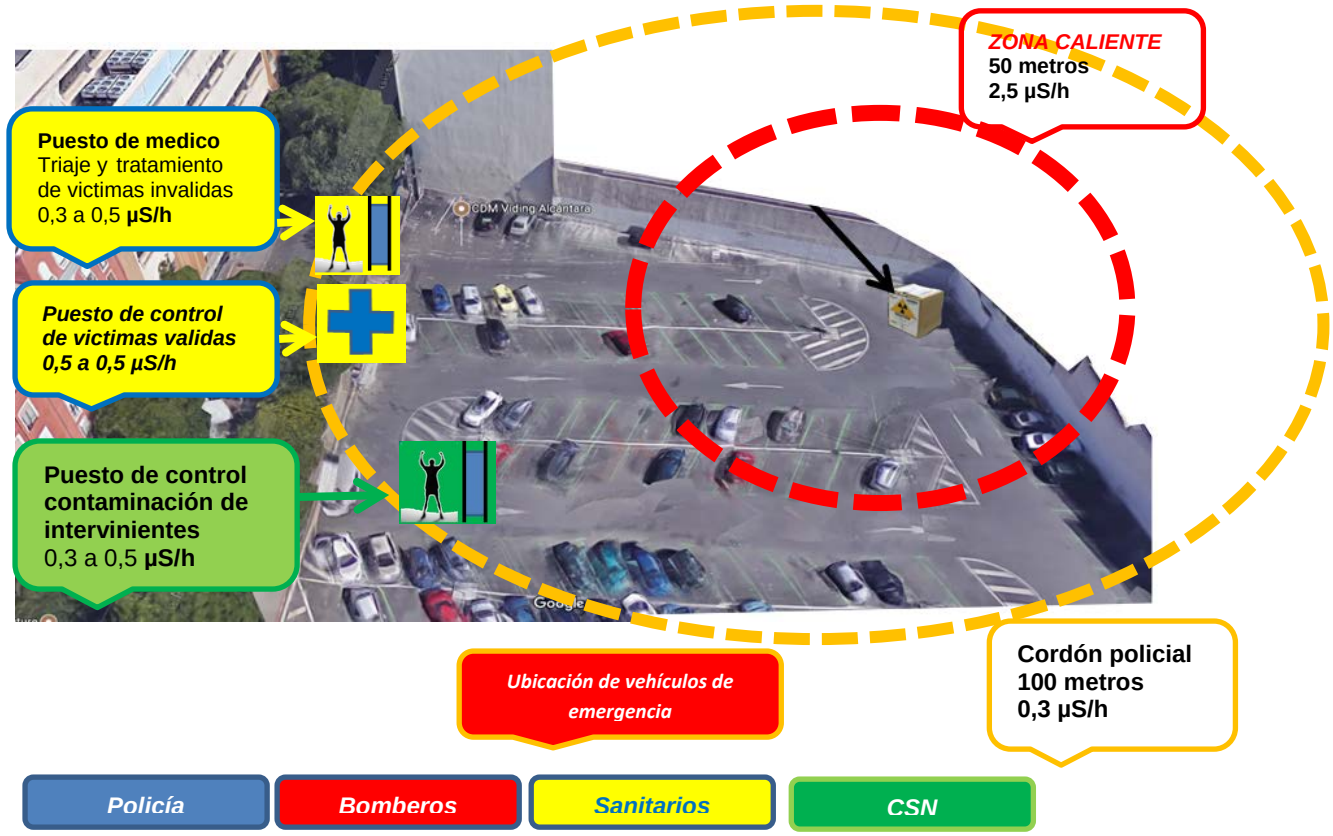
Tablas exposición: Victimas e intervinientes

Nombre de la victima		Tiempo de exposición	Distancia con la fuente	Dosis
1				
2				
3				
4				

Nombre del interviniente		Tiempo de exposición	Distancia con la fuente	Dosis
1	Policía Municipal 1	1´	1 metros	733,0901 µS
2	Policía Municipal 1	50´	50 metros	0,2517 µS
3	Equipo 2	50´	50 metros	0,2517 µS
4	Equipo 2	50´	50 metros	0,2517 µS
5	Equipo 3	50´	50 metros	0,2517 µS
6	Equipo 3	50´	50 metros	0,2517 µS
7	Mando	1´	1 metro	733,0901 µS
8	Mando	50´	50 metros	0,2517 µS
9				

3.4. TERCERA RESPUESTA

Llegada de los evaluadores radiológicos de Consejo de Seguridad Nuclear.



El mando responsable de bomberos:

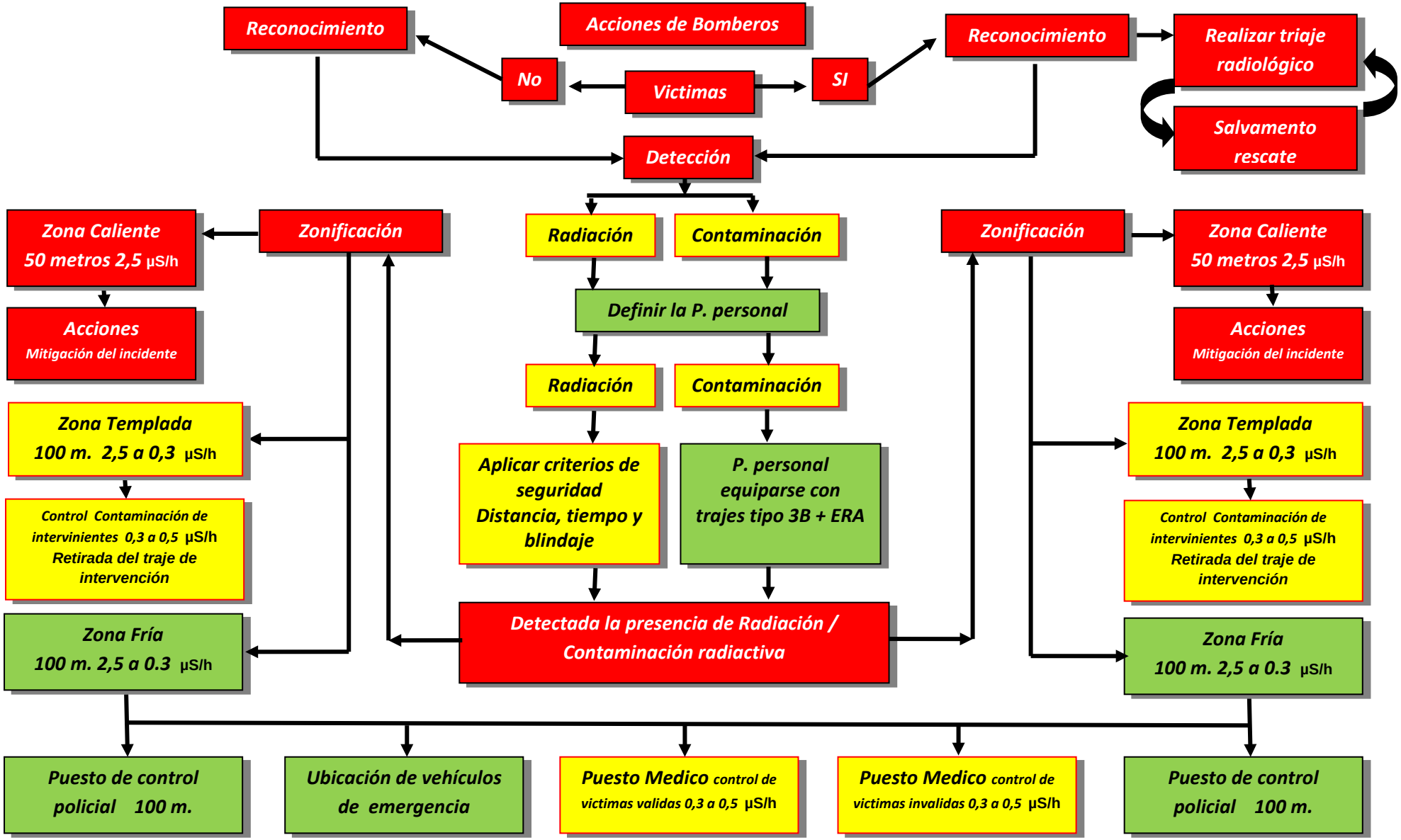
Acompañado por el especialista radiológico, entregará al evaluador radiológico del CSN la. Ficha tipo y el mapa de contaminación de la zona

Con la información recibida, el evaluador determinará las siguientes accione.

Identificación y potencia de la fuente.

Tipo de blindaje que hay que poner en la fuente dañada y organizará su traslado por parte de una empresa autorizada.

Detección de un paquete radiactivo en la vía publica



4

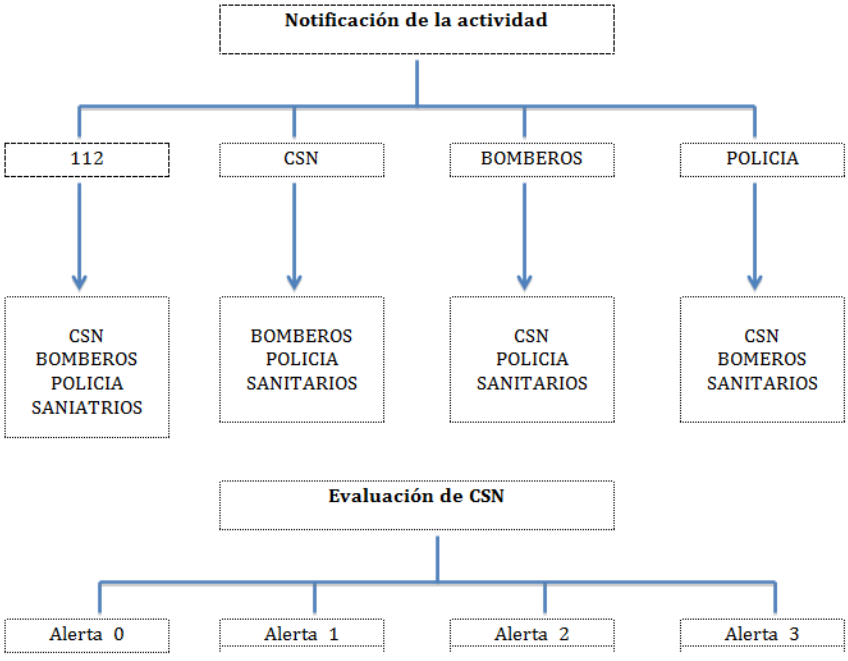
ESCENARIO: ACCIDENTE DE TRÁFICO CON VÍCTIMAS Y PRESENCIA DE UNA FUENTE RADIACTIVA

INCIDENTE EN VÍA PÚBLICA.

Un ciudadano da aviso al 112 de, se ha producido un accidente en la autovía y se encuentran implicados tres vehículos, dos de ellos furgonetas y una de estas con una simbología radiactiva. Se observa una víctima en el suelo y los conductores de las furgonetas en el interior de sus vehículos.

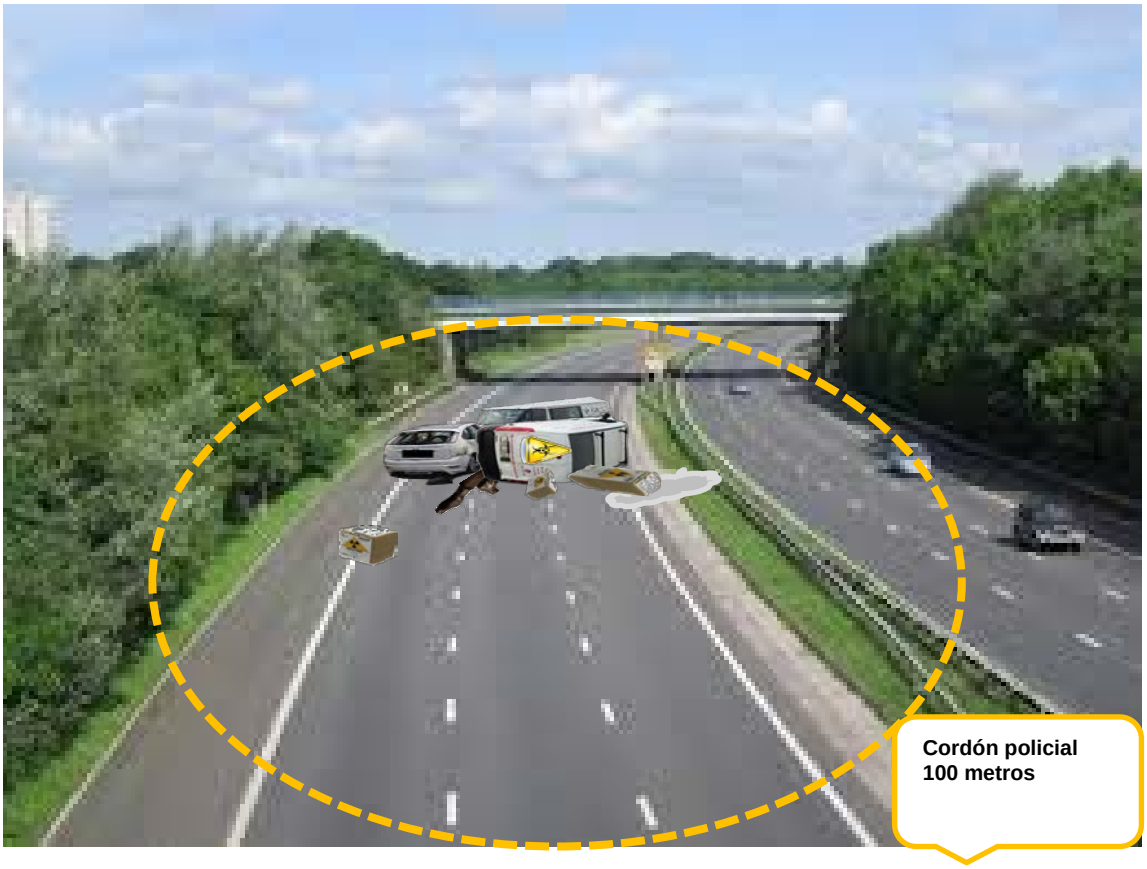
Descripción visual del accidente.

Activación de los servicios de emergencia.



4.1. PRIMERA RESPUESTA

Llegada de la Policía / Guardia Civil: Realiza un cordón de seguridad de 100 metros, estableciendo la zona fría



Acciones a desarrollar por parte de la Policía Local / Nacional / Guardia Civil

Comprobación de los hechos informados, verificando a una distancia no inferior a 30 metros.

Zonificación en 1ª respuesta. Realizarán un cordón de seguridad a 100 metros del accidente, evitando que nadie entre dentro de la zona determinada.

Confinamiento de los posibles afectados. Si hubiera víctimas afectadas, las confinarán en una zona próxima. (Si la victima lo permite ponerle una mascarilla bucal, protección de las vías respiratorias por posible contaminación adherida a la ropa).

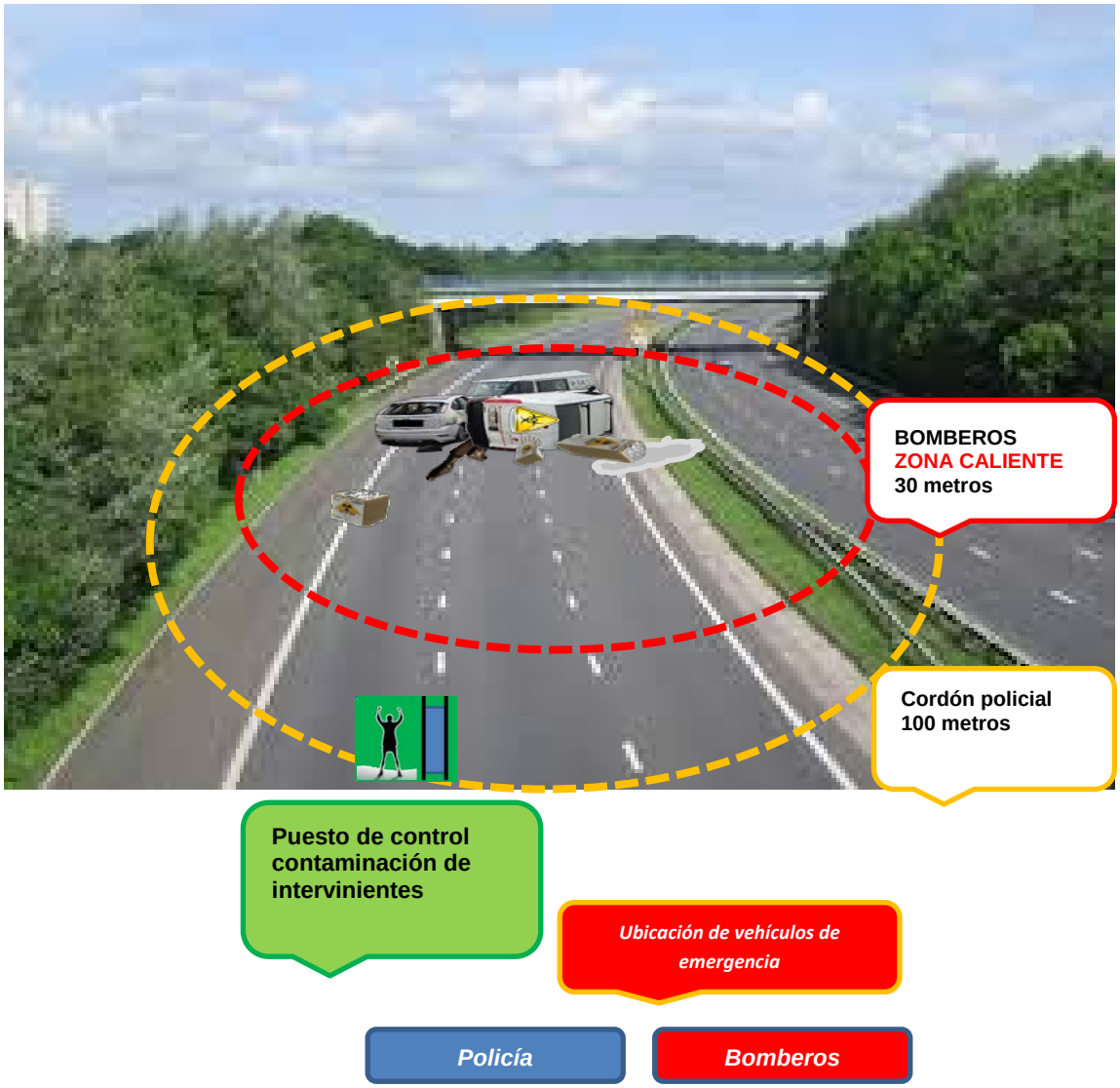
Filiación de afectados. Realizará un registro de todos los afectados.

