

## MÓDULO 11:

# PROTECCIÓN DEL PERSONAL DE EMERGENCIA

- 11.1 INFORMACIÓN SOBRE EL RIESGO DE LA EXPOSICIÓN A LAS RADIACIONES IONIZANTES
- 11.2 SUMINISTRO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL, DISPOSITIVOS Y HERRAMIENTAS
- 11.3 TRABAJOS EN ZONAS RADIATIVAS O AMBIENTES CONTAMINADOS RADIOLÓGICAMENTE

Profesor: D. Vicente Gamo Pascual  
*PROINSA*

## 11.1 INFORMACIÓN SOBRE EL RIESGO DE LA EXPOSICIÓN A LAS RADIACIONES IONIZANTES

### Objetivo

Después de haber recibido la formación correspondiente al presente apartado, los participantes deberán tener conocimientos básicos acerca de las principales fuentes de radiación que existen en el interior de una central nuclear, tanto en su funcionamiento en operación normal como en situación de accidente. El presente Módulo contiene información sobre diseño de la planta, protección radiológica, clasificación de zonas radiológicas y sistemas de medida de radiación, así como de temas administrativos y medidas de protección, trámites de entrada, control dosimétrico del personal y normas a cumplir en caso de emergencia. Además, se darán algunos consejos de cómo evaluar las condiciones radiológicas de la zona para definir las medidas de protección a aplicar sobre el personal que debe intervenir en el área durante el accidente.

### Contenidos

- Principales fuentes de radiación durante el funcionamiento de una central nuclear en operación normal.
- Materiales radiactivos en el interior de una central nuclear en situación de accidente.
- Clasificación de zonas radiológicas.
- Normas de acceso a zona controlada.
- Vigilancia dosimétrica del personal.
- Diseño de una central nuclear frente a incendios.
- Blindajes contra las radiaciones.
- Sistemas de medida de la radiación.
- Normas de actuación durante una situación de emergencia.
- Evaluación de las condiciones ambientales en situación de accidente.

#### 11.1.1. PRINCIPALES FUENTES DE RADIACIÓN DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL NUCLEAR EN OPERACIÓN NORMAL

Las principales fuentes de radiación durante el funcionamiento de una central nuclear en operación normal son las siguientes:

- Núcleo del reactor, en particular:
  - Elementos combustibles y productos de fisión.
  - Estructuras internas de la vasija y productos de activación.
- Circuito del refrigerante primario.

- Sistemas de filtrado y purificación del refrigerante primario en el edificio de contención y edificio auxiliar.
- Sistemas de ventilación y sistemas de control de efluentes gaseosos.
- Piscina de almacenamiento de los elementos combustibles gastados.
- Sistemas de tratamiento de residuos sólidos y líquidos.

Desde el punto de vista de la gestión del accidente, el principal riesgo de radiación sería el causado por el núcleo del reactor. Si durante la situación de emergencia dicho material se mantiene intacto, el riesgo de radiación no sería tan importante como en el caso de que sí se viera afectado. En caso de pequeños fallos en las barras de combustible, las medidas de protección a aplicar se limitarían al interior de la planta. En caso de degradación de combustible nuclear o de fusión del núcleo, podrían hacerse necesarias medidas protectoras en el exterior de la instalación.

Los elementos radiactivos más peligrosos para el hombre son los siguientes:

- **Gases nobles (Xenon, Kriptón)**  
Estos elementos no reaccionan con otros materiales y por tanto pueden escapar fácilmente.
- **Iodo**  
El iodo puede presentarse de diferentes formas:
  - Cuando reacciona con otros elementos en las barras de combustible como puede ser cesio, se genera yoduro de cesio (CsI) o cuando interacciona con el agua en el circuito primario, en cuyo caso se presenta en forma de partículas.
  - Cuando reacciona con los materiales orgánicos produciendo yoduros orgánicos como  $\text{CH}_3\text{I}$ , o cuando reaccionan dos átomos de iodo produciéndose moléculas de  $\text{I}_2$ , estos compuestos generados se liberan y escapan de forma similar a los gases nobles.
- **Cesio**  
El cesio puede ser liberado en caso de degradación severa o fusión de barras de combustible. Puede presentarse en forma de yoduro de cesio (CsI) o hidróxido de cesio (CsOH), en forma de partículas.

Durante el periodo de operación normal de una central nuclear, pueden producirse pequeños fallos en los elementos combustibles, liberándose compuestos radiactivos al agua del circuito primario de refrigeración. También se produce la activación de los productos de corrosión por reacción de éstos con neutrones. Por todo ello, el refrigerante primario puede ser radiactivo y una fuga del mismo puede provocar riesgo de radiación en el interior de la planta. Esto deberá ser tenido en cuenta a la hora de intervenir en la zona, para mantenimiento, lucha contra incendios o actividades de rescate que se lleven a cabo.