Planificar vías de acceso. Facilitarán las vías de accesos al resto de servicios de emergencia.

BY NC SA

Identificación de la empresa transportista: se solicitará la información del contenido del transporte, tipo de fuente radiactiva, actividad, tipo de encapsulado. (Esta información será aportada a los mandos de bomberos)

Llegada de bomberos: Establece la zona caliente a 30 metros



Acciones a desarrollar por parte de Bomberos: En 1ª Respuesta

Protección personal: Equipo completo de intervención + ERA.

Salvamento y rescate: Victimas implicadas;

> Proteger a las víctimas de ellas mismas, ponerle protección respiratoria, (una mascarilla bucal es lo mínimo imprescindible, por posible contaminación de sus ropas).

Mitigación de medidas urgentes: Realizará un cordón de seguridad estableciendo la zona caliente a una distancia del bulto sospechoso de 30 metros.

Identificación: Comprobará la simbología y etiquetas de peligro del bulto sospechoso.

Información: Recibirá la información obtenida por la policía, a través de la empresa transportista.

Rescate: Minimizar el número de personas expuestas, secuenciar los trabajos reduciendo los tiempos de exposición.

Elaboración de la ficha tipo: Cumplimentará la ficha tipo, indicando tiempo de exposición de las víctimas, distancia de la víctima respecto al bulto sospechoso, nombre de los bomberos que han realizado el rescate, tiempo empleado en el rescate. Ordenará a su personal permanezca junto a las victimas rescatadas hasta disponer de equipos de comprobación de contaminación. Él mando responsable debe realizar un plano de la situación donde se encontraban las víctimas y entregar toda esta información a los especialistas en 2ª respuesta.

Si por circunstancias se encontrarán víctimas en el lugar del accidente, seguir estas instrucciones.

1ª Respuesta

- ✓ Comunicar a la Central, de aviso al CSN del incidente.

1º Realizar un rescate rápido y seguro, apartando a las posibles víctimas de la fuente emisora de radiación a una distancia de 30 metros aproximadamente.

- ✓ Si el estado de la víctima lo permite, proteger la vía respiratoria.

Zonificación:

- ✓ Zona caliente distancia 30 metros.
- ✓ Zona templada espacio comprendido entre la zona caliente y la zona fría.
- ✓ Zona fría distancia 100 metros.

2º El mando debe realizar un plano de la situación, indicando sobre este: ¿Dónde se encontraban la/s víctimas.

¿Tiempo aproximado de exposición?
¿Tiempo de rescate?
¿Quiénes han realizado el rescate?
¿Tiempo de exposición de los rescatadores?

Una vez detectada la presencia de radiaciones ionizantes en el siniestro, el mando tomará la siguiente información, que deberá de entregar al evaluador radiológico del Consejo de Seguridad Nuclear CSN

TASA DE DOSIS	Tiempo ocupación total en el que la dosis superan 50 mSv	Tiempo ocupación total en el que la dosis superan 500 mSv
0.2 mSv/h 100 µS/h	500 horas	5000 horas
1 mSv/h	50 horas	500 horas
10 mSv/h	5 horas	50 horas
100 mSv/h	30 minutos	5 horas
1000 mSv/h 1 Sv/h	3 minutos	30 minutos

TMT Handbook

Recomendaciones

Encendido aparatos medición. Dosímetro. Prismáticos

Todo los intervinientes con protección E2+ ERA

Zonificación a priori: Sospecha contaminación-300 metros y viento de espaldas. Nunca más de 100microSieverts/h. Sin contaminación confirmada 30 metros

Riesgos asumibles. No asumibles.

Mitigación riesgos inmediatos.

Búsqueda y rescate de posibles víctimas en la zona caliente. (Binomios/trinomios)

Búsqueda de información referente a las fuentes radiactivas afectadas.

Envío información constante a CCCC/Salem CSN

Preparar recepción víctimas e intervinientes. 0,3 µS/h

Rellenar ficha.

Necesidad urgente de Monitorización radiológica con radiómetros.

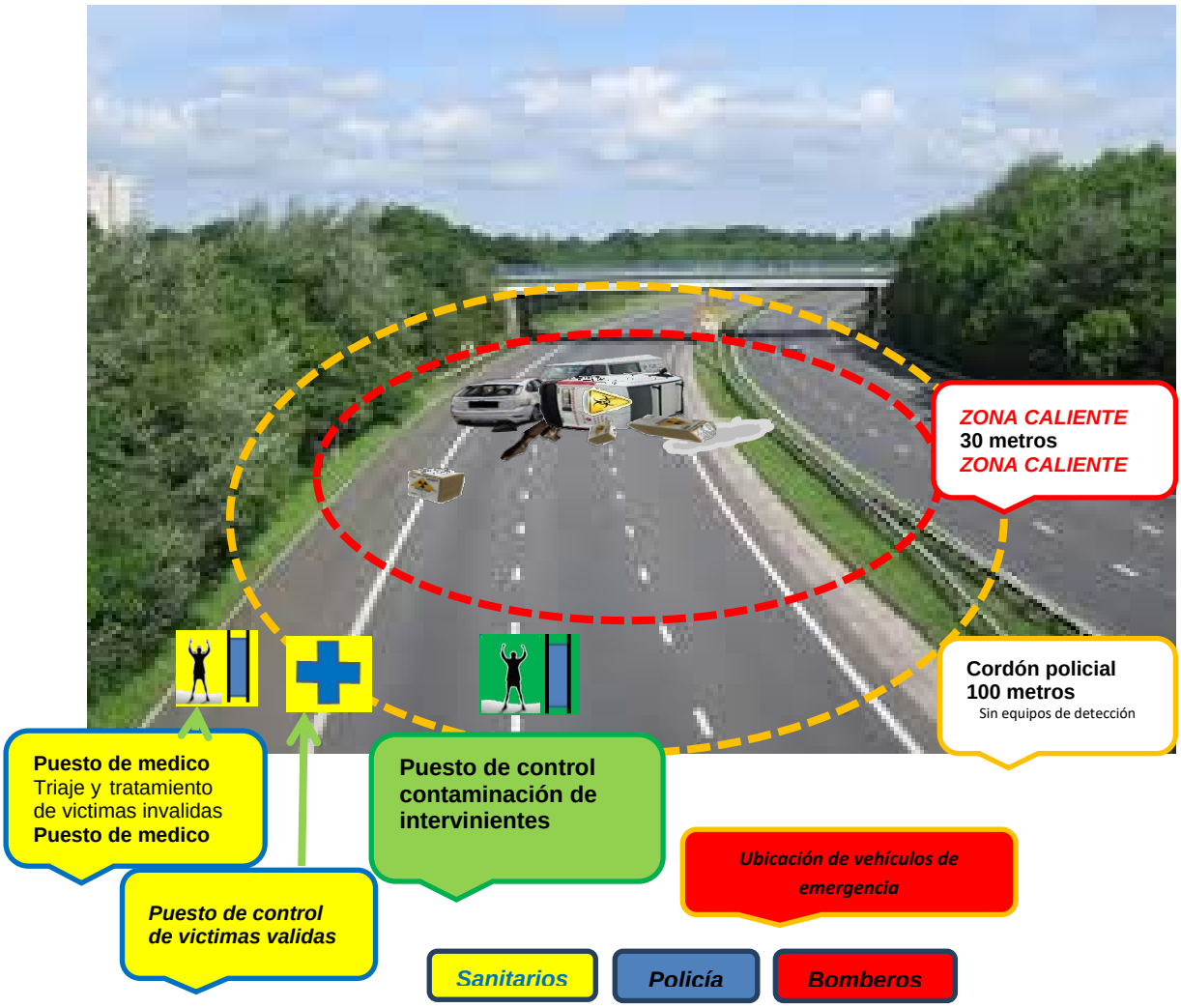
Nombre de la victima		Tiempo de exposición	Distancia con la fuente
1			
2			
3			
4			

Nombre del interviniente		Tiempo de exposición	Distancia con la fuente
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Dibujar esquema de situación:

BY NC SA

Llegada de sanitarios: Establecimiento de puestos de control médico, victimas válidas y victimas inválidas.



El personal sanitario: Debe seguir las instrucciones de zonificación para situar los diferentes puntos de control.

Supervisar con el contaminómetro si tuvieran contaminación adherida a sus ropas, piel, etc.

El Triaje será realizado según sus procedimientos, dónde estará reflejado el procedimiento de descontaminación de las víctimas y su posterior traslado al hospital.

BY NC SA

4.2. SEGUNDA RESPUESTA

Acciones a desarrollar en 2ª Respuesta por parte de los bomberos especialistas.

Con la información recibida del mando de la 1ª respuesta.

Protección personal del grupo especialista en 2ª respuesta: Trajes tipo 3 B + mascarilla bucal FFP3 + dobles guantes de nitrilo + botas de PVC.

Comprobar con el contaminometro que los primeros intervinientes no tienen contaminación adherida. (Si hubiera contaminación, seguir procedimiento de desvestido.

El grupo de detección debe, realizar un mapa de la radiación / contaminación de la zona caliente. En el borde de la zona caliente iniciarán la primera medición de contaminación, irán avanzando hacia el bulto/s sospechoso, deteniéndose en el punto donde el equipo de detección de una lectura de **2,5 µS/h.** A partir de este punto se aproximarán con la pértiga extendida tomando lecturas a dos alturas (a ras de suelo y a 1 metro de altura).

Cuando llegue a la zona detallada donde se encontraban las víctimas, tomar los valores de radiación al que han estado sometidas.

Tomar los valores de radiación donde han estado los bomberos que han realizado el rescate.

Toda la información registrada en el mapa de contaminación junto a la ficha tipo entregada por el mando de la 1º respuesta, será entregada al evaluador radiológico del Consejo de Seguridad Nuclear)

Llegada de 2º Respuesta,

Especialistas con medios.

- ✓ Con la información recibida del mando en el siniestro, recibida la ficha tipo.
- ✓ A las victimas confinadas, en el espacio que determino el mando, comprobar:
  Si tiene contaminación adosada a la ropa o piel, empleará un contaminometro.
- ✓ Empleando los equipos de detección y las protecciones adecuadas deben realizar un mapa de radiación/contaminación de la zona afectada.
- ✓ El grupo de detección debe de realizar un mapa de la radiación/contaminación de la zona caliente. En el borde de la zona caliente iniciará la primera medición de contaminación, irán avanzando hacia el bulto sospechoso, deteniéndose en el punto donde el equipo de detección de una lectura de **2,5 µS/h.** A partir de este punto se aproximarán con la pértiga extendida tomando lecturas a dos alturas, (a ras de suelo, y a 1 metro de altura).
- ✓ Empleo de pértiga con radiómetro, protección con dosimetría. (Si la dosimetría es compartida, el dosímetro lo portará el más cercano a la fuente).

BY NC SA

- ✓ Toda la información registrada en el mapa de contaminación junto a la ficha tipo entregada por el mando de la 1º respuesta, será entregada al evaluador radiológico del Consejo de Seguridad Nuclear)

Nos informan desde la empresa transportista que: La furgoneta transportaba una fuente de **Cobalto – 60.** Con una actividad de **35 GBq**

Se calcula la tasa de dosis

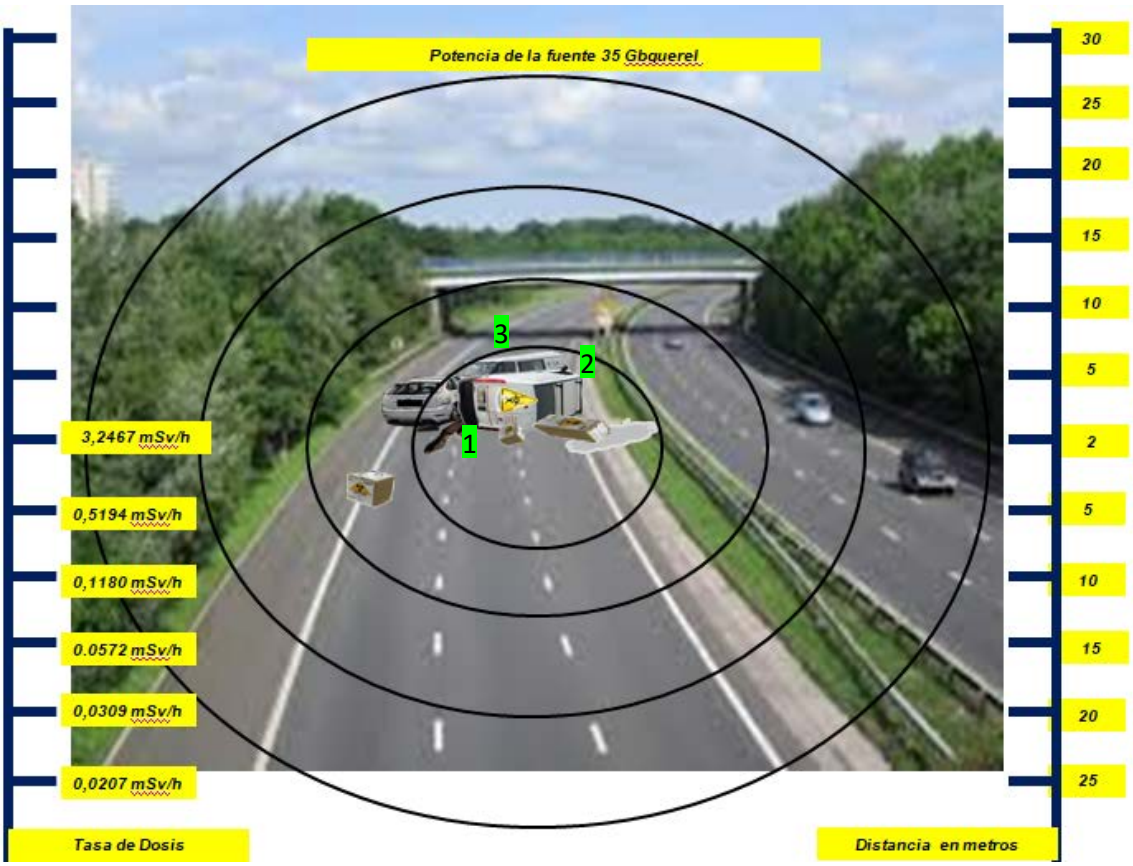
[Γ] = [mSv . m2 / (h . Bq)]

Γ Del Cobalto 60 = 0,351.

A = Actividad de la fuente.

$\mathbf{D^2}$ = a la distancia al cuadrado

Cálculo de tasas de dosis usando Γ. Tasa $\frac{\Gamma \cdot A}{D^2}$ $\frac{0{,}351 \cdot 35}{2^2}$ de dosis **3,7125 mSv/h**

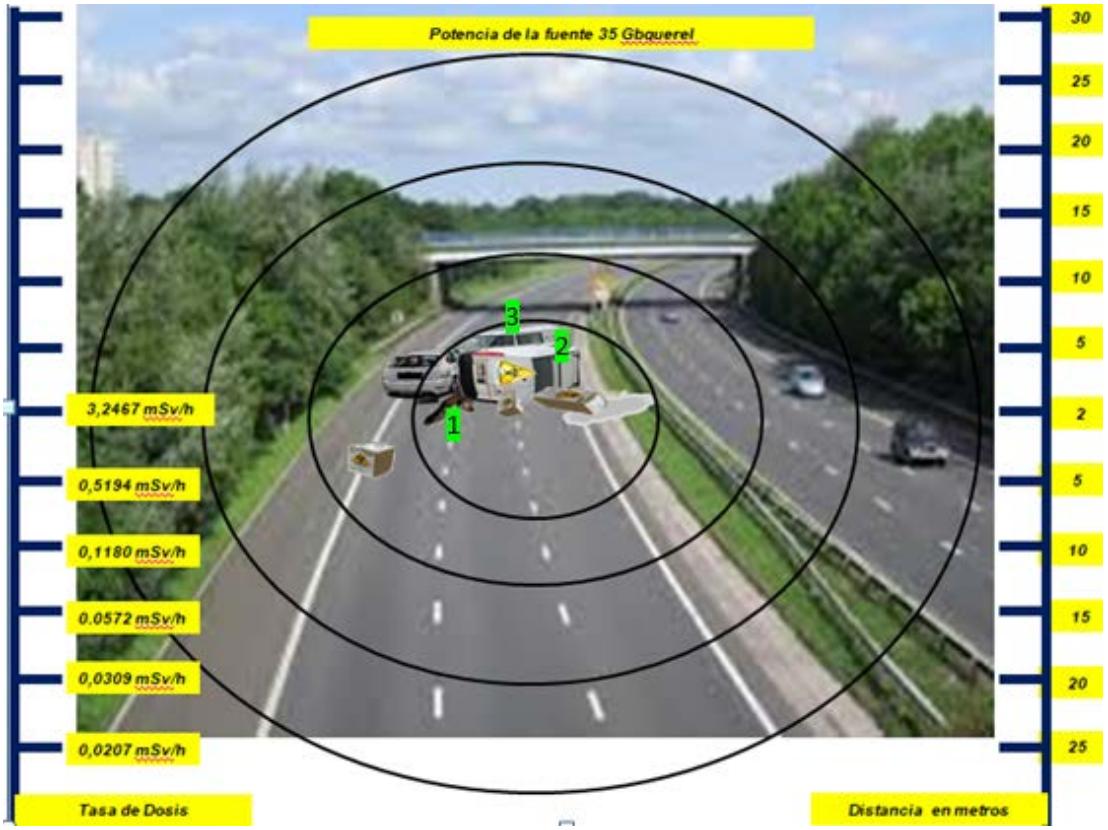


0,0050 mSv/h …(5 µS/h)……50m

0,0035 mSv/h(.(3,5 µS/h)……60m

0,0026 mSv/h (2,6 µS/h)…….. ..70 m

Si transferimos estos datos a los datos del mando de la 1ª Respuesta, sabremos que radiación ha recibido la victima, y los bomberos que han realizado los rescates.



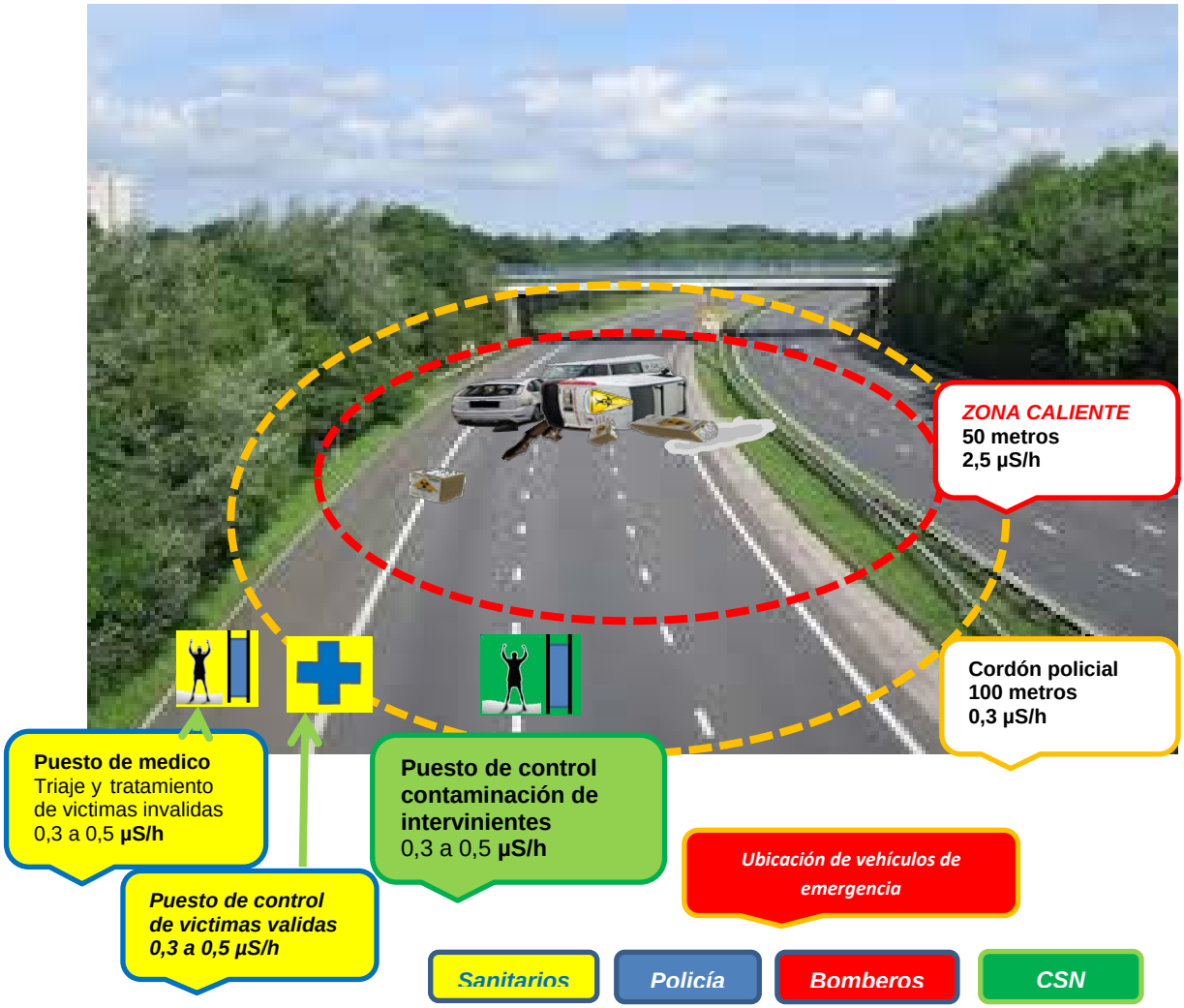
Tablas exposición: Victimas e intervinientes

Nombre de la victima		Tiempo de exposición	Distancia con la fuente	Dosis
1		35´	4 metros	0,6633 mSv
2		40´	2 metros	2,6715 mSv
3		45´	6 metros	0,2927 mSv

Nombre del interviniente			Tiempo de exposición	Distancia con la fuente	Dosis
1	Equipo 1 V1	1	1´	3 metros	1,1832 mSv
2	Equipo 1 V1	2	1´	3 metros	1,1832 mSv
3	Equipo 2 V2	3	5´	1 metro	10,7229 mSv
4	Equipo 2 V2	4	5`	1 metro	10,7229 mSv
5	Equipo 3 V3	5	10´	6 metros	0,2927 mSv
6	Equipo 3 V3	6	10´	6 metros	0,2927 mSv
7	Equipo de mando	M	1´	1 metro	10,7229 mSv
8	Equipo de mando	M	20´	20 metros	0,0251 mSv

4.3. TERCERA RESPUESTA

Llegada de los evaluadores radiológicos de Consejo de Seguridad Nuclear.



El mando responsable de bomberos:

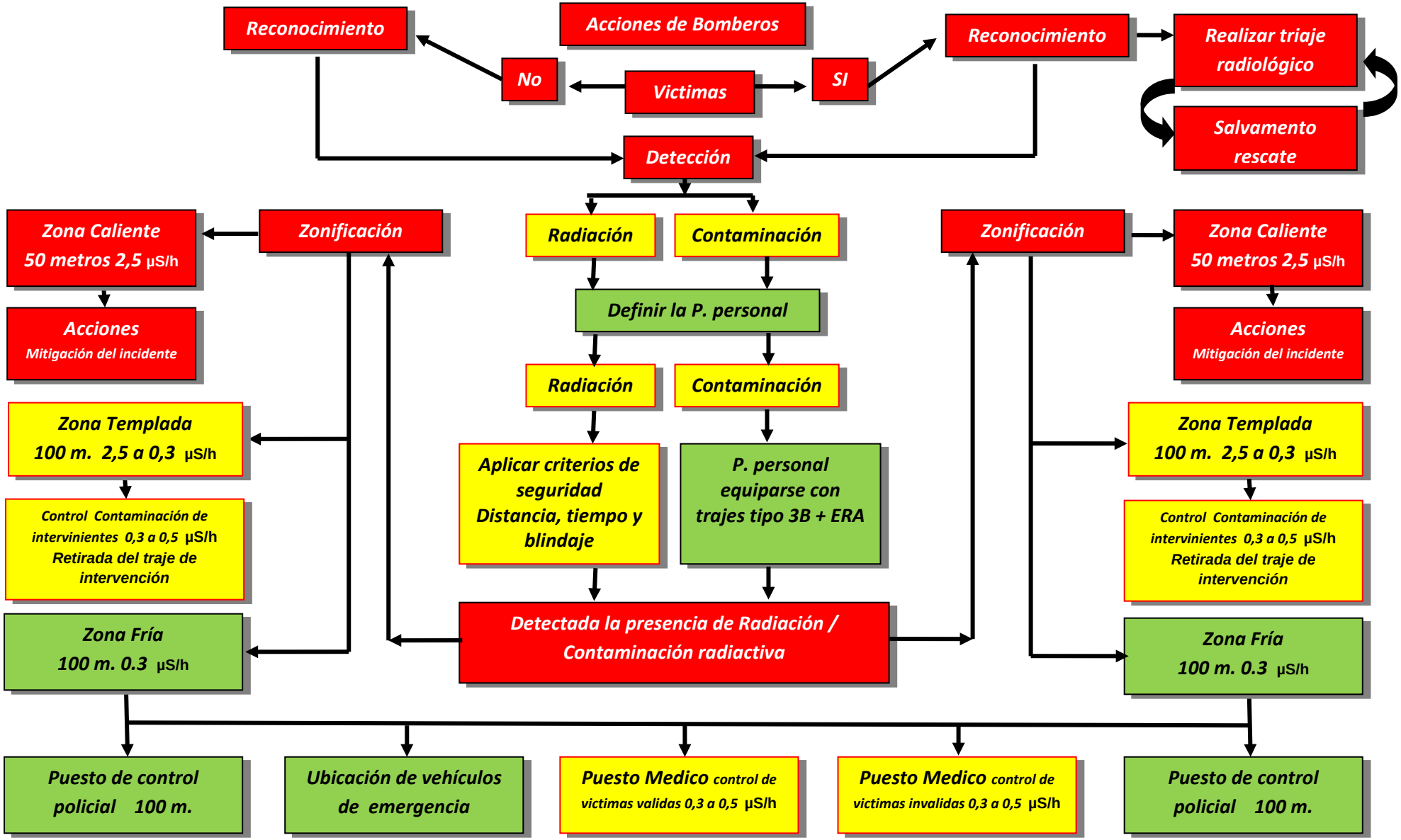
Acompañado por el especialista radiológico, entregará al evaluador radiológico del CSN la. Ficha tipo y el mapa de contaminación de la zona.

Con la información recibida, el evaluador determinará las siguientes acciones.

Identificación y potencia de la fuente.

Tipo de blindaje que hay que poner en la fuente dañada y organizar su traslado por parte de una empresa autorizada.

Accidente de tráfico con víctimas y presencia de Fuente radiactiva



5

ESCENARIO: INCENDIO EN HOSPITAL EN ZONA DE MEDICINA NUCLEAR

5.1. INCENDIO EN HOSPITAL EN ZONA DE MEDICINA NUCLEAR

Descripción del incendio: El incendio se desarrolla en la planta -1 de un edificio de 5 alturas sobre rasante y 3 bajo rasante. La zona afectada está aislada del edificio y dispone de un acceso independiente. La planta tiene como actividad la radiodiagnosis con isotopos radiactivo, radioterapia con bomba de Cobalto 60 con una actividad de 2 TBq.

BY NC SA

Zona de incendio, está situada en la panta -1.

El humo afecta a toda la planta y se eleva por la caja de escalera, salida al exterior.

La escalera es discontinua a la altura de la planta baja, separada de ámbito y trazado

5.2. RECONOCIMIENTO

- **Recibimos información** del personal de mantenimiento:

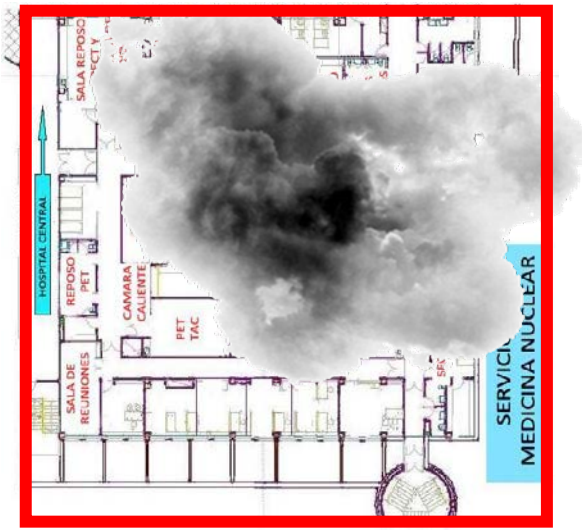
En la zona de radioterapia están realizando unas obras de mantenimiento y se ha incendiado un equipo de oxicorte, compuesto por oxígeno y acetileno.

El foco principal está afectando a la fuente de radioterapia de Cobalto 60.

En salas próximas hay otras fuentes radiactivas Cesio 137 con una actividad de 375 GBq. Nos informa el personal de mantenimiento que el humo afecta a toda la planta e ignoran si el foco de incendio está afectando directamente sobre la bomba de Cobalto.

- **Observamos** desde el exterior que toda la planta está afectada por el humo.

- **Zonificación:**
  - **Zona caliente** toda la planta afectada y la salida al exterior.
  - **Zona templada** 50 metros en todo el perímetro del edificio.
  - **Zona fría** 100 metros en todo el perímetro del edificio.



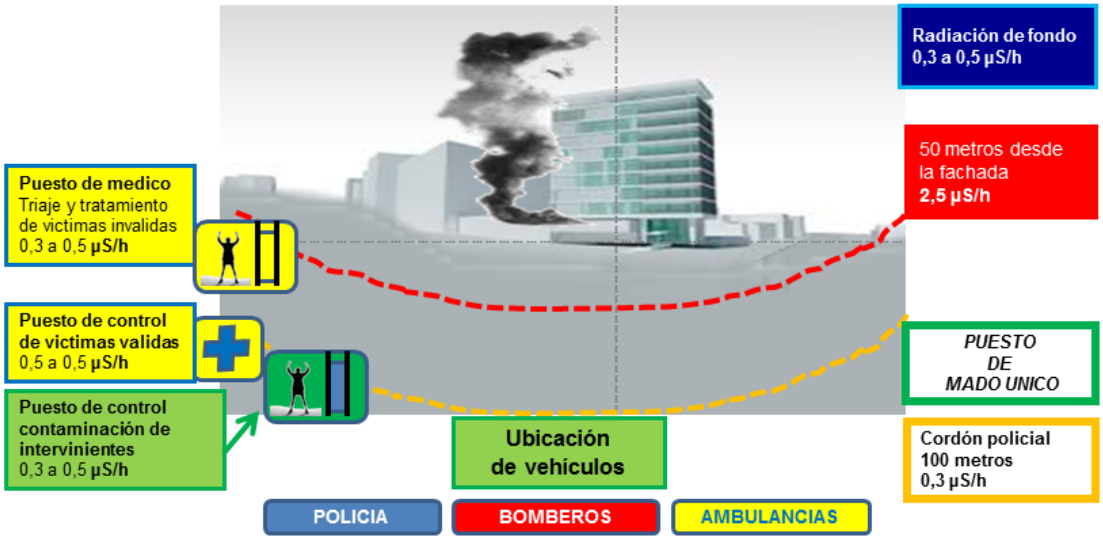
5.3. ANÁLISIS DE RIESGOS

- Riesgo alto de contaminación del humo.
- Riesgo de radiación térmica.
- Riesgo de radiación / Contaminación si la fuente estuviera afectada.
- Riesgo de contaminación del humo al resto del edificio

5.4. ACCESO AL LUGAR DEL ACCIDENTE

Se regulará el acceso a fin de reducir al mínimo los riesgos subsiguientes de exposición o de contaminación

Zona exterior: Si se detecta presencia de contaminación radiactiva



5.5. PROTECCIÓN FRENTE A RIESGOS ASOCIADOS

Nivel I de protección + Equipo de protección respiratoria todo el personal.

El binomio de ataque y extinción debe de ir provisto de un equipo de detección de radiaciones ionizantes, y al menos de 1 dosímetro por binomio.