Tanto en periodos de operación normal como en periodos de parada, la radiación generada por las diferentes fuentes de radiación puede originar que el personal reciba una dosis considerable, por lo cual se tendrán que poner los medios de protección necesarios para disminuir al máximo dicha dosis.

### 11.1.2. MATERIALES RADIATIVOS EN EL INTERIOR DE UNA CENTRAL NUCLEAR EN SITUACIÓN DE ACCIDENTE

En el diseño de una central nuclear hay que tener en cuenta los diferentes tipos de accidentes que puede sufrir. Uno de ellos sería la pérdida de hermeticidad del circuito primario con la consiguiente liberación de gran cantidad de agua contaminada.

El objetivo principal de la gestión de este tipo de accidente sería enfriar el reactor a través de los sistemas de refrigeración de emergencia, ya que si el núcleo no pudiera ser refrigerado, la temperatura de los elementos combustibles aumentaría hasta alcanzar la fusión, produciéndose fuga de materiales radiactivos gaseosos: gases nobles, yodo y cesio. Esto provocaría que todos los materiales del edificio se contaminaran con materiales radiactivos y que los niveles de radiación de la zona aumentaran considerablemente.

Si el reactor nuclear se encuentra dentro de un edificio dotado con sistema de contención, cualquier fuga de agua quedaría confinada en el interior de dicho edificio. Si por el contrario no existieran sistemas de contención, el agua y vapor del circuito primario podrían ser liberados a otras áreas de la planta y al exterior de la misma de forma incontrolada.

Una parte de los sistemas de refrigeración de emergencia se sitúan fuera del edificio de contención, por lo que la hermeticidad de dichos sistemas es de gran importancia.

Si se produjera un accidente en otros sistemas de la central nuclear también se producirían los mismos problemas que se han descrito, pero la magnitud de los efectos sería menor debido a que el material radiactivo del resto de sistemas es bastante menor.

En caso de producirse un incendio en los sistemas de gestión de residuos sólidos o en sistemas de tratamiento de residuos gaseosos, también se podrían producir escapes de material radiactivo.

En caso de incendio u otro tipo de accidente, podría ser necesaria la intervención del personal contra incendios en zonas con altos niveles de radiación y de contaminación (tanto superficial como ambiental). En estos casos sería necesario tomar medidas desde el punto de vista de protección radiológica. El servicio de protección radiológica de la central sería el que proporcionaría dicha asistencia en el control de acceso, dotando al personal de intervención de la dosimetría necesaria para el control de la dosis recibida y comunicando las directrices a seguir en la zona. Otros aspectos de seguridad de la central, como pueden ser los riesgos eléctricos deben ser contemplados por el personal de operación de planta.

### 11.1.3. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA. DISEÑO DE LA CENTRAL NUCLEAR.

Para disminuir los riesgos de la radiación, las diferentes áreas de la planta se clasifican en diferentes zonas en función de los niveles radiológicos que se registren en ellas. Estas zonas se identifican con un código de colores.

- Zona vigilada - Color gris azulado.

- Zona controlada. Se subdivide en cuatro subzonas.
  - Zona controlada de permanencia libre - Color verde.
  - Zona de permanencia limitada - Color amarillo.
  - Zona de permanencia reglamentada - Color naranja.
  - Zona de acceso prohibido - Color rojo.

Cada una de ellas debe estar debidamente delimitada y su acceso controlado. El tiempo que se puede permanecer en ellas varía, siendo éste menor cuanto mayor sea el nivel de radiación.

Como se ha indicado en el apartado anterior, una fuga o escape en un sistema radiactivo de la central puede provocar la contaminación superficial de la zona o la contaminación del ambiente, con el consiguiente riesgo para el personal por incorporación de sustancias radiactivas en el interior del organismo, por ingestión o por inhalación. El riesgo de contaminación ambiental se clasifica de igual forma que el riesgo de radiación, esto es, con la misma clasificación de zonas y el mismo código de colores. Las áreas naranjas y rojas son normalmente zonas aisladas, con puertas cerradas y el acceso a las mismas solo es posible con la presencia de personal de protección radiológica. Dichas zonas suelen disponer de sistemas de ventilación y/o aspiración, en las que el aire fresco circula de las zonas no contaminadas a las contaminadas y el aire contaminado es aspirado y conducido hacia unos filtros donde se retiene el material radiactivo.

Las diferentes zonas de la central se identifican con unas señales que muestran la situación radiológica de las mismas, a través del símbolo del trébol radiactivo del color correspondiente a la zona y con el riesgo presente: irradiación, contaminación superficial y contaminación ambiental. Además de las señales, se pueden colocar otros carteles en los que se indican los valores concretos de cada uno de los riesgos.