Se debe de monitorizar todo el perímetro, así como el humo del exterior. (La UME tiene los medios adecuados para realizar esta función).

El incendio se desarrolla dentro de una zona constructiva de alta seguridad, tabiquería reforzada contra radiaciones ionizantes, si las puertas estuvieran abiertas podría haber efecto rebote de la radiación.

A pesar de estarse realizando las labores de extinción, los especialistas integrados en estos servicios de emergencia (Bomberos con la especialidad Rad 2), deben de realizar lo antes posible una monitorización radiológica del escenario, tomando mediciones y teniendo en cuenta la exposición de los aparatos de detección a elevadas temperaturas, así como intentar conseguir datos de la contaminación por medio de frotis o en la salida en el consiguiente procedimiento de control de contaminación y desvestido de

intervinientes que ha de reunir las garantías necesarias para la protección del trabajador en esta etapa tan delicada.

Este es uno de los casos más claros donde un servicio ha de controlar dos riesgos diferentes con personal coordinado, pero en diferentes funciones operativas. Para todo asesor radiológico, el cumplimiento de la justificación, optimización y limitación están presentes en esta fase de la intervención, y sólo se consiguen con la correcta planificación y asignación de dosis adecuada para cada interviniente, ya que simplemente pasarles al Grupo II con dosis hasta 50 mSv, va a depender de muchos factores y, debe ser estudiada adecuadamente. Se pueden hacer labores con exposición y mantener los niveles de 1 mSv siempre que se pueda hasta que no sea suficiente para acometer el objetivo y haya que asignar mayores dosis. El número de personal disponible, la dureza de las tareas, el tipo de siniestro, el tiempo estimado de trabajo, etc. son factores que van a determinar estas asignaciones.

Reducir al mínimo posible la dosis tanto como razonablemente sea posible (ALARA) corresponde a la seguridad de la intervención y por tanto a la protección de los trabajadores, que en estas intervenciones no sólo presenta riesgos inmediatos o deterministas, sino también riesgos de padecer enfermedades como consecuencia de las radiaciones recibidas (estocásticos). Es importante recordar que éstas no tienen umbral minino y que por tanto ninguna radiación es despreciable.

Tendremos en cuenta que en la fase de remoción de un incendio, se está sobre las brasas y hay gran número de cenizas que se desprenden, depositándose sobre nuestros equipos de protección.

Igualmente, en el recorrido hasta la salida se deposita gran cantidad de contaminantes. Nuestras botas tendrán gran cantidad de contaminantes adheridos en las suelas

Detectada la presencia de contaminación radiactiva, se activará el PEI de Protección Radiológica

Incendios: Deben existir unas normas editadas por el Servicio de Mantenimiento, sección de Gestión Ambiental y Seguridad, que indique el comportamiento de los trabajadores ante un incendio, con especial hincapié en los distintos tipos de fuegos y la mejor manera de atacarlos en su inicio. La explicación del folleto y por tanto su conocimiento ha sido efectuado en los simulacros de emergencias.

BY NC SA

La actuación en las diferentes etapas del incendio y de sus consecuencias posteriores de los trabajadores del Servicio de M.N. y de P.R. debería ser la siguiente:

a) Detección: El sistema de detección de incendios detectará (salvo avería) el humo producido y pondrá en funcionamiento la alarma acústica y sonora del panel de control situado en recepción. En este caso, el trabajador que se perciba este suceso, dará cuenta inmediatamente a un supervisor y a un titulado superior de P.R. y avisará por centralita al equipo de Seguridad encargado de la extinción de incendios.

b) Intento de extinción inmediata: El trabajador que detecte humo o fuego, si es de poca importancia, producido por ejemplo por un cigarrillo en una papelera, en una superficie de madera o un aparato que ha sufrido un cortocircuito es posible que cuente con la destreza y la rapidez necesaria para extinguir inmediatamente este conato de fuego, por ejemplo, vaciando la papelera o echándole un poco de agua o desconectando de la red el equipo que desprenda humo. En todo caso, el trabajador no debe exponerse innecesariamente y tomará las precauciones que considere necesarias para salvaguardar su persona.

c) Extinción: Ante un fuego ya localizado y en aumento, el personal que se haya hecho cargo del incidente pulsará la alarma de incendios y procederá a localizar y preparar el o los extintores más cercanos, siguiendo las instrucciones de uso. También podrá poner en funcionamiento la manguera de agua si lo cree necesario. La localización de estos elementos debe estar descrito adecuadamente.

d) Toma de decisión de evacuación: Si el fuego ha progresado y no es fácilmente controlable, el supervisor Jefe del Servicio y el responsable de P.R. tomarán la decisión de proceder a la evacuación del Servicio, comunicándolo a la Gerencia o Dirección Médica.

e) Evacuación: Las normas a seguir en el caso de que se crea necesario proceder a la evacuación están descritas al final del epígrafe. En el caso de que se hubieran producido daños personales, se intentará atenderlos según la descripción que se realiza al final de los puntos de actuación.

f) Ayuda al equipo de extinción del hospital y Bomberos: En el caso que el incendio afectara a la cámara caliente y supusiéramos que se hubieran volatilizado radioisótopos, Protección Radiológica puede realizar una estimación de las dosis que suponemos como máximo podrían recibir, y se tomará en consideración si se trata de una Operación Especial Planificada a los efectos del personal que pueda intervenir en ella. Se facilitará la labor de los equipos de extinción de incendios que acudan al Servicio, proporcionándoles toda la información que necesiten, mediante planos y explicaciones verbales, comunicándoles la obligatoriedad de:

- utilizar equipos autónomos de respiración,
- llevar los dosímetros TLD y de alarma que les proporcionarán radio protección dentro de sus posibilidades (es decir, si ha habido tiempo de sacarlos del edificio),
- de someterse a la monitorización y en su caso descontaminación,
- someterse a cualquier otro procedimiento que el Servicio de Protección Radiológica del Hospital considere necesario, quedando bajo su responsabilidad el incumplimiento de las normas.

BY NC SA

g) **Acceso al lugar del accidente**: Se regulará el acceso a fin de reducir al mínimo los riesgos subsiguientes de exposición o de contaminación

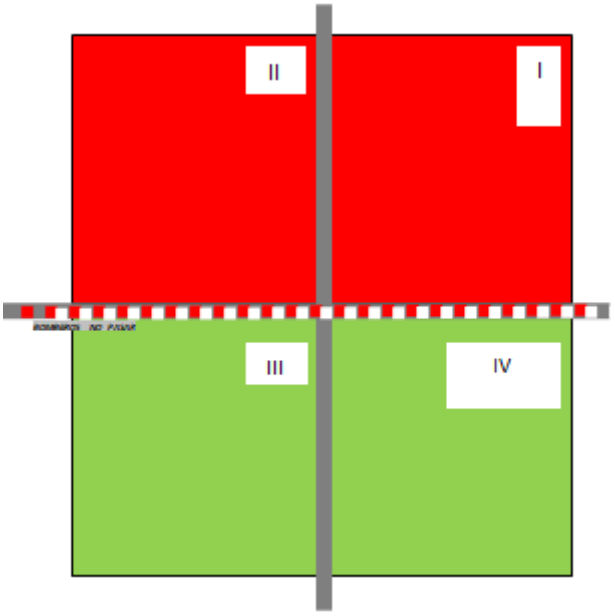
h) **Limpieza, desescombro y almacenamiento de residuos:** En el caso de destrucción parcial o total del edificio, será necesario posteriormente proceder a la limpieza y desescombro de los restos del edificio. El procedimiento a seguir se halla descrito bajo el correspondiente epígrafe.

i) **Informe a las autoridades:** Si ello es posible (porque aún existen), un titulado superior de P.R. anotará en los Libros diarios de M.N. y Radio protección el incidente y la manera en que se solucionó. El Jefe del Servicio de P.R. enviará al C.S.N. un informe de lo sucedido con el visto bueno de Gerencia del Hospital.

Cuando los equipos que trabajan en el interior salgan al exterior se tendrán que dirigir a una zona donde se les monitorice sus niveles de contaminación

En la salida al exterior disponer de una zona donde el personal que sale de la zona caliente se le mida su nivel de contaminación.

Instalar una zona de descontaminación si fuera preciso, a una distancia del edificio de 50 metros. (Ver procedimiento)

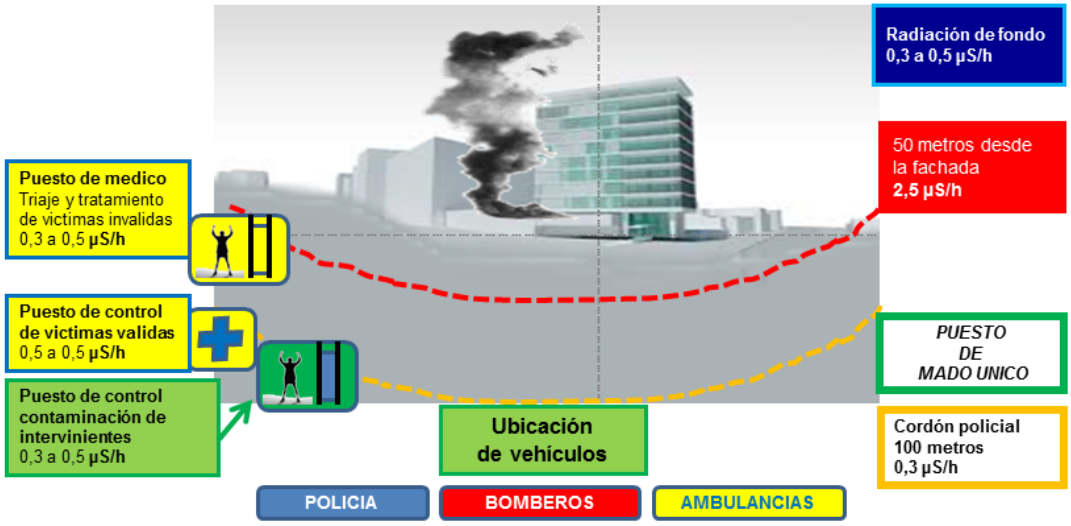


Tener mucha precaución con el agua de escorrentía, podría estar contaminada, si hubiera tenido contacto con la fuente.

Según norma el blindaje de una fuente debe de resistir más de 1 hora una temperatura de 800ºC.

Si en el trascurso de la extinción diera nivel de contaminación / radiación, habría que modificar los niveles de protección.

Empleo de trajes tipo 3B + botas de PVC + (ERA) (mascarillas FFP3) + dobles guantes de nitrilo por mano.



5.6. NORMAS DE EVACUACIÓN

- Si se produce la decisión de evacuación del Servicio, se comunicará inmediatamente al resto del personal por los supervisores de M.N. y P.R. y se procederá a abandonar la instalación ordenadamente procurando no crear una sensación de pánico y descontrol. Los pacientes que estén en ese momento esperando o realizándose una exploración serán informados de la necesidad de abandonar el edificio mientras se solucione el incidente, ya sea por el personal médico o D.U.E. Si se considera que hay tiempo, el personal de Radio farmacia o de P.R. procederá a cerrar con llave el acceso a la cámara caliente.

- Los enfermos ingresados en planta están a cargo de una enfermera, que será avisada por un supervisor o personal de P.R.; como en general éstos enfermos no están impedidos, podrán abandonar el Servicio por su propio pie, acompañados por la enfermera. En el caso de niños muy pequeños o de que el enfermo esté en silla de ruedas, la enfermera se ocupará personalmente de su transporte. Si hubiera una visita de un familiar en ese momento, también abandonará el Servicio. Según el tiempo transcurrido desde su ingreso y de la tasa de dosis a 1 m. de estos enfermos, Protección Radiológica decidirá las condiciones de Hospitalización posteriores junto con el supervisor responsable del Servicio de M.N. y la Dirección Médica del Hospital. Mientras se tome esta decisión se procurará mantenerlos agrupados y relativamente aislados del resto de pacientes, personal del Hospital y miembros de los equipos de emergencia. Se recuerda la necesidad de conservar la calma y evitar un alarmismo inútil por parte del personal de M.N.

- La ruta de evacuación del Hospital está indicada mediante señales en las paredes y planos de situación.

BY NC SA

Una vez detectada la presencia de radiaciones ionizantes en el siniestro, el mando tomará la siguiente información, que deberá de entregar al evaluador radiológico del Consejo de Seguridad Nuclear CSN

TASA DE DOSIS	***Tiempo ocupación total en el que la dosis superan 50 mSv***	***Tiempo ocupación total en el que la dosis superan 500 mSv***
0.3 mSv/h 100 µS/h	***500 horas***	***5000 horas***
1 mSv/h	***50 horas***	***500 horas***
10 mSv/h	***5 horas***	***50 horas***
100 mSv/h	***30 minutos***	***5 horas***
1000 mSv/h 1 Sv/h	***3 minutos***	***30 minutos***

Recomendaciones

Encendido aparatos medición. Dosímetro. Prismáticos

Todo los intervinientes con protección E2+ ERA

Zonificación a priori: Sospecha contaminación-300 metros y viento de espaldas Nunca más de 100microSieverts/h. Sin contaminación confirmada 50 metros

Riesgos asumibles. No asumibles.

Mitigación riesgos inmediatos.

Búsqueda y rescate de posibles víctimas en la zona caliente. (Binomios/trinomios)

Búsqueda de información referente a las fuentes radiactivas afectadas.

Envío información constante a CCCC/Salem CSN

Preparar recepción víctimas e intervinientes. 0,3 µS/h

Rellenar ficha.

Necesidad urgente de Monitorización radiológica con radiómetros.

Nombre de la victima		*Tiempo de exposición*	*Distancia con la fuente*
1			
2			
3			
4			

Nombre del interviniente		*Tiempo de exposición*	*Distancia con la fuente*
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Dibujar esquema de situación:

BY NC SA

5.7. NORMAS DE ACTUACIÓN POSTERIOR (DESESCOMBRO, MEDICION, ETC.):

Una vez el incendio ha sido extinguido y si la estructura del edificio ha resultado dañada, según la catástrofe haya afectado a zonas calientes con material radiactivo o no, el operativo a seguir será diferente.

- Si no están afectadas áreas del Servicio que sepamos que contenga material radiactivo, el problema a que nos enfrentaríamos sería el de desescombro, que normalmente debería ser efectuado por una empresa especializada y contaría con el asesoramiento de nuestro Servicio de P.R. para evitar las zonas calientes del Servicio y por si apareciera material radiactivo que inadvertidamente estuviera en el lugar afectado.

- En caso de detección de radio nucleídos, sería conveniente su identificación mediante la toma de muestras o frotis para decidir si esperar un periodo razonable de tiempo para su decaimiento o almacenar los restos del material de construcción como residuos en nuestro almacén, siempre que hubiera la capacidad necesaria.

- Si resultaran destruidas la gamma teca o cámara caliente, la actuación a seguir sería la de proceder a la medida sistemática con un detector de tasa de dosis y un monitor de contaminación los escombros generados, sirviendo de apoyo a una empresa que normalmente se hará cargo de esta tarea. Si restos de la estructura

se han esparcido por el recinto del Complejo Hospitalario, Protección Radiológica se hará cargo de medirlos para asegurar que no están contaminados y si resulta positiva la detección, recogerlos en recipientes adecuados, identificar el radioisótopo contaminante y proceder a su almacenamiento.

5.8. ACTUACIÓN EN CASO DE INUNDACIONES

Inundaciones:

Aunque la problemática de las inundaciones es diferente que los incendios, puede considerarse que la probabilidad de ocurrencia no es despreciable en la escorrentía de agua, en la extinción del incendio, las instalaciones de Medicina Nuclear están situadas en planta sótanos o a nivel de calle o incluso a un nivel inferior a la de la planta sótano

Describimos la metodología a seguir en una situación de similares características:

a. Evacuación del personal no imprescindible, comunicación a los servicios de seguridad interno y a Protección Civil y a una empresa especializada en el trabajo con residuos radiactivos.

b. Se regulará el acceso a fin de reducir al mínimo los riesgos subsiguientes de exposición o de contaminación

c. Recuperación del material radiactivo y medida si procede de su actividad

d. Medida de agua para evaluar la actividad vertida y de acuerdo con estos datos decidir si almacenamos el agua en contenedores para su decaimiento.

e. Mediante la colocación de una bomba y una manguera se puede intentar la aspiración y vertido del agua de la inundación.

f. Acondicionamiento y limpieza posterior.

g. Anotación en el Libro diario del incidente y comunicación al C.S.N.

- El personal especializado, utiliza equipos personales de protección: guantes, botas, traje impermeable y máscaras con filtro de carbono y normalmente también disponen de dosimetría personal y los detectores de tasa de dosis

- En general, en el caso de una inundación de un recinto de una Instalación Radiactiva habría que intentar seguir los pasos descritos anteriormente: aviso a P.R., intento de rescate del material radiactivo, medida de la actividad del incidente, acondicionamiento y limpieza del recinto y anotación en Libros Diarios y comunicación al Consejo de Seguridad Nuclear.