El acceso a la zona controlada se lleva a cabo a través de los puntos de acceso, en los cuales hay presencia del personal del servicio de protección radiológica. En ellos se le hace entrega a cada persona del correspondiente dosímetro personal para registrar la dosis recibida durante el periodo de estancia. Cuando finaliza la intervención en zona controlada, todo el personal debe pasar por un detector de contaminación, en el que se mide la posible contaminación en vestuario o piel. Tras pasar por el control de contaminación superficial, el personal debe dejar el dosímetro que se le ha asignado a la entrada para registrar la dosis que ha recibido. Cada persona tiene su propio seguimiento dosimétrico para asegurarse de que no se superen los límites de dosis establecidos en la legislación vigente.

En caso de accidente, el seguimiento dosimétrico del personal de intervención puede resultar más complicado, por lo que es necesaria la presencia del personal de protección radiológica para coordinar estas actividades.

Los muros de hormigón de una central nuclear tienen finalidad estructural, pero algunos de ellos también son diseñados para actuar como blindajes contra las radiaciones. El cálculo de blindajes de cada uno de ellos se ha llevado a cabo teniendo en cuenta los niveles de radiación y la clasificación de la zona en periodo de operación normal y en caso de accidente de escasa entidad. Sin embargo en caso de accidente grave, como fusión de núcleo o fugas en los sistemas de refrigeración del mismo, la clasificación de la zona puede dejar de ser válida. Por tanto, la evaluación específica del tiempo de permanencia en las diferentes zonas durante el accidente, deben ser estimadas por las personas responsables de la gestión del accidente, entre ellas el responsable de protección radiológica.

Las diferentes zonas de la central nuclear también se clasifican desde el punto de vista de la protección contra incendios, con el fin de que los posibles incendios puedan mantenerse dentro de áreas específicas. Debe proporcionarse accesibilidad a diversos lugares para realizar labores de mantenimiento y para actuaciones en caso de operaciones de rescate y lucha contra incendios. Los caminos o rutas de salida son señalizados y equipados con luces de emergencia. Algunos de ellos también disponen de equipos de sobrepresión o equipos de extracción de humo para proporcionar la accesibilidad y permitir la estancia en ellos durante el incendio.

La central nuclear debe de disponer de un servicio de seguridad física, a través del cual se controle el acceso de las personas a las diferentes zonas de seguridad.

#### 11.1.4. SISTEMAS DE MEDIDA DE LA RADIACIÓN

Las centrales nucleares disponen de diferentes sistemas para la medida de la radiación:

- Monitores de área.
- Monitores portátiles.
- Monitores de proceso.
- Monitores de control de efluentes.

Los niveles de radiación de la central nuclear son registrados en continuo a través de los diferentes monitores de radiación situados en las diferentes zonas de la misma. Las

señales de dichos monitores se están recibiendo en tiempo real en el puesto de control del servicio de protección radiológica así como en la sala de control de la central.

Para el control de los niveles de radiación en una determinada zona, donde no se localice ningún monitor de área, o se precise realizar una medida específica, los técnicos del servicio de protección radiológica utilizan monitores de radiación portátiles.

A través de los monitores de proceso se puede controlar en continuo la actividad presente en un determinado sistema. Un ejemplo de este tipo de monitores de proceso son los sistemas de control de la actividad en el circuito primario de refrigeración, cuya finalidad es la de detectar pequeñas fugas en los elementos combustibles, para que dicha actividad no supere los límites de diseño.

En las chimeneas de los sistemas de vertido de efluentes gaseosos y en las rutas de vertido de efluentes líquidos se sitúan detectores para controlar la actividad liberada al medio ambiente.

Todos estos sistemas proporcionan la información sobre el estado de la integridad del combustible y las posibilidades de liberación de material al medio ambiente.

En los alrededores del emplazamiento de las centrales nucleares existen redes de vigilancia automática de la radiación, a través de la cual se tiene información en continuo de los niveles de radiación de las zonas próximas. Los registros de diferentes monitores que componen la red son recibidos en continuo en el centro de control de la emergencia. Estas medidas son complementadas con medidas realizadas con equipos portátiles. Estas redes de vigilancia son de gran importancia en la gestión de accidentes fuera del emplazamiento de la central.

#### **11.1.5. ACCIONES Y CONTROL DE ACCESO ANTE SITUACIONES DE EMERGENCIA**

La situación de emergencia en la central nuclear sería declarada desde la sala de control por el jefe de turno, o por uno de sus superiores jerárquicos. La forma de comunicación sería mediante la activación de alarma sonora (sirena) y megafonía. Desde sala de control también se debería decidir de qué tipo de emergencia se trata.

El director del PEI, cuando notifique a las autoridades un accidente que requiera la activación del PEN correspondiente, informará explícitamente de la categoría en que se clasifica, incluyendo la evaluación inicial de las consecuencias y la evolución previsible del accidente.

Los planes de emergencia nuclear exterior deben proporcionar toda la información necesaria acerca de los lugares en los que el personal de intervención debería actuar. Entonces se organizan las tareas de rescate y evacuación así como la determinación del personal necesario de intervención. El personal de intervención debe estar adiestrado en las labores específicas que realizaría en caso de emergencia real, por medio de simulacros y ejercicios. Esta formación normalmente es impartida por los responsables de los programas de formación de actuantes.

En caso de emergencia el acceso a la central nuclear o a sus proximidades puede ser restringido por las fuerzas y cuerpos de seguridad del estado. En caso de incendio,



puede ser necesaria la actuación de brigadas contraincendios externas a la instalación. En este caso, sería necesario informar a los cuerpos de bomberos sobre las normas de seguridad que deben de cumplir y la localización de las zonas donde actuarían. Por todo ello, es necesaria una gran coordinación entre los organismos internos y externos a la instalación.

Algunos ejemplos de las situaciones de emergencia son las siguientes:

- Fuego en zona controlada.
- Pérdida de combustible por rotura en las vainas de los elementos combustibles durante el proceso de recarga.
- Pérdida de refrigerante del reactor.
- Grave accidente del reactor con fusión del núcleo.

#### 11.1.6. ACCIONES PROTECTORAS BÁSICAS REQUERIDAS

La Guía de Seguridad Nº 96 de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) establece una metodología detallada para la evaluación de la permanencia en una zona en caso de emergencia.

Los pasos a seguir son:

- Evaluación inicial de la emergencia.
- Identificación del accidente.
- Identificación del origen de la emergencia.
- Determinación de áreas afectadas de la planta.
- Rutas de acceso y transporte a las áreas afectadas.
- Magnitud de los riesgos en las áreas afectadas.
- Decidir si es factible la estancia en las áreas afectadas.
- Evaluación más detallada de la situación.
- Especificación del tipo de accidente.
- Definición de riesgo: cuantificación y extensión.
- Identificación del área de influencia
- Evaluación de los métodos de transporte.

#### 11.1.7. BIBLIOGRAFÍA

- Project PH REG 06.4/97: Training on Off-Site Emergency Management in Central Eastern Europe Course Training Material.
- Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE núm. 178, de 26 de julio.
- Real Decreto 1546/2004, de 25 de junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN).
- Guía de Seguridad 1.3 (Rev. 1) del CSN. Plan de Emergencia en centrales nucleares (2007).
- Planes de Emergencia Interior de las distintas Centrales Nucleares españolas.
- Procedimientos de Protección Radiológica de las distintas Centrales Nucleares españolas.
- Guía de Seguridad nº 98. Habitabilidad dentro del emplazamiento en caso de accidente en una central nuclear, Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA.



## 11.2 SUMINISTRO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL, DISPOSITIVOS Y HERRAMIENTAS

### Objetivos

Después de haber recibido la formación correspondiente a esta parte del módulo, el personal de respuesta de emergencia tendrá conocimiento de los diferentes tipos de equipos de protección para prevenir los riesgos de la radiación, utilización de dosímetros personales y utilización de pastillas de yodo durante la actuación en emergencia.

### Contenidos

- Ropa de protección
- Protecciones respiratorias
- Control dosimétrico
- Profilaxis de yodo estable

#### 11.2.1. GENERALIDADES

Un accidente nuclear o emergencia radiológica puede causar la exposición a la radiación de varios tipos de actuantes. Los actuantes que realizan tareas de primera intervención en el lugar del accidente, pueden ser desde el propio personal de operación de la planta hasta las brigadas contra incendios. En el exterior de la planta donde se haya producido el accidente podemos encontrar, además, personal que dotará de medidas de protección a actuantes y miembros del público, tales como Cuerpos y Fuerzas de Seguridad del Estado, personal sanitario, técnicos especialistas, etc.

Todos los trabajadores que participan en las operaciones de intervención, a priori, deben tener conocimientos de las medidas que pueden ser necesarias y además deben ser conscientes de los riesgos de la radiación. Se les debe dar una protección adecuada con los equipos necesarios y sus dosis deben ser vigiladas y registradas. Mediante el uso de equipos de protección personal, el riesgo de exposición a la radiación y los efectos perjudiciales de la misma pueden ser evitados o reducidos.