BY NC SA

Cálculos de radiación Cobalto 60 con una actividad de 2 TBq

Distancia en metros	*Tasa de dosis*
2	*152 mSv/h*
5	*24,175 mSv/h*
10	*5,9408 mSv/h*

Distancia en metros	*Tasa de dosis*
25	*0,902 µS/h*
50	*0.2071 µS/h*
100	*O,04360 µS/h*

Calculo de radiación de Cesio 137 con una actividad de 375 GBq

Distancia en metros	*Tasa de dosis*
2	*7,1075 mSv/h*
5	*1,1239 mSv/h*
10	*0,2775 mSv/h*

Distancia en metros	*Tasa de dosis*
25	*0,0415 mS/h*
50	*9.41 µS/h*
100	*1,90 µS/h*

5.9. CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN UN INCENDIO CON RIESGO DE CONTAMINACIÓN / RADIACIÓN IONIZANTE

- **Tipo de edificio:** Uso hospitalario.
- **Zona del incendio:** Zona de medicina nuclear
- **Riesgos:** Fuentes de Cobalto 60 y Cesio 137
- **Situación:** Planta -1 de un edificio de 5 alturas sobre rasante y 3 bajo rasante.
- **Características constructivas:** Zona donde está el incendio y emplazamiento de las fuentes radiactivas. Cámara de seguridad con blindajes

  Edificio exento, estructura de hormigón armado, de uso hospitalario.

  Escalera discontinua de ámbito y trazado a la altura de la planta baja, con salida directa al exterior.

  Según documentación cumple todas las normas de seguridad. Forma un sector de incendio independiente, con puertas automáticas.
- **Medios de extinción:** BIES, Extintores de CO2 y Polvo, puertas automáticas corta fuegos, red de saneamiento independiente.
- **Criterios de zonificación:** La zonificación no será estática, estará sujeta a las variaciones que puedan surgir durante el incendio:

- **Zona exterior:**

  Aumento de la velocidad del viento.

  Cambio de la dirección del viento.

  Variación de la temperatura.

  Humedad del ambiente. (Lluvia).

  Monitorizar la zona de forma perimetral e informar al puesto de mando cualquier variación.

- **Zona interior:** Si el incendio afecta a la cámara de seguridad donde están situadas las fuentes radiactivas, si se detecta presencia de radiación/contaminación radiactiva, todo el personal debe de salir a la zona exterior para reevaluar la situación, definir estrategias y nivel de protección.

La protección personal y respiratoria, estará en función de la zona de trabajo.

Nivel de protección por zonas de trabajo.

- **Zona caliente:**

  Durante la fase del incendio (Nivel I + ERA).

  Fase de remoción de brasas del incendio, mantener el mismo nivel de seguridad que en la fase de incendio.

  Fase de recogida de aguas y sólidos contaminantes (Nivel II + Guantes de cloropreno + Guantes de nitrilo + ERA + Botas de PVC + Mascarilla buco nasal FFP3).

  Si disponemos de ello, todo el personal dispondrá de un dosímetro de radiación, si no disponemos de los suficientes, todas las parejas el número impar dispondrá de un dosímetro de radiación, el bombero que lleve el dosímetro será el que siempre esté más cerca de la zona de la cámara caliente.

- **Zona templada:** Siempre se mantendrá, Nivel I + ERA en prevención.

- **Zona fría:** Mantener siempre, Nivel I + mascarilla buco nasal FFP3

Distancias de la delimitación de zonas.

- **Zona caliente:** La planta afectada y por seguridad “todo el edificio” se dispondrá de una monitorización de radiación por planta.

Se montarán líneas de agua para control del humo, evitando este penetre en las plantas superiores.

Un hospital es considerado por normativa como edificio no evacuable, al tratarse de enfermos considerar evacuación horizontal.

En el exterior por donde salga el humo, se instalarán líneas de agua para abatir el humo, provocando que las partículas radiactivas que transporta caigan al suelo evitando dispersarse.

La distancia que alcanza la zona caliente en el exterior será de 50 metros desde cualquier cara de la fachada exterior.

A 50 metros de la fachada, establecer el puesto de mando avanzado y las siguientes zonas de trabajo. El puesto de mando establecerá diferentes sectores. El puesto de mando estar compuesto por:

Mando de bomberos. Mando sanitario. Mando policial. Evaluador radiológico del consejo de seguridad nuclear. Mando responsable del hospital. (Físico responsable del PEI).

Sector de incendio.

Control de zona de trabajo.

Control de consumos.

Control de tiempos de exposición.

En incendios pequeños, evitar el agua como agente extintor, emplear extintores de polvo y CO_2.

En incendios de envergadura, conviene realizar la extinción con espumas de baja expansión tipo AFFF. (El agua se soltará lentamente de la espuma y obtendremos un mejor control del agua de escorrentía).

Procurar no ventilar el incendio, evitaremos se extienda la contaminación.

Si fuera imprescindible realizar al extinción con agua, emplear está muy pulverizada, tener un especial control del agua de escorrentía.

Controlar y embalsar el agua de escorrentía, para facilitar la recuperación y envío como residuo.

Sector de evacuación.

Sector entrada a la zona caliente: Muy importante minimizar el número de personal en esta zona de trabajo.

BY NC SA

Se supervisará el nivel de protección definido para el área de trabajo a la cual se va a dirigir.

Se le informará de las acciones que debe de realizar.

Se informará de la dosis que va a recibir.

Se comprobará que lleva el dosímetro y se supervisará su funcionamiento, indicando las alarmas que dispone y que debe de hacer si estas se activan.

Sector de detección.

Zona interior,

Zona exterior

Monitorización de la zona limite caliente/templada.

Sector de control de contaminación.

Filiación de intervinientes.

Anotación de las dosis recibidas.

Control de contaminación de intervinientes.

Zona de desvestido, con contaminación radiactiva.

Sector sanitario.

Control de contaminación de víctimas válidas.

Control de contaminación de víctimas invalidas.

Zona depósito de herramientas contaminadas.

- **Zona templada:** Espacio situado desde los 50 metros de la fachada, a la distancia donde se sitúa la zona fría.

- **Zona fría:** Situada a 400 metros de la fachada.

Zona donde se realizarán los relevos del personal.

Acopio del material.

Vehículos en espera.

Área destinada a las autoridades.

Área de atención a la prensa.

BY NC SA

5.10. PROCEDIMIENTO DE DESVESTIDO

En las intervenciones en la que estén implicadas sustancias radiactivas existe la posibilidad que se produzca una trasferencia involuntaria de material radiactivo, incorporándose a la ropa de intervención y contaminándola, si bien es cierto que una correcta planificación de la intervención tiene como principal objetivo que no exista tal contacto. En otras ocasiones, no se tendrá la certeza que ese contacto se haya podido producir, como puede ser el caso de incendios o de rescates urgentes de personas o en zonas contaminadas.

La contaminación radiactiva, a diferencia de otras, es detectable e incluso se puede determinar el nivel de gravedad de la misma, empleando unas simples reglas y unos aparatos de detección básicos y de fácil manejo.

Sin embargo, la descontaminación es un proceso atípico, ya que se está habituado a emplear técnicas de neutralización, lavado, aclarado y retirada de un producto mediante unos corredores estandarizados de descontaminación que son difíciles de adaptar a estas situaciones. La descontaminación muy grave o extensa por sustancias radiactivas sobre objetos puede ser un proceso técnico, lento, costoso y que en algunas ocasiones no es factible, tanto a nivel económico como humano, ya que los niveles de contaminación podrían llegar a ser tan altos que resultaría inviable. Esto último suele ocurrir en accidentes o sucesos catastróficos vinculados a centrales o accidentes nucleares (Fukushima Daiichi o Chernobyl) y que es poco probable encontrarse en una emergencia en la ciudad.

Objetivos: Retirada segura del traje de intervención E2+ERA contaminado con sustancias radiactivas.

- Monitorizar el nivel radiación.
- Gestión de material contaminado.
- Limitar y contener la dispersión de la contaminación.

A) Material a utilizar y equipamiento personal

EQUIPO PERSONAL Y EPIs	MATERIAL ESPECÍFICO DE LA MANIOBRA
• Guantes de látex o nitrilo. • Guantes de goma/neopreno. • Equipo de respiración autónomo. • Mascarilla bucal FFP3 • Traje de tipo 3 (nivel II) • Botas. • Gafas de protección ocular • Traje E2	• Lona de color rojo de PVC • Lona de color verde de PVC • Cubo para residuos • Plásticos trasparentes • Bolsas de plástico grandes. • Cinta adhesiva. • Radiámetro • Contaminómetro

B) Número de componentes

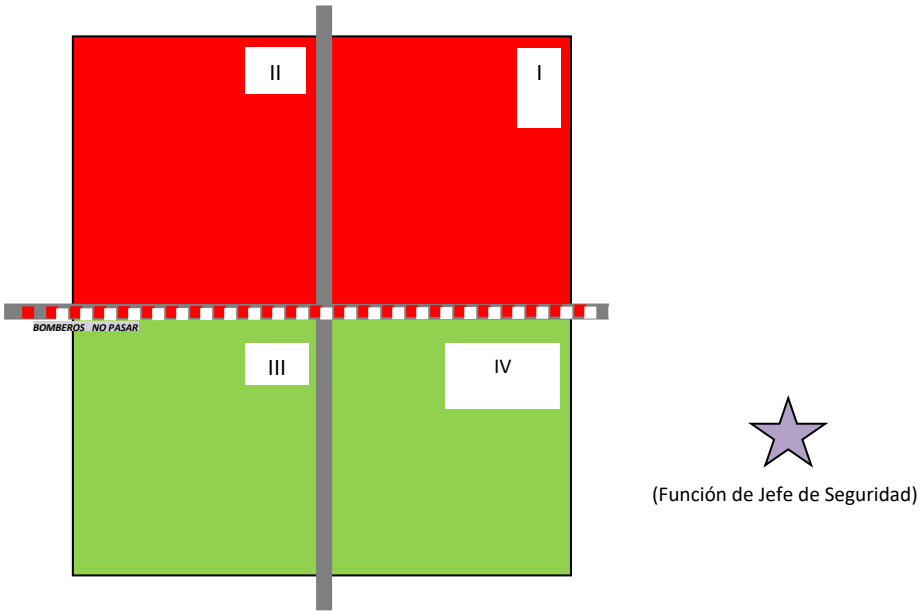
La maniobra se realiza por parejas y supervisadas por un Jefe de Seguridad.

Desarrollo:

Efectuar una medición de la radiación ambiental o “fondo”. Dicho fondo de manera natural en Madrid oscilará entre 0,19 y 0,2 µSv/h (micro Sieverts/hora). También se podrá consultar dicho valor en la dirección web: https://www.csn.es/valores-ambientales-rea

Una que se haya efectuado y registrado el valor del fondo ambiental (el cual deberá anotarse en el parte de intervención, junto con el resto de mediciones efectuadas), la zona de desvestido se establecerá donde la tasa de dosis sea menor o igual a 0,3 µSv/h.

A continuación, se deberá colocar sobre el suelo las lonas roja y verde una junto a la otra, se fijarán al suelo con cinta adhesiva y en la zona de unión colocar un tramo de cinta de acordonar que haga de frontera; se empleará otro tramo de cinta adhesiva para dividir cada lona en dos zonas distintas tal y como figura en el siguiente esquema. Por último, disponer plásticos trasparentes sobre ambas zonas. Al final de este paso se habrán creado cuatro zonas diferenciadas (I a IV).



La circulación del personal que pase por la estación será de I a III, estando la zona IV destinada para el Bombero que guía el desvestido.

Colocar los plásticos transparentes sobre las lonas, de manera que se vean tanto las divisiones como el color de las lonas.

Situar una bolsa de basura grande sobre la división entre las zonas I y II, y otra con la abertura hacia arriba sobre el suelo de la zona I.

El personal que va a guiar el desvestido se equipará con el traje de tipo 3 (nivel II), botas, guantes de goma/neopreno como primer par de guantes y sobre él dos pares de guantes de nitrilo, gafas de protección ocular y mascarilla bucal FFP3.

Ordenar a los intervinientes que se aproximen a la zona I de uno en uno con el ERA conectado y que sigan las indicaciones.

A partir de ese momento será el bombero guía situado en la zona IV, el que dicte las órdenes y el jefe de seguridad, supervisará el desarrollo de las acciones desde una posición próxima con la ayuda del checklist que se adjunta como anexo 3.

NOTA 1: El mando intermedio que asuma las funciones de Supervisor de Seguridad, entre otras funciones, se encargará de efectuar comprobaciones periódicas del fondo ambiental, observando que no aumente con el paso de los intervinientes por la estación, siendo tolerables variaciones entorno a las centésimas de µSv/h.

NOTA 2: En caso de que el interviniente portará un DLD (Dosímetro de Lectura Directa), se deberá anotar la tasa de dosis, medida en µSv o mSv, con el objetivo de llevar a cabo un control posterior y registrarlo en el Parte de Intervención. En caso de que esté presente un Asesor Radiológico (especialista del CSN que actuará como asesor y consejero del Jefe de Siniestro/Operaciones) colaborará con dicho registro.

Efectuar una primera monitorización con el contaminómetro y compararla con el fondo ambiental. En caso de obtener el doble o más del doble del fondo, se considerará que existe contaminación por incorporación de material radiactivo en los equipos y se deberán seguir la secuencia de acciones mostradas en las fotografías y la explicación de los textos que la acompañan:

BY NC SA

- El bombero que dicte las ordenes y guie al interviniente se situará en la zona IV.
- El personal que vaya a desvestirse se situará sobre la bolsa de basura grande en la zona I.
- No efectuar movimientos bruscos, todos deberán ser lentos y pausados.
- Depositar las herramientas en el interior.

- Quitarse él ERA de la espalda e introducirlo en el cubo o bolsa de plástico grande sin quitarse la máscara.

- Quitarse los guantes de fuego, sin tocar el exterior ni entrar en contacto con la piel, depositarlos en la bolsa que hay a los pies.

- Retirar cuidadosamente el puño de solape de la manga, para librar el dedo gordo en ambas manos.

BY NC SA

- El bombero situado en la zona 4, entregará al bombero dos pares de guantes de nitrilo. Se pondrá un par sobre otro en ambas manos

- Retirarse el chaquetón y procurar no tocar el interior con los guantes.

- Retirase el cubre pantalón, introduciendo las manos por el interior de los tirantes y bajarlo hasta la altura de los tobillos sin tocar el exterior y sin movimientos bruscos.
- Mantener él ERA y el casco.

BY NC SA

- Retirarse las botas ayudándose con los pies.
- Dejar el cubre, junto las botas y el chaquetón en la bolsa de plástico.
- Salir despacio y pasar a la zona II sin retirar él ERA.

- Cerrar la bolsa con el equipo E2 y anudarla.

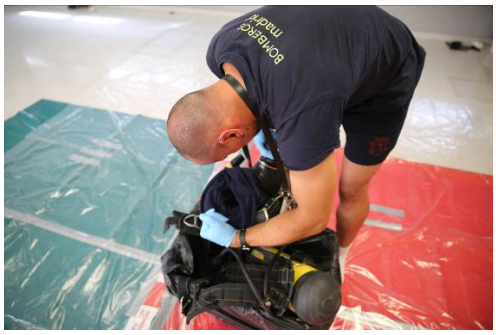
NOTA 3: Es muy importante que cuando se cierre la bolsa, no se la apriete para expulsar el aire que haya quedado en el interior, ya que de hacerlo se generaría un chorro de aire que arrastraría y proyectaría la contaminación sobre el interviniente y la zona de desvestido, lo que generaría un grave riesgo de contaminación, pudiendo incluso afectar a la efectividad y seguridad del mismo.

- Retirase el casco con la máscara puesta de la siguiente forma:
  i. Desconectar el cable del comunicador intercraneal.
  ii. Desabrocharse el barbuquejo y pasar la cinta de la careta por delante la cabeza.
  iii. Subir el cubrenucas por encima del cuello.
  iv. Aflojar al máximo los dos tensores de ajuste que hay en el interior del casco a la altura de la nuca.
  v. Meter la mano por la parte interior del verdugo, volverlo hacia fuera y hacia arriba, y sujetarlo con una mano con la palma mirando hacia dentro y la muñeca por encima de los dedos.
  vi. Cortar el paso de aire en el pulmoautomático y aguantar la respiración.

BY NC SA

vii. En posición agachada, con esa misma mano tirar hacia arriba y con la otra mano tirar hacia fuera traccionando del pulmoautomático.

viii. Depositar casco con la máscara y el verdugo en la bolsa de basura, junto con la botella y la espadera.



- El bombero situado en la zona 4, entregará una mascarilla de protección buconasal FFP3 ·al bombero con objeto de mantener la protección respiratoria hasta el final de la estación.

- A continuación, se adjunta la secuencia de colocación de una mascarilla.

- Retirarse los guantes exteriores, depositarlos en la bolsa de plástico en la que se haya él ERA y cerrarla, tocando solamente la parte exterior de la misma.
- El primer par de guantes se deberá mantener hasta el final del proceso.

NOTA 4: la bolsa con el equipo deberá ser retirada por el siguiente bombero que está esperando para entrar en la zona de descontaminación y alejarla lo máximo posible del entorno para evitar modificar las lecturas de los detectores.

- Efectuar una monitorización con el contaminómetro y compararla con el fondo.

Es muy importante que la monitorización se efectúe lentamente, de manera minuciosa y sin tocar con el detector ninguna parte del cuerpo o la ropa. El objetivo de este paso es buscar o localizar una posible contaminación de la piel, debiéndose para ello

BY NC SA

comparar las lecturas obtenidas con el fondo ambiental como se ha hecho con anterioridad.

Contaminación negativa:

- Si no se detecta contaminación pasar a la zona III, vestirse y abandonar la zona

Contaminación positiva:

- Retirarse el resto de ropa excepto la interior y depositarla junto con la ropa de intervención.
- Efectuar una nueva monitorización con el contaminómetro.
- Si lo que se obtiene son valores normales, es decir, no se detecta contaminación, el bombero situado en zona IV ordenará el paso a la zona III, para vestirse y abandonar la zona.
- En caso de que se sigan detectando valores o niveles que indiquen que la contaminación persiste, el bombero situado en zona IV lo indicará al Jefe de Seguridad. Éste comunicará este hecho al Jefe de Descontaminación de Víctimas de los servicios sanitarios y el bombero deberá dirigirse acompañado al corredor de descontaminación de víctimas, siguiendo desde ese momento las instrucciones médicas correspondientes.

C) Seguridad y salud

Las instrucciones del bombero situado en la zona 4 y del Jefe de Seguridad:

- Registrar y anotar las tasas que se hayan obtenido en los dosímetros personales que porten los intervinientes.
- En caso de no estar seguros de si se ha tocado algo o ejecutado una acción, voluntaria o no, que pueda conllevar contaminación, se deberá ser sincero e informar al bombero situado en la zona 4, al inicio del desvestido, indicando en qué zonas puede haber contaminación.
- Usar siempre dos pares de guantes, retirando el primero sólo al final del proceso y cambiando el par exterior cuando sea necesario.
- No tocarse la cara, beber, fumar o comer durante el proceso.

D) Observaciones

En caso de obtener positivos se deberá tener especial precaución en alejar la ropa y material contaminado de la estación hasta que el fondo ambiental vuelva a los valores iniciales o con una variación entorno a las centésimas del mismo.

- No tocar bajo ningún concepto superficies, ropas o material con el contaminómetro, con aproximarlo hasta una distancia de 1 a 2 cms será más que suficiente.
- Proteger el radiámetro y los dosímetros personales con bolsas, fundas o plásticos de protección para evitar que se contaminen y obtener “falsos positivos”.

BY NC SA

E) Particularidades

Etiquetar las bolsas con el equipo personal para efectuar un seguimiento.

F) Verificación y entrenamiento

- Practicar la retirada del casco y mascara en las maniobras de los parques.
- Efectuar prácticas diarias con los distintos aparatos de medición y habituarse a registrar los valores de las mediciones efectuadas.

BY NC SA

6

ANEXOS

ANEXO 1

Limitación de zonas: Para la limitación de las zonas de riesgo es necesario realizar un reconocimiento de las áreas con radiaciones; los métodos de protección antes descritos son efectivos cuando se conocen las áreas en que existe radiación, pero ¿cómo saber esto? Las áreas en las que hay fuentes de radiación o material radiactivo se definen como áreas de acceso restringido y han de estar señalizadas con carteles de diferentes colores en función del nivel de radiación existente. Si las ordenamos de menor a mayor nivel de radiación, las zonas son las siguientes:

- Zona Vigilada, de color gris.
- Zona Controlada, de color verde.
- Zona de Permanencia Limitada, de color amarillo.
- Zona de permanencia Reglamentada, de color naranja.

Los carteles indican además si existe riesgo de irradiación (puntas radiales) y/o contaminación (fondo punteado).

Todos los empleados del hospital deben ser capaces de reconocer las áreas restringidas mediante la localización de los signos en la puerta de acceso a servicios y salas, en las zonas de trabajo dentro de las áreas restringidas, en los cubos de residuos radiactivos, en las etiquetas de bultos con material radiactivo, campanas de gases, refrigeradores.

Etiquetas de señalización de zonas

ANEXO 2

CATEGORÍAS DE BULTOS, SEÑALIZACIÓN Y ETIQUETADO.

Se ha producido, con las últimas versiones del reglamento, un aumento significativo en los requisitos de señalización, debido a que la identificación rápida de las materias transportadas y los riesgos asociados a cada tipo es esencial para los equipos de intervención en caso de emergencia. Todo bulto llevará en la superficie externa:

- La identificación del expedidor, del destinatario o de los dos a la vez.
- En bultos no exceptuados el número ONU precedido de las letras “UN” y la descripción de la materia.
- Los bultos exceptuados sólo el número ONU.
- La indicación de su peso bruto, si supera los 50 Kg.
- La mención al tipo de bulto: “TIPO IP-1”, “TIPO IP-2”, “TIPO IP-3” ó “TIPO A” según corresponda.
- Los bultos industriales de tipo 2 y 3 o de tipo A los códigos del país de origen del modelo y el nombre de los fabricantes.
- Cada bulto aprobado por la autoridad competente llevará la marca de identificación de dicho modelo y un número de serie para cada unidad.
- La mención “TIPO B(U)”, “TIPO B(M) ó “TIPO C”, según se trate.
- Estos últimos, además, llevarán grabado o estampado de modo que sea resistente al fuego y al agua y de forma visible un símbolo del trébol radiactivo de al menos 4 cm de diámetro. Todas estas inscripciones deberán hacerse en forma legible y duradera.

Los bultos y sobreembalajes se clasifican para su transporte en una de las categorías I-BLANCA, II-AMARILLA o III-AMARILLA según fundamentalmente la intensidad máxima de radiación en su superficie externa y del Índice de Transporte.

I-BLANCA Si el nivel máximo de radiación en la superficie es inferior a 0,005 mSv/h.

II-AMARILLA Si el nivel máximo de radiación en la superficie externa es superior a 0,005 mSv/h pero no supera los 0,5 mSv/h o el índice de transporte no es superior a 1.

BY NC SA

III-AMARILLA Si el nivel máximo de radiación en la superficie externa es mayor de 0,5 mSv/h pero no supera los 2mSv/h o el índice de transporte es mayor de 1 pero no mayor de 10. Asimismo, esta categoría se asignará a cualquier bulto que se transporte mediante "acuerdo especial".

Si el nivel de radiación supera los 2 mSv/h o el índice de transporte es superior a 10 se clasificará como III-AMARILLA pero, además, el transporte se hará bajo la modalidad de "uso exclusivo", aplicándose los límites al vehículo: - 2 mSv/h en superficie externa del vehículo. - 0,1 mSv/h a 2 m de la superficie del vehículo. - 0,02 mSv/h en los lugares del vehículo normalmente ocupados por personas, a menos que se controle su dosis.

En cualquier caso, el nivel de radiación del bulto no podrá sobrepasar los 10 mSv/h (1.000 mrem/h).

En las etiquetas, que llevan impreso el trébol y el número 7 como identificadores de las materias radiactivas, se debe indicar el contenido (por ejemplo, Cs-137, materias BAE-I, etc.), la actividad máxima contenida y el índice de transporte.

En bultos con materias fisionables además se colocará otra etiqueta en la que figure el Indicé de Seguridad respecto a la Criticidad.

En los contenedores hay que colocar las etiquetas en los cuatro lados y en las cisternas en los dos lados y en la parte trasera. En otros vehículos hay que colocar tres etiquetas (en los laterales y parte trasera) según este último modelo.

DOCUMENTACIÓN DE TRANSPORTE Y OTROS REQUISITOS.

La legislación sobre el transporte de materias radiactivas y, en general, sobre mercancías peligrosas no sólo contempla restricciones sobre los materiales y/o sobre los embalajes, sino que regula aspectos relativos a los propios vehículos y a sus conductores. Asimismo, toma en consideración distintos aspectos documentales y administrativos.

En el caso de España la "autoridad competente" es la Dirección General de Transportes por Carretera, dependiente del Ministerio de Fomento. Según el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, el transporte de materiales radiactivos, así como la aprobación o convalidación de modelos de bultos para el transporte de dichos materiales o de fuentes radiactivas de forma especial, cuando así sea requerido por la reglamentación específica en materia de transporte de mercancías peligrosas, estará sujeta a autorización por la Dirección General de la Energía, del Ministerio de Economía, previo informe preceptivo y vinculante del Consejo de Seguridad Nuclear. El principal responsable de que el transporte se realice conforme a lo legislado es el remitente o

expedidor, que es responsable de proporcionar toda la información necesaria para un transporte seguro.

El documento básico de transporte es la "CARTA DE PORTE", documento que debe recoger una descripción adecuada del material y embalaje/bulto objeto de transporte. El remitente debe, asimismo, declarar que la descripción es adecuada y que el embalado, etiquetado, etc., es conforme con el ADR.

En la Carta de Porte deberá figurar:

- El número ONU atribuido a la materia, precedido de las letras "UN".
- La descripción de la materia.
- El número de la clase "7".
- El nombre o el símbolo de cada radionucleido o, para las mezclas de radionucleidos, una descripción general adecuada o una lista de los nucleídos a los que correspondan los valores más restrictivos.
- La descripción del estado físico y de la forma química de la materia o la indicación de que se trata de una materia radiactiva en forma especial o de una materia radiactiva de baja dispersión. En lo que atañe a la forma química, es aceptable mencionar una designación química genérica.
- La actividad máxima del contenido radiactivo durante el transporte expresada en becquerelios (Bq) con el prefijo SI adecuado. Para las materias fisionables, en lugar de la actividad podrá indicarse el peso total en gramos (g), o en múltiplos del gramo.
- La categoría del bulto, es decir I-BLANCA, II-AMARILLA o III-AMARILLA.
- El índice de transporte (sólo para las categorías II-AMARILLA y III-AMARILLA).
- Para los envíos de materias fisionables distintos de los envíos exceptuados, el índice de seguridad respecto a la criticidad.
- La marca de identificación de cada certificado de aprobación o de conformidad de una autoridad competente (materias radiactivas en forma especial, materias radiactivas de baja dispersión, autorización especial, modelo de bulto o expedición) aplicable al envío;
- Para los envíos de bultos en un sobreembalaje o un contenedor, una declaración pormenorizada del contenido de cada bulto incluido en el sobreembalaje o el contenedor y, en su caso, de cada sobreembalaje o contenedor del envío. Si hubiera que retirar bultos del sobreembalaje o del contenedor en un punto de descarga intermedio, habrá que suministrar las cartas de porte pertinentes.
- Cuando un envío deba ser expedido bajo la modalidad de uso exclusivo, la mención "ENVÍO EN LA MODALIDAD DE USO EXCLUSIVO"; y m) Para las materias LSA-IIy LSA-III (BAE_II y BAE-III), las SCO-I y las SCO-II (OCS-I y OCS-II), la actividad total del envío expresada en la forma de un múltiplo de A2.

El remitente deberá proporcionar al transportista y restantes implicados en el embalado, desembalado o manipulación y transporte de los embalajes/bultos, cuanta información sea necesaria para la manipulación y transporte seguro de los bultos, tanto en condiciones normales como si se produjese alguna anomalía o accidente.

BY NC SA

Para poder realizar el transporte, el remitente deberá estar en posesión de los certificados de aprobación de las autoridades competentes que sean necesarios, en función del transporte específico de que se trate. Estos certificados se deberán facilitar a los transportistas cuando éstos lo requieran. En relación con los certificados, conviene tener presente que se requerirá la aprobación de la autoridad competente en los siguientes casos:

- Materias radiactivas en forma especial.
- Los bultos que contengan materias fisionables (aprobación multilateral).
- Los bultos Tipo B (U) y Tipo B (M).
- Los transportes amparados en arreglos especiales (aprobación multilateral).
- Las expediciones con bultos Tipo B (M) diseñados para hacer venteos intermitentes controlados.
- Las expediciones con bultos Tipo B (M) con una actividad mayor de 3.000 A1 o A2 (según corresponda). Si el valor aplicable fuese mayor de 800 TBq se tomará esta última actividad como límite.
- Las expediciones con sustancias fisionables en las que la suma de los índices
- de transporte sea mayor de 50.
- Las expediciones al amparo de acuerdos especiales.
- El cálculo de los valores de A1 y A2 que no figuran en la relación.

Otro aspecto a tener en cuenta en relación con el control administrativo del transporte por las autoridades competentes es el relativo a las notificaciones. La autoridad competente deberá recibir información sobre los números de serie asignados a cada embalaje fabricado según un diseño que haya sido aprobado por dicha autoridad. La autoridad mantendrá un registro de estos números. Antes de proceder a realizar la primera expedición de un bulto que requiera aprobación de la autoridad, el expedidor hará llegar a las autoridades de los países afectados copia del certificado emitido con relación al diseño del bulto de que se trate. Asimismo, hay que notificar a la autoridad competente, con una anticipación mínima de siete días, las previsiones de realización de las siguientes expediciones:

- Bultos Tipo B (U) con actividad superior a 3.000 A1 o A2 (según proceda), o a 800 TBq.
- Bultos Tipo B (M).
- Transportes amparados en un acuerdo especial.

BY NC SA

ANEXO 3

HOJA DE CONTROL DE LAS ACCIONES A SEGUIR

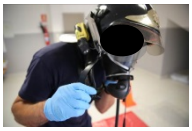
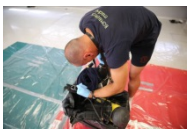
Marcar en los recuadros las acciones realizadas y seguir el orden cronológico

1 ☐	*La circulación del personal que pase por la estación será de I a III, estando la zona IV destinada para el Bombero que guía el desvestido.* *Colocar los plásticos transparentes sobre las lonas, de manera que se vean tanto las divisiones como el color de las lonas.* *Situar una bolsa de basura grande sobre la división entre las zonas I y II, y otra con la abertura hacia arriba sobre el suelo de la zona I.*	
2 ☐	*El personal que va a guiar el desvestido se equipará con el traje de tipo 3 (nivel II), botas, guantes de goma/neopreno como primer par de guantes y sobre él, dos pares de guantes de nitrilo, gafas de protección ocular y mascarilla bucal FFP3.*	
3 ☐	*Ordenar a los intervinientes que se aproximen a la zona I de uno en uno con él ERA conectado y que sigan las indicaciones.*	
4 ☐	*A partir de ese momento será el bombero guía situado en la zona IV, el que dicte las órdenes y el jefe de seguridad, supervisará el desarrollo de las acciones desde una posición próxima con la ayuda del checklist que se adjunta como anexo.*	
5 ☐	***NOTA 1:*** *El mando intermedio que asuma las funciones de Supervisor de Seguridad, entre otras funciones, se encargará de efectuar comprobaciones periódicas del fondo ambiental, observando que no aumente con el paso de los intervinientes por la estación, siendo tolerables variaciones entorno a las centésimas de µSv/h.*	
6 ☐	***NOTA 2:*** *En caso de que el interviniente portara un DLD (Dosímetro de Lectura Directa), se deberá anotar la tasa de dosis, medida en µSv o mSv, con el objetivo de llevar a cabo un control posterior y registrarlo en el Parte de Intervención. En caso de que esté presente un Asesor Radiológico (especialista del CSN que actuará como asesor y consejero del Jefe de Siniestro/Operaciones) colaborará con dicho registro.*	

7 ☐	*Efectuar una primera monitorización con el contaminómetro y compararla con el fondo ambiental. En caso de obtener el doble o más del doble del fondo, se considerará que existe contaminación por incorporación de material radiactivo en los equipos y se deberán seguir la secuencia de acciones mostradas en las fotografías y la explicación de los textos que la acompañan:*	
8 ☐	✓ *El bombero que dicte las ordenes y guie al interviniente se situará en la zona IV.* ✓ *El personal que vaya a desvestirse se situará sobre la bolsa de basura grande en la zona I.* ✓ *No efectuar movimientos bruscos, todos deberán ser lentos y pausados.* ✓ *Depositar las herramientas en el interior.*	
9 ☐	*Quitarse él ERA de la espalda e introducirlo en el cubo o bolsa de plástico grande sin quitarse la máscara.*	
10 ☐	✓ *Quitarse los guantes de fuego, sin tocar el exterior ni entrar en contacto con la piel, depositarlos en la bolsa que hay a los pies.* ✓ *Retirar cuidadosamente el puño de solape de la manga, para librar el dedo gordo en ambas manos.*	
11 ☐	*El bombero situado en la zona 4, entregará al bombero dos pares de guantes de nitrilo. Se pondrá un par sobre otro en ambas manos*	
12 ☐	*Retirarse el chaquetón y procurar no tocar el interior con los guantes.*	
13 ☐	✓ *Retirase el cubre pantalón, introduciendo las manos por el interior de los tirantes y bajarlo hasta la altura de los tobillos sin tocar el exterior y sin movimientos bruscos.* ✓ *Mantener él ERA y el casco.*	
14 ☐	✓ *Retirarse las botas ayudándose con los pies.* ✓ *Dejar el cubre, junto las botas y el chaquetón en la bolsa de plástico.* *Salir despacio y pasar a la zona II sin retirar él ERA*	
15 ☐	✓ *Cerrar la bolsa con el equipo E2 y anudarla.*	

BY NC SA

NOTA 3: *Es muy importante que cuando se cierre la bolsa, no se la apriete para expulsar el aire que haya quedado en el interior, ya que de hacerlo se generaría un chorro de aire que arrastraría y proyectaría la contaminación sobre el interviniente y la zona de desvestido, lo que generaría un grave riesgo de contaminación, pudiendo incluso afectar a la efectividad y seguridad del mismo.*

16 ☐	✓ *Retirase el casco con la máscara puesta de la siguiente forma:* ix. *Desconectar el cable del comunicador intercraneal.* x. *Desabrocharse el barbuquejo y pasar la cinta de la careta por delante la cabeza.* xi. *Subir las cubrenucas por encima del cuello.* xii. *Aflojar al máximo los dos tensores de ajuste que hay en el interior del casco a la altura de la nuca.* xiii. *Meter la mano por la parte interior del verdugo, volverlo hacia fuera y hacia arriba, y sujetarlo con una mano con la palma mirando hacia dentro y la muñeca por encima de los dedos.* xiv. *Cortar el paso de aire en el pulmoautomático y aguantar la respiración.* xv. *En posición agachada, con esa misma mano tirar hacia arriba y con la otra mano tirar hacia fuera traccionando del pulmoautomático.* *Depositar casco con la máscara y el verdugo en la bolsa de basura, junto con la botella y la espadera.*	 

El bombero situado en la zona 4, entregará una mascarilla de protección buconasal FFP3·al bombero con objeto de mantener la protección respiratoria hasta el final de la estación.