#### 11.2.2. VESTUARIO DE PROTECCIÓN

Después de un accidente grave se puede producir la emisión de aerosoles radiactivos al aire que serán depositados posteriormente sobre el terreno. La vegetación, edificios y otras superficies pueden contaminarse debido a este material disperso en el ambiente. Para evitar el riesgo de irradiación de la piel en una persona que actúa en una zona contaminada se debe usar ropa de protección personal adecuada. Los materiales de estas prendas de vestir deben ser tales que puedan ser descontaminados fácilmente por agua u otro agente descontaminante (detergente) suave. Si se va a manipular material radiactivo, es necesario el uso de ropa adecuada

para evitar la contaminación personal. En este caso, además, se debe disponer de suficiente ropa de protección para permitir su cambio en caso de necesidad.

La ropa de protección personal incluye:

- Ropa de trabajo u otro tipo de ropa de protección, como buzos impermeables
- Guantes hechos o recubiertos de caucho, plástico o látex
- Botas de goma y cubrecalzados

Los materiales de la ropa de protección han de ser elegidos en función del uso al que se destinen. Por ejemplo, en el caso de la actuación de la brigada de bomberos, el equipo de protección tendrá que tener una resistencia de acuerdo a las condiciones extremas que pueden soportar durante la emergencia. En el caso de personal sanitario, la ropa de protección debe reunir unas condiciones que permitan una mayor flexibilidad, por lo que puede utilizarse ropa más ligera y desechable. Un requisito común para cualquier tipo de ropa es su razonable comodidad para el usuario.

Para aquellos actuantes que desempeñen su labor en las zonas más contaminadas dentro de la planta y se vieran expuestos a elementos radiactivos dispersos en el ambiente, será necesaria la total hermeticidad de su ropa de protección. Debe contemplarse con antelación la disponibilidad de zonas de vestuario dotadas de ropa limpia de cambio para tal efecto y contenedores para ropa desechada.

Elegir correctamente la ropa de protección disminuirá considerablemente el riesgo de contaminación en piel y contaminación interna, pero hay que recordar que ninguna ropa de protección proporcionará un 100% de protección contra el riesgo de irradiación. La ropa no protege ante el riesgo de irradiación externa que provenga de fuentes gamma.

### 11.2.3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA

Se puede lograr protección contra los materiales radiactivos dispersos en aire mediante la utilización de un equipo respiratorio. Éste puede utilizar un filtro adecuado consiguiendo así, por ejemplo, la protección contra partículas de radionucleidos (aerosoles) dispersas en el ambiente. En casos particulares dentro de una planta puede ser necesario el uso de un sistema independiente de suministro de aire.

En el siguiente cuadro se ofrece una visión general de los diferentes tipos de equipos respiratorios. El tipo de equipo de respiración debe ser elegido de acuerdo al riesgo presente durante la emergencia. El nivel de concentración de material radiactivo en el aire es uno de los criterios principales para la selección del equipo de respiración. No obstante, hay que tener en cuenta que existen dispositivos relativamente sofisticados que pueden requerir conocimientos técnicos específicos y una aptitud médica de los usuarios. Estos equipos mencionados pueden requerir también un mantenimiento específico y verificaciones periódicas.

Tipo de Equipo Respiratorio	Nivel de Contaminación Ambiental	Requerimientos para su Uso	Mantenimiento / Periodicidad de Verificación
Máscaras autofiltrantes desechables de un solo uso	Baja	Bajo entrenamiento	12-24 meses
Máscaras sin filtración asistida	Baja-alta	Entrenamiento	12 meses
Máscaras con filtración asistida	Baja-alta	Entrenamiento	6-12 meses
Equipos de respiración con suministro de aire a través de línea externa	Intermedio-alta	Entrenamiento especial	3-6 meses
Capuchones con suministro de aire a través de línea externa	Intermedio-alta	Entrenamiento especial	3-6 meses
Equipo de respiración autónomo	Alta	Entrenamiento especial periódico y cualificación médica	1 mes

Las máscaras desechables (con filtros para partículas) están hechas enteramente de material de filtro. Aunque el material de filtro absorbe las partículas con efectividad, estas máscaras no están recomendadas cuando durante una emergencia se necesita una protección respiratoria de alta eficiencia.

Existen diferentes tipos de máscaras basadas en la filtración-purificación del aire, entre ellas se incluyen las buconasales (media cara), las faciales o integrales (para toda la cara) y las máscaras desechables de un solo uso. Las máscaras buconasales normalmente cumplen los requisitos de protección radiológica si son utilizadas con filtro de partículas de alta eficiencia. En el caso de que se dé una contaminación del aire con yodo radiactivo será necesaria la utilización de filtros especiales.

Los equipos de respiración con suministro de aire utilizan un compresor, ya sea fijo o portátil, para suministrar el aire. Este tipo de respirador requiere entrenamiento especializado y también verificaciones más frecuentes en relación a otros equipos mencionados.

Un equipo de respiración autónoma está diseñado para ser utilizado por personal especialmente capacitado y entrenado para la respuesta en emergencia como por ejemplo, equipos contraincendios y de rescate.

#### 11.2.4. VIGILANCIA DE LA DOSIS DE RADIACIÓN

En una situación de emergencia, los actuantes pueden estar sometidos a una exposición que supere los límites de dosis legislados para las prácticas habituales que implican riesgo de irradiación. En el vigente Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes se establecen los límites de dosis individuales en exposiciones habituales. Las medidas de protección y otras actuaciones a llevar a cabo para afrontar las emergencias tienen la consideración de intervenciones a los efectos de lo previsto en el Título VI del Reglamento vigente sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. Son, por tanto, de aplicación los principios generales de

las intervenciones (Artículo 58) y lo referente a la exposición de emergencia (Artículo 60), los cuales constituyen el fundamento de los criterios radiológicos aprobados por el Consejo de Seguridad Nuclear y que se desarrollan en el Título II, del Plan Básico de Emergencia Nuclear.

Tal y como se indica en el PLABEN, los niveles de dosis de emergencia son indicadores para asegurar la protección radiológica y facilitar el control radiológico del personal de intervención, en función de las tareas que tiene asignadas.

Todo el personal que intervenga en el área afectada por una emergencia estará sometido a control dosimétrico y a vigilancia sanitaria especial. El control dosimétrico se hará desde el momento en que comience su intervención y la vigilancia sanitaria especial se hará después de su intervención. Estas acciones se realizarán de acuerdo con los criterios específicos que establezcan respectivamente el CSN y las autoridades sanitarias. Este personal deberá tener la formación adecuada y ser informado sobre los riesgos de su intervención. El personal de intervención se clasificará, en función de las actuaciones que deba realizar, en los siguientes grupos:

a) Grupo 1

El grupo 1 estará constituido por el personal que deba realizar acciones urgentes para salvar vidas, prevenir lesiones graves o para evitar un agravamiento de las consecuencias del accidente que pudieran ocasionar dosis considerables al público, en lugares en los que pudiera resultar irradiado o contaminado significativamente.

El director del PEN, asesorado por el CSN y el jefe del grupo radiológico, realizará todos los esfuerzos posibles para mantener las dosis de este personal por debajo del **umbral** de aparición de efectos **deterministas** graves para la salud. Con carácter excepcional y para salvar vidas humanas, se podrán superar estos valores. Estas personas podrían recibir dosis superiores a los límites de dosis individuales para trabajadores expuestos establecidos en el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, por lo que deberán ser **voluntarios**, y no podrán ser mujeres embarazadas.

b) Grupo 2

El grupo 2 estará constituido por el personal involucrado en la aplicación de medidas de protección urgentes y otras actuaciones de emergencia.

El director del PEN, asesorado por el CSN y el jefe del grupo radiológico, realizará todos los esfuerzos razonables para reducir la dosis a este personal por debajo del límite de dosis máximo anual para la exposición en un solo año, establecido en el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes en **50 mSv** de dosis efectiva.

c) Grupo 3

El grupo 3 estará constituido por el personal que realice operaciones de recuperación, una vez se haya controlado plenamente la situación tras el accidente y se hayan restablecido los servicios esenciales en la zona afectada.

Para proteger a este personal, se aplicará el sistema de protección radiológica asociada a las prácticas, y las dosis deberán mantenerse por debajo de los límites de dosis para los trabajadores expuestos establecidos en el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.

Actualmente en España se está implantando un nuevo sistema (sistema SIDERA) para el control de la dosimetría de actuantes en emergencias nucleares. En la dotación de instrumentación radiométrica asociada a la gestión de emergencias nucleares de todas las provincias en las que hay alguna central nuclear, se dispone de un número suficiente de dosímetros electrónicos de lectura directa (DLDs) que incorporan la posibilidad de ser asignados mediante un ordenador portátil o unidad lectora. El sistema se basa en la centralización de la base de datos en la SALEM (Sala de Emergencias del CSN en Madrid), de forma que las asignaciones y las devoluciones de DLDs se registren en dicha base de datos, a través de la cual se conocen prácticamente al instante datos como: dosimetría personal por actuante, informes de dosis colectivas, dosímetros pendientes de devolver, etc.

Al igual que el resto de la instrumentación de medida de la radiación (monitores de radiación y de contaminación) los equipos se encuentran configurados en sus instalaciones de almacenamiento, en perfecto estado, disponibles para su uso en cualquier momento. En el caso de los DLDs, se han configurado los equipos de manera que el actuante sea alertado mediante una alarma sonora de la superación de la alarma de dosis establecida.