Secuencia de colocación de una mascarilla. **17** ☐	
✓ *Retirarse los guantes exteriores, depositarlos en la bolsa de plástico en la que se haya él ERA y cerrarla, tocando solamente la parte exterior de la misma.* ✓ *EL primer par de guantes se deberá mantener hasta el final del proceso.*	
NOTA 4: *la bolsa con el equipo deberá ser retirada por el siguiente bombero que está esperando para entrar en la zona de descontaminación y alejarla lo máximo posible del entorno para evitar modificar las lecturas de los detectores.*	

BY NC SA

18 ☐	✓ *Efectuar una monitorización con el contaminómetro y compararla con el fondo.*	

Es muy importante que la monitorización se efectúe lentamente, de manera minuciosa y sin tocar con el detector ninguna parte del cuerpo o la ropa. El objetivo de este paso es buscar o localizar una posible contaminación de la piel, debiéndose para ello comparar las lecturas obtenidas con el fondo ambiental como se ha hecho con anterioridad.

19 ☐	***Contaminación negativa:*** *Si no se detecta contaminación pasar a la zona III, vestirse y abandonar la zona*
20 ☐	***Contaminación positiva:*** *Retirarse el resto de ropa excepto la interior y depositarla junto con la ropa de intervención.*
21 ☐	*Efectuar una nueva monitorización con el contaminómetro.*
22 ☐	*Si lo que se obtiene son valores normales, es decir, no se detecta contaminación, el bombero situado en la zona IV, ordenará el paso a la zona III, para vestirse y abandonar la zona.*
23 ☐	*En caso que se sigan detectando valores o niveles que indiquen que la contaminación persiste, el bombero situado en la zona IV, lo indicará al Jefe de Seguridad. Éste comunicará este hecho al Jefe de Descontaminación de Víctimas de los servicios sanitarios y el bombero deberá dirigirse acompañado al corredor de descontaminación de víctimas, siguiendo desde ese momento las instrucciones médicas correspondientes.*

ANEXO 4

EQUIPOS DE PROTECCION RADIOLÓGICA

1. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL CONTRA LA RADIACIÓN

En todos los casos, los equipos de protección deben elegirse de acuerdo al riesgo al que nos enfrentamos. Así, no necesitaremos la misma protección ante un emisor alfa que ante un emisor gamma.

Por esta razón, en este apartado sólo vamos a tratar los equipos necesarios para protegernos frente a radiaciones gamma y X

Las radiaciones alfa y beta con los trajes de categoría 3B sería suficiente.

Partiendo de esta premisa, los equipos de protección personal los podemos dividir en dos tipos:

- ***Equipos de control de la exposición***: Son equipos de medida que se van a utilizar con objeto de controlar la exposición de interviniente

- ***Equipos destinados a atenuar la radiación que puede incidir sobre interviniente***. Pueden ser equipos portados por los propios intervinientes o equipos que se colocan sobre la fuente de radiación encapsulándola o empaquetándola. Son los denominados como ***blindajes*** y existen principalmente dos tipos:

    - Barreras primarias: atenúan la radiación del haz primario.
    - Barreras secundarias: evitan la radiación dispersa.

  Existen en el mercado programas informáticos, como el programa *Radshi*, que nos pueden calcular el blindaje necesario para atenuar la radiación de una fuente en función del valor medido de la actividad y la distancia a la fuente, así como el material que va a ser usado como blindaje. Otros programas, como el *Rad Pro Calculator*, nos pueden calcular la actividad teniendo en cuenta el blindaje y por lo tanto su atenuación.

2. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN MEDIANTE CONTROL AMBIENTAL

Radiómetros: Son tubos contadores, de ventana Geiger-Müller, que miden la radiación ambiental gama, beta y de rayos X en un rango de medición según modelos (µSv/h y mSv/h). Incorporan configuraciones para poder elegir y programar un valor límite que cundo se excede se activa una alarma acústica (sonido y vibración). Algunos modelos ofrecen la opción de generar un valor medio y máximo de las últimas diez mediciones. Para mediciones de valor medio rápidas, proporcionan una función de sacar un valor medio en diferentes periodo de tiempos (desde 30 sg a días).

Esto equipos son construidos según las normas UNE-EN 60846-1: 2014, UNE-EN 60325: 2005, UNE-EN 61005: 2017, UNE-EN 62363: 2011.

3. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN MEDIANTE CONTROL PERSONAL

Dosímetros: Miden la dosis equivalente personal recibida. Los más utilizados son dosímetros de lectura directa (DLD), de película fotográfica o los termoluminiscentes (TLD).

Se colocan en la parte exterior del traje a la altura del pecho. También existen en el mercado modelos que llevan localizador GPS.

4. ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN ACTUANDO SOBRE EL INTERVINIENTE

Se basa en la utilización de equipos de protección que disminuye el efecto de la radiación sobre las zonas más sensibles del organismo, fundamentalmente los ojos, los órganos sexuales, el tiroides, así como también evitan la contaminación.

- **Gafas plomadas o pantallas faciales**

EPI´s de categoría 3. Gafas de protección Anti-x de uso intensivo (equivalente en plomo ≥ 0,50 mm Pb) fabricadas con polímeros plásticos que ofrecen una protección semejante a la que se obtiene con el plomo.

Presentan diferente protección según las zonas: protección frontal equivalente a 0'75 mm de plomo y lateral de 0,35mm de plomo.

-Han de cumplir con la norma UNE-EN 61331:2015 - 3. Dispositivos de protección contra la radiación X de diagnóstico médico.

- **Ropa de protección radiológica:**

EPI´s de categoría 3. Pueden ser delantales, petos plomados o collarines plomados protectores de tiroides. Por lo general los guantes, delantales de plomo y protectores de tiroides están construidos de vinilo impregnado de plomo. Alguna ropa protectora está impregnada con estaño u otros metales. El grosor normal para la ropa protectora es 0.25, 0.5 y 1 mm de plomo equivalente.

La reducción mayor se obtiene a 1mm Pb, pero este delantal puede pesar más de 10 kg.

La atenuación de los rayos-x de 75 Kvp para el equivalente de 0.25 y 1mm Pb, es del 66 y el 99% respectivamente

Se debe mantener en todo momento la ropa de protección entre la fuente y el cuerpo del interviniente.

La mejor práctica es la que requiere dos dosímetros, uno por debajo del delantal de plomo, a nivel del pecho para estimar la dosis efectiva, y otro por encima, a nivel de cuello, para controlar la exposición a la cabeza y cuello. En la mayoría de los países es obligatorio el uso del dosímetro personal. Sin embargo, muchos países carecen de recomendaciones sobre el uso de un segundo dosímetro a nivel del cuello

Han de cumplir con la norma UNE-EN 61331:2015 - 3. Dispositivos de protección contra la radiación X de diagnóstico médico.

- **Guantes plomados**

Son EPI´s de categoría 3. Son guantes de protección química fabricados con polímeros plásticos que aportan la protección contra la contaminación radiactiva y la radiación ionizante de diferentes atenuaciones en función del espesor de plomo.

Han de cumplir con la norma de Guantes de protección contra radiaciones ionizantes y contaminación radiactiva, UNE-EN 421:2010.

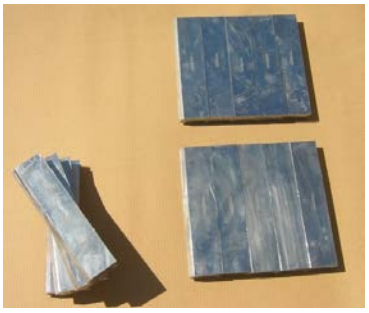
BY NC SA

5. ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN ACTUANDO SOBRE LA FUENTE

La utilización de estos materiales se basa en la acción de rodear la fuente radiactiva con los alguno de estos equipos produciendo un escenario de menor actividad lo que aumenta la seguridad de los intervinientes y de los afectados (heridos, atrapados, etc.).

- **Ladrillos de plomo**

  Se trata de ladrillos de plomo de diferentes medidas y espesores, que se fabrican a partir de plomo de alta pureza y en algunos casos aleado con otros materiales como el Antimonio.



- **Contenedores de plomo para contención de residuos**

  Cilindros construidos en plomo de diferentes medidas y espesores; pueden tener funda exterior de acero inoxidable.

- **Cajas de transporte de material radiactivo**

  Cajas de diferentes espesores de plomo (3-6 mm), con diversas formas y acabados exteriores.

BY NC SA

- **Mantas, cortinas o mamparas**

  Elementos que se sitúan entre la fuente y el interviniente, bien tapando la fuente totalmente o usándolo como pantalla.

6. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL CONTRA LA CONTAMINACIÓN

Para protegerse contra la contaminación (interna o externa) se deben utilizar equipos de protección que eviten que entremos en contacto con el material radiactivo en cualquiera de sus estados (sólido, líquido o gaseoso). Todas ellas deben cumplir la norma EN 1073-2 y están clasificadas como prendas de protección frente a contaminación radiactiva.

BY NC SA

7

GLOSARIO DE TÉRMINOS

7. GLOSARIO DE TÉRMINOS [1]

Actínidos. Radionucleidos de número atómico comprendido entre 89 (actinio) y 103 (laurencio).

ADN. Ácido desoxirribonucleico. Tipo de ácido nucleico, una macromolécula que forma parte de todas las células. Contiene la información genética usada en el desarrollo y el funcionamiento de los organismos vivos conocidos y de algunos virus, siendo el responsable de su transmisión hereditaria.

ALARA. Del ingles, As Low As Reasonably Achievable. Principio de la protección radiológica que proclama la necesidad de que las exposiciones a la radiación sean mantenidas a niveles tan bajos como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales.

Alternador. Máquina eléctrica capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.

Átomo. Cada uno de los corpúsculos eléctricamente neutros de los que está constituido un elemento químico. Consta de un núcleo, formado esencialmente por neutrones y protones y de una corteza de electrones.

Becquerelio. Unidad de actividad radiactiva, de símbolo Bq. Un becquerelio equivale a una desintegración nuclear por segundo.

Blindaje. Espesor de material interpuesto entre una fuente de radiación ionizante y el punto receptor, con el objeto de atenuar dicha radiación.

Bosón. En física de partículas es uno de los dos tipos básicos de partículas elementales de la naturaleza (el otro tipo son los fermiones).

BWR. Reactor nuclear de agua en ebullición.

Calor. Forma de energía asociada al movimiento de los átomos, moléculas y otras partículas que forman la materia. El calor puede ser generado por reacciones químicas (como en la combustión), nucleares (como en las que tienen lugar en el interior del Sol), disipación electromagnética (como en los hornos de microondas) o por disipación mecánica (fricción).

CERN. Centro europeo de investigación nuclear.

Ciclo del combustible nuclear. Procesos relacionados con la producción de energía nuclear que comprenden en su primera parte la obtención y utilización de los materiales nucleares utilizados en la explotación de reactores nucleares y, en su segunda parte, el almacenamiento, reproceso y evacuación de los mismos.

Condensador. Es un elemento intercambiador térmico, en el cual se pretende que cierto fluido que lo recorre, cambie a fase líquida desde su fase gaseosa mediante el intercambio de calor con otro medio.

Contaminación radiactiva. Presencia indeseada de sustancias radiactivas en la superficie o en el interior de un cuerpo u organismo.

BY NC SA

Cosmogénico (Nucleído). Aquel formado por interacción de los rayos cósmicos (producidos por el sol) con núcleos de átomos de la atmósfera o de la superficie terrestre.

Cromosoma. Filamento condensado de ácido desoxirribonucleico (ADN) que contiene los genes.

Detector. Dispositivo destinado a detectar la radiación.

Dosímetro. Dispositivo de pequeñas dimensiones que permite calcular la dosis de radiación que recibe la persona que lo lleva

Dosis absorbida. Energía cedida por la radiación ionizante a la unidad de masa del material irradiado. Su unidad de medida es el gray (Gy).

Dosis equivalente. Dosis absorbida en un tejido u órgano corregida por el distinto daño función del tipo y la calidad de la radiación (factores de ponderación de la radiación). Su unidad de medida es el sievert (Sv).

Dosis efectiva ("Dosis"). Dosis equivalente corregida por la diferente sensibilidad al daño de los diferentes órganos y tejidos (factores de ponderación de los tejidos). Su unidad de medida es el sievert (Sv).

Edificio de contención. Barrera de seguridad construida para albergar un reactor nuclear que consiste en una estructura de hormigón, acero o una combinación de ambos. Está diseñado para que, en caso de emergencia, pueda contener los materiales radiactivos.

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Transformaciones producidas por la radiación ionizante cuando incide en un organismo vivo, como por ejemplo el cuerpo humano. Estos efectos son de dos clases: deterministas o estocásticos.

Efectos deterministas. Son aquellos efectos biológicos en los que hay una relación causal entre la dosis y el efecto. Únicamente se manifiestan cuando la dosis alcanza o supera un determinado valor (llamado nivel umbral). Su gravedad depende, por tanto, de la dosis recibida. Reciben también el nombre de reacciones tisulares y algunos ejemplos son el enrojecimiento de la piel, la caída del cabello, etc.

Efectos estocásticos. Son aquellos efectos biológicos en los que la relación entre dosis y efecto es de naturaleza probabilística. Carecen de dosis umbral y su gravedad no depende linealmente de la dosis recibida. Están representados por la generación de tumores y la producción de alteraciones hereditarias.

Electrón. Partícula elemental estable, que forma parte de los átomos y que posee carga eléctrica negativa.

Electrón-voltio. Energía adquirida por un electrón acelerado por un potencial de 1 voltio.

Elemento combustible. Dispositivo que contiene los materiales nucleares que se alojan en un reactor nuclear para producir energía.

Energía. Magnitud física conservativa que expresa la capacidad de un sistema para producir trabajo y calor. Su unidad de medida es el Julio (1 eV = 1,6 x 10-19 Julio).

BY NC SA

Según la forma o el sistema físico en que se manifiesta, se consideran diferentes tipos de energía: electromagnética, térmica, eléctrica, luminosa, mecánica, química, nuclear, etc.

Espectro electromagnético. Representación de los distintos tipos de ondas electromagnéticas donde se muestra su localización respecto a su longitud de onda o frecuencia.

EURATOM. Comunidad Europea de la Energía Atómica.

Exposición externa a la radiación. La que se produce cuando la fuente emisora de radiaciones está separada del individuo potencial receptor de la misma.

Exposición interna a la radiación. La que se produce cuando la fuente emisora de radiaciones ha sido incorporada por un individuo a su organismo mediante ingestión o inhalación.

Fisión nuclear. Es una reacción que tiene lugar en el núcleo del átomo (reacción nuclear). La fisión ocurre cuando un núcleo pesado se divide en dos o más núcleos pequeños, además de algunos subproductos. Estos incluyen neutrones libres, fotones (generalmente rayos gamma) y otros fragmentos del núcleo como partículas alfa (núcleos de helio) y beta (electrones y positrones de alta energía). La fisión de núcleos pesados es un proceso exotérmico lo que supone que se liberan cantidades sustanciales de energía.

Fotón. Cuanto elemental de energía electromagnética.

Frecuencia. Es una medida que se utiliza generalmente para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo

Fuerzas nucleares. Aquellas que tienen origen exclusivamente en el interior de los núcleos atómicos. Existen dos fuerzas nucleares, la fuerza fuerte que actúa sobre los nucleones y la fuerza débil que actúa en el interior de los mismos.