Para garantizar la estimación precisa de la dosis total recibida, deberán efectuarse estimaciones para cada grupo de actuantes de la emergencia. Estas valoraciones se pueden lograr por la posterior lectura de los dosímetros adicionales individuales como los de termoluminiscencia (TLD). Los cálculos pueden complementarse con estimaciones de la composición en radionucleidos del término fuente, resultados del análisis de muestras de aire que se puedan haber tomado, análisis de muestras biológicas y resultado del contador de cuerpo entero.

El objetivo de la protección radiológica de los actuantes se logra en mayor medida si a cada uno de ellos se le dota de un dosímetro de lectura directa y un dosímetro de termoluminiscencia (TLD). En algunos casos será suficiente proporcionar a un conjunto de ellos un único par de dosímetros. Si no hubiera posibilidad de dotar de dosímetros a cada actuante o equipo, se debería estimar la dosis probable para los actuantes en función de las condiciones radiológicas de la zona y el tiempo de permanencia en ella.

Después de la intervención, la dosis recibida y las posibles consecuencias para la salud, deben ser analizadas para informar posteriormente a los actuantes que llevaron a cabo las acciones. Se llevará a cabo una vigilancia médica con el objeto de controlar las condiciones de salud de los actuantes en una emergencia.

Tanto los DLDs electrónicos como los TLDs, así como el resto de equipos de medida de la radiación asignados a los Grupos Radiológicos, se encuentran inventariados en la aplicación GÉMINIS de gestión de la instrumentación radiométrica. Esta aplicación registra el estado operativo y la localización real de cada uno de los equipos que

están asignados a cada PEN, de forma que se puede conocer su disponibilidad de manera inmediata.

### 11.2.5. PROFILAXIS CON IODO ESTABLE

Durante un accidente en un reactor nuclear, es muy probable la emisión de gases o vapores conteniendo elementos radiactivos. El radionucleido más importante ante el que hay que establecer medidas de protección, es el iodo-131. Puede ser inhalado con el paso de la pluma radiactiva, causando exposición interna sobre todo en la glándula tiroides en la que se absorbe. La incorporación de iodo radiactivo también es posible por la ingestión de alimentos contaminados como la leche.

La profilaxis con iodo es una medida urgente a tomar tras un accidente encaminada a proteger a la población afectada por dicho accidente y al personal de intervención, y tiene como objetivo prevenir efectos deterministas para la salud y reducir la probabilidad de efectos estocásticos tanto como sea razonable conseguir.

El iodo inhalado o ingerido puede producir tumores de tiroides o insuficiencia tiroidea. Esto se puede evitar mediante la ingesta de pastillas de iodo estable (no radiactivo) antes de la posible incorporación de iodo radiactivo (I-131). El iodo estable se concentra en la glándula tiroides bloqueando la incorporación de iodo radiactivo.

Tanto el yoduro como el yodato potásico son compuestos eficaces que reducen la absorción del iodo radiactivo por la glándula tiroides. Para conseguir la reducción máxima de la dosis de radiación al tiroides, el iodo debe suministrarse antes de toda incorporación de iodo radiactivo, y si no, lo antes posible tras esa incorporación. Aunque la eficacia de esta medida disminuye con la demora, es posible reducir la absorción de iodo radiactivo por el tiroides a la mitad, aproximadamente, si el iodo se administra tras unas pocas horas de la inhalación.

Si bien se ha comentado que su efectividad disminuye con el tiempo, un solo comprimido de iodo dará casi plena protección durante 24 horas. Cuando la exposición por iodo radiactivo por inhalación dura menos de un día, no es necesario repetir la profilaxis de iodo estable. Si se produce una nueva liberación al ambiente de iodo radiactivo, debe tomarse otro comprimido en 1-2 días después del primero.

Las pastillas de iodo no dan ninguna protección contra otros elementos radiactivos presentes en el aire inhalado o ingeridos a través de alimentos o agua. Tampoco los comprimidos protegen al cuerpo de la radiación externa.

La ingestión de iodo estable en las dosis recomendadas no presenta riesgos para la mayoría de la población; no obstante, pueden existir personas sensibles al iodo y presentarse efectos secundarios que, de todas formas, revisten poca importancia. El riesgo de efectos secundarios, que es reducido en caso de una sola administración, aumentará con el número de administraciones. Por tanto, siempre que se cuente con otras alternativas, no debe recurrirse a esta acción de forma repetida como principal medio protector contra la ingestión de alimentos contaminados por iodo radiactivo. La ingestión de iodo debe realizarse siguiendo las instrucciones de las autoridades sanitarias.