Fusión nuclear. Proceso por el cual varios núcleos atómicos de carga similar se unen para formar un núcleo más pesado. Se acompaña de la liberación o absorción de energía, que permite a la materia entrar en un estado plasmático.

Gammagrafía. En medicina, es una prueba diagnóstica que se basa en la imagen que producen las radiaciones generadas tras la inyección o inhalación en el organismo de sustancias que contienen isótopos radiactivos. La emisión radiactiva es captada por un aparato detector llamado gamma cámara que procesa los datos recibidos que posteriormente y mediante tratamiento informático servirán para formar una imagen tridimensional.

Generador de vapor. Es un intercambiador de calor que transmite calor del circuito primario, por el que circula el agua que se calienta en un reactor nuclear, al circuito secundario, transformando el agua en vapor de agua que posteriormente se expande en las turbinas.

Gluón. Es el bosón portador de la interacción nuclear fuerte, una de las cuatro fuerzas fundamentales. No posee masa ni carga eléctrica, pero sí carga de color.

Gray. Unidad de dosis de radiación absorbida, de símbolo Gy.

Hadrón. Es una partícula subatómica que experimenta la interacción nuclear fuerte. Puede ser una partícula elemental o una partícula compuesta. Los neutrones y protones son ejemplos de hadrones.

Hertzio. Unidad de frecuencia. Hz, equivalente a un ciclo por segundo.

ICNIRP. Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes

CIPR. Comisión Internacional de Protección Radiológica.

CIUMR. Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas

Ión. Átomo o grupo de átomos, que por pérdida o ganancia de uno o más electrones ha adquirido una carga eléctrica neta.

Ionización. Acción y efecto de producir iones

Isótopo. Todos los tipos de átomos de un mismo elemento, que tienen el mismo número atómico pero diferente masa atómica.

ITER. Reactor Termonuclear Experimental Internacional.

Kaón. En física de partículas, un kaón (también conocido como mesón K y representado como K) es cualquier partícula del grupo de cuatro mesones que tienen un número cuántico llamado extrañeza. A pesar de que se generaban mediante interacción fuerte, el hecho inesperado de que decayeran por interacción débil hacía que estos tuvieran una vida media mayor de la prevista.
Por este motivo fueron llamadas en un inicio como “partículas extrañas” lo que acabó por dar nombre al nuevo número cuántico descubierto, la extrañeza. En el modelo quark los kaones contienen dos quarks, siendo uno de ellos un quark o antiquark extraño.

Leptón. En física, un leptón es una partícula con espín -1/2 (un fermión) que no experimenta interacción fuerte (esto es, la fuerza nuclear fuerte). Los leptones forman parte de una familia de partículas elementales conocida como la familia de los fermiones, al igual que los quarks. Un leptón es un fermión fundamental sin carga hadrónica o de color.

Longitud de onda. Distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos. Su unidad de medida es el metro.

Luz. Rango de radiaciones electromagnéticas detectadas por el ojo humano, aproximadamente correspondiente al rango de longitudes de onda de 4x10-7 y 1x10-7 m.

Medicina nuclear. Especialidad de la medicina actual en la que se utilizan radiotrazadores o radiofármacos, que están formados por un fármaco transportador y un isótopo radiactivo. Estos radiofármacos se aplican dentro del organismo humano por diversas vías (la más utilizada es la vía intravenosa). Una vez que el radiofármaco está dentro del organismo, se distribuye por diversos órganos.

Moderador. En un reactor nuclear, el moderador es un elemento que disminuye la velocidad de los neutrones, permitiendo de esta forma una reacción nuclear en cadena

eficaz. El elemento que actúa de moderador suele ser: Hidrógeno, deuterio (presente en el agua pesada) o carbono.

Neutrino. Partícula subatómica de tipo fermiónico, de carga neutra y espín 1/2. Los últimos estudios han confirmado que los neutrinos tienen masa, aunque el valor de ésta no se conoce con exactitud, en todo caso, sería muy pequeño habiéndose obtenido tan sólo cotas superiores con valores aproximadamente 200.000 veces más pequeños que la masa del electrón. Además, su interacción con las demás partículas es mínima por lo que pasan a través de la materia ordinaria sin apenas perturbarla.

Neutrón. Partícula de carga eléctrica nula constituyente de los núcleos atómicos. Fuera del núcleo es inestable. Con una vida media de 1010±30 s.

Número atómico. Número de protones en el átomo, que determina propiedades químicas del elemento químico. Su símbolo es Z.

Número másico. Número de nucleones presentes en el núcleo atómico, es decir, la suma de sus protones y neutrones. Se simboliza con la letra A.

OIEA. Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Onda. Fenómeno físico a través del cual una perturbación se propaga desde el foco hacia otras regiones del espacio

Onda electromagnética. Onda producida por la aceleración de una carga eléctrica. Puede propagarse a través de medios materiales e incluso en el vacío.

Onda mecánica. Onda que necesita de un medio material para propagarse.

Ondas de radio. Ondas electromagnéticas (de radiofrecuencia) cuya longitud de onda oscila entre varios kilómetros y pocos milímetros. Son ondas poco energéticas y se utilizan en las comunicaciones por radio

Partícula α. Emisión de electrones o positrones (antipartícula del electrón) de alta energía, procedentes de la desintegración radiactiva de núcleos atómicos.

Partícula β. Partícula de carga positiva, formada por dos protones y dos neutrones. Idéntica al núcleo del átomo de helio.

Periodo de semidesintegración. Tiempo necesario para la desintegración de la mitad de los átomos presentes en una muestra de un determinado radionucleido.

Pión. En física de partículas, es el nombre común de tres partículas subatómicas descubiertas en 1947. El pion es el mesón más ligero.

Plasma. En física y química, se denomina plasma a un gas constituido por partículas cargadas (iones) libres y cuya dinámica presenta efectos colectivos dominados por las interacciones electromagnéticas de largo alcance entre las mismas. Con frecuencia se habla del plasma como un estado de agregación de la materia con características propias, diferenciándolo de este modo del estado gaseoso, en el que no existen efectos colectivos importantes.

BY NC SA

Plomo. Elemento químico de número atómico 82 y símbolo Pb. Es un excelente material de blindaje contra los rayos X y gamma, mientras que es casi transparente para los neutrones.

Plutonio. De símbolo Pu, es un elemento metálico radiactivo que se utiliza en reactores y armas nucleares. Su número atómico es 94. Es uno de los elementos transuránicos del grupo de los actínidos del sistema periódico.

Productos de fisión. Radionucleidos generados directamente por fisión nuclear o indirectamente por desintegración de los fragmentos de fisión.

Protección radiológica. Disciplina que tiene como objetivo prevenir los riesgos de la recepción de dosis de radiación y mitigar sus efectos.

Protón. Partícula estable que forma parte del núcleo atómico y cuya carga eléctrica es positiva e igual a la del electrón y cuya masa es de 1,67 e-27 g.

PWR. Reactor nuclear de agua a presión.

Quark. En física de partículas, junto con los leptones, son los constituyentes fundamentales de la materia y las partículas más pequeñas que el ser humano ha logrado identificar. Varias especies de quarks se combinan de manera específica para formar partículas tales como protones y neutrones.

Radiación. Fenómeno que consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

Radiación cósmica. Radiación formada por partículas de origen extraterrestre dotadas de gran energía y por las partículas creadas por ellas al interaccionar con la atmósfera.

Radiación electromagnética. Radiación caracterizada por la variación de los campos eléctrico y magnético, en forma de ondas.

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

Radiación solar. Energía que se propaga en el espacio procedente del Sol.

Radiactividad. Fenómeno físico natural, por el cual elementos químicos llamados radiactivos, emiten radiaciones que tienen la propiedad de impresionar placas fotográficas, ionizar gases, producir fluorescencia, atravesar cuerpos opacos a la luz ordinaria, etc.

Radiactividad artificial. Radiactividad inducida cuando se bombardean ciertos núcleos estables con partículas apropiadas. Si la energía de estas partículas tiene un valor adecuado penetran dentro del núcleo bombardeado y forman un nuevo núcleo que, en caso de ser inestable, se desintegra después radiactivamente.

Radiactividad natural. Aquella radiactividad que existe en la naturaleza sin que haya existido intervención humana. Puede provenir de dos fuentes: materiales radiactivos existentes en la Tierra desde su formación, los llamados primigenios y materiales radiactivos generados por la interacción de los rayos cósmicos con los materiales de la Tierra que originalmente no eran radiactivos, los llamados cosmogénicos.

BY NC SA

Radical libre. Molécula (orgánica o inorgánica), en general extremadamente inestable y, por tanto, con gran poder reactivo. Se pueden sintetizar en el laboratorio, se pueden formar en la atmósfera por radiación, y también se forman en los organismos vivos (incluido el cuerpo humano) por el contacto con el oxígeno y actúan alterando las membranas celulares y atacando el material genético de las células, como el ADN.

Radiobiología. Disciplina científica que estudia los fenómenos que se producen en los seres vivos tras la absorción de energía procedente de las radiaciones ionizantes.

Radiodiagnóstico. Especialidad médica que se ocupa de generar imágenes del interior del cuerpo mediante diferentes agentes físicos (rayos X, ultrasonidos, campos magnéticos, etc.) y de utilizar estas imágenes para el diagnóstico y, en menor medida, para el pronóstico y el tratamiento de las enfermedades.

Radiografía. Procedimiento para obtener imágenes de la estructura interna de un objeto cuando lo atraviesa un haz de rayos X. Por extensión se aplica también a imágenes obtenidas mediante otros tipos de radiación ionizante.

Radionucleido. Isótopo radiactivo de un elemento, llamado también radioisótopo.

Radioterapia. Tipo de tratamiento oncológico que utiliza las radiaciones para eliminar las células tumorales, (generalmente cancerígenas), en la parte del organismo donde se apliquen (tratamiento local). La radioterapia actúa sobre el tumor, destruyendo las células malignas y así impide que crezcan y se reproduzcan. Esta acción también puede ejercerse sobre los tejidos normales; sin embargo, los tejidos tumorales son más sensibles a la radiación y no pueden reparar el daño producido de forma tan eficiente como lo hace el tejido normal, de manera que son destruidos bloqueando el ciclo celular.

Radón. Elemento químico radiactivo perteneciente al grupo de los gases nobles. En su forma gaseosa es incoloro, inodoro e insípido (en forma sólida su color es rojizo). En la tabla periódica tiene el número 86 y símbolo Rn. Es producto de la desintegración del radio (Ra=88).

Rayos ɣ. Radiación electromagnética emitida durante una desexcitación nuclear o un proceso de aniquilación de partículas. Su longitud de onda es inferior a 1 nanómetro (10-9 m) y en general, es menor que la de los rayos X, por lo que se trata de una radiación muy penetrante.

Rayos infrarrojos. Radiación electromagnética con una frecuencia más baja que la microondas y más alta que la óptica. Su longitud de onda es de 10-3 a 10-6 m. La radiación infrarroja puede detectarse como calor.

Rayos ultravioleta (UV). Radiación electromagnética cuya frecuencia es mayor que la de la luz visible pero menor que la de los rayos X. Su longitud de onda se encuentra aproximadamente entre los 4x10-7 y 1.5x10-8 m. Su nombre proviene de que su rango empieza en longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identificamos como el color violeta. La fuente más habitual de rayos ultravioletas es el Sol, pero la capa de ozono en la estratosfera filtra la mayor parte de éstos, protegiéndonos de las quemaduras y de otros efectos adversos para la salud que puede producir esta radiación.

Rayos UVA. Subtipo de radiación ultravioleta de onda larga (400-320 nanómetros) y con una energía por fotón entre 3,10 y 3,87 electronvoltios.

BY NC SA

Rayos X. Radiación electromagnética producida en las transiciones de electrones de los niveles más profundos de los átomos. Su longitud de onda está comprendida, aproximadamente, entre 10-7 y 10-9. Es por tanto menor que la de los rayos ultravioleta y mayor que la de los rayos gamma.

Reacción nuclear en cadena. Aquella que se sostiene en el tiempo al provocar un neutrón la fisión de un átomo fisible, liberándose varios neutrones que a su vez causan otras fisiones. Esta reacción en cadena sólo se producirá si al menos uno de los neutrones emitidos en la fisión es apto para provocar una nueva fisión.

Reflector. Material que rodea el núcleo de los reactores nucleares con la misión de devolver a éste los neutrones que podrían perderse por escape.

Refrigerante. Fluido utilizado para absorber calor.

Riesgo. Probabilidad de que se produzca un daño de determinada gravedad.

Roentgen. Unidad de medida de la ionización producida por una radiación, de símbolo R. Un roentgen produce en 1 kg de aire una ionización tal que se forman 2.58 10-4 culombios/kg.

Sievert. Unidad de dosis equivalente efectiva, de símbolo Sv.

Sonido. Vibración mecánica transmitida por un medio elástico y que es percibida por nuestro oído.

Torio. Elemento químico de número atómico 90 y símbolo Th. Pertenece a la serie de los actínidos. Todos sus isótopos son radiactivos y varios de ellos existen en la corteza terrestre de modo natural. Destaca el 232Th, padre de la serie radiactiva natural del torio.

Tokamak. Cámara toroide con bobinas magnéticas, cuyo objetivo es obtener la fusión de las partículas del plasma, lo que generaría grandes cantidades de energía.

Turbina. Motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice.

UNSCEAR. Comité Científico de Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas.

Uranio. Elemento químico de número atómico 92 y símbolo U. Pertenece a la serie de los actínidos. Todos sus isótopos son radiactivos. Es un material fisionable y el combustible por excelencia de los reactores nucleares de fisión, gracias a su isótopo natural 235U.

Uranio enriquecido. Aquél que contiene un porcentaje del isótopo U-235 superior al presente en la naturaleza (0,71%).

BY NC SA

Vaina de combustible. Tubo metálico de una aleación resistente a la corrosión que contiene las pastillas de combustible y que se encuentra cerrado mediante tapones soldados en sus extremos. Los tubos con su carga de pastillas son llamados barras combustibles.

BY NC SA

8

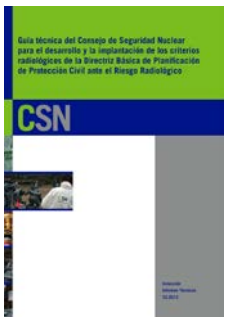
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

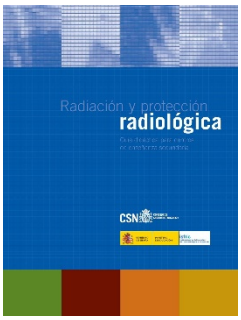
8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

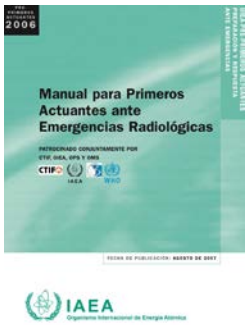
En la elaboración de esta propuesta de guía, a parte de las referencias nacionales del CSN y las recomendaciones de la OIEA, se ha accedido, estudiado e investigado procedimientos de intervención de otros países y organizaciones, a fin de permanecer en un marco de colaboración internacional y enriquecer la operatividad, a los que se ha accedido a través de formaciones, intercambios, maniobras y profesionales nacionales que han trabajado en instalaciones radiactivas de organizaciones internacionales (CERN)como integrantes de sus servicios de emergencia, por lo que al menos hacer alusión, para que pueda abrir la puerta a otras experiencias y aprendizajes de otros compañeros.

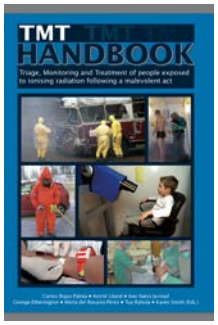
Las guías del CSN y la OIEA están disponibles en las páginas de dichos organismos, accesibles a cualquier persona interesada, y son muchas y diversas con lo que poner todas sería imposible.

Algunas de estas portadas:









Páginas web

- Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA): www.irpa.net
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat): www.ciemat.es

BY NC SA

- Comisión internacional de Protección contra las radiaciones no ionizantes: www.icnirp.de
- Comisión Internacional de Protección radiológica (ICRP): www.icrp.org.
- Comisión Internacional de Unidades Radiológicas (ICRU): www.icru.org
- Consejo de Seguridad Nuclear (CSN): www.csn.es
- Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa): www.enresa.es
- Foro Nuclear: www.foronuclear.org
- Ministerio de Educación, Política Social y Deporte: www.mepsyd.es
- Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA): www.iaea.org
- Sociedad Española de Física Médica (SEFM): www.sefm.es
- Sociedad Española de Medicina Nuclear (SEMN): www.semn.es
- Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR): www.sepr.es
- Sociedad Nuclear Española (SNE): www.sne.es • www.iter.org

Bibliografía

Radiación y protección radiológica [1]
Guía didáctica para centros de enseñanza secundaria
CSN

Guía Operativa

PROPUESTAS OPERATIVAS EN INTERVENCIONES CON PRESENCIA DE MATERIAL RADIACTIVO