Aplicar esta medida urgente de profilaxis radiológica corresponde al grupo sanitario. El grupo sanitario estará constituido por personal sanitario específicamente designado y previamente acreditado por el órgano competente en materia de sanidad de la comunidad autónoma en la que se ubique la central nuclear, así como, en su caso, por personal sanitario designado y acreditado por el órgano competente en materia de sanidad de cada una de las otras comunidades autónomas afectadas por cada Plan de Emergencia Nuclear Exterior de la central nuclear que corresponda.

#### 11.2.6. OTRO EQUIPAMIENTO PARA EL PERSONAL DE EMERGENCIA

Según el tipo de actuación, un equipo de emergencia puede necesitar, además de los equipos de protección personal y los dispositivos descritos anteriormente, otros suministros y equipos. Algunos de ellos se relacionan a continuación. Sin embargo, rara vez necesita un equipo todos los elementos de la lista. La necesidad de cada uno de los puntos que se citan debe ser siempre considerada a priori según su utilidad para los actuantes y en función de las tareas concretas a desarrollar.

- Equipo de comunicación
- Radio
- Antorcha, linterna
- Reloj
- Baterías extras para instrumentos y linternas
- Bolsas de plástico para prevenir la contaminación de instrumentos o la dispersión de la contaminación
- Etiquetas de advertencia y señalización de radiación
- Kit de primeros auxilios
- Tarjetas de identificación para cada miembro del equipo
- Material de oficina, blocs de notas
- Manuales y procedimientos de operación
- Libro de registro
- Mapas, brújula
- Agua potable

#### 11.2.7. BIBLIOGRAFÍA

1. Project PH REG 06.4/97: Training on Off-Site Emergency Management in Central Eastern Europe Course Training Material.
2. Real Decreto 1546/2004, de 25 de junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN).
3. Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE núm. 178, de 26 de julio.
4. Publicación 75 de la ICRP, Principios generales para la protección radiológica de los trabajadores ICRP , 1997.



## 11.3 TRABAJOS EN ZONAS RADIATIVAS O AMBIENTES CONTAMINADOS RADIOLÓGICAMENTE

### Objetivos

Los participantes deben ser conscientes no solo de los posibles riesgos de las radiaciones ionizantes, sino también de las pautas a seguir durante la actuación en emergencia para que disminuyan esos riesgos, en zonas con radiación o ambientes radiológicamente contaminados. También se da información sobre el tratamiento médico de los afectados.

### Contenidos

- Principios de protección radiológica en intervenciones
- Principales prácticas de protección radiológica
- Procedimientos de descontaminación del personal de emergencia (actuantes)
- Actuación del personal sanitario ante pacientes con consecuencias radiológicas

#### 11.3.1. PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN INTERVENCIONES

En situaciones de accidente, tras la exposición al término fuente existe el riesgo de que se produzcan efectos estocásticos o deterministas. En caso de accidente radiológico, no es posible tener como referencia los límites de dosis legislados para trabajadores expuestos en el Artículo 9 del vigente Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes para prácticas.

El Consejo de Seguridad Nuclear establecerá los niveles de exposición en emergencia teniendo en cuenta las necesidades técnicas y los riesgos para la salud. En casos excepcionales podrán admitirse exposiciones por encima de estos niveles especiales para salvar vidas humanas y solamente a cargo de personal voluntario que sea informado de los riesgos de su intervención, teniendo en cuenta lo establecido en el Acuerdo del Consejo de Ministros de 1 de octubre de 1999, relativo a la información del público sobre medidas de protección sanitaria aplicables y sobre el comportamiento a seguir en caso de emergencia.

Una vez que ha ocurrido un accidente y se decide que es preciso adoptar medidas urgentes, a los actuantes se les debe dar una protección adecuada, por ejemplo, protección respiratoria, ropa de protección, pastillas de yodo, etc. Sus dosis deben ser medidas y registradas y, una vez evaluadas, comunicadas a los trabajadores después de la intervención.

Las actuaciones a llevar a cabo en los casos de emergencia en centrales nucleares serán las establecidas en los planes de emergencia interior (PEI) de las mismas, así

como en los correspondientes planes de emergencia nuclear exterior, derivados del Plan Básico de Emergencia Nuclear.

Para el resto de las instalaciones nucleares y radiactivas y para otras actividades distintas de las anteriores, las actuaciones a llevar a cabo serán las establecidas tanto en los planes de emergencia interior o de autoprotección de cada instalación o actividad, como en los planes de emergencia radiológica derivados de las directrices básicas de planificación y otras normas de Protección Civil que correspondan.

En la publicación ICRP 63 se definen las categorías de las condiciones de trabajo en relación con las medidas que puedan ser necesarias adoptar como consecuencia de un accidente (Las medidas de protección se clasifican en "medidas de protección urgentes" y "medidas de protección de larga duración").

### 11.3.2. PRINCIPALES PRÁCTICAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Un accidente grave en una instalación nuclear puede conducir a la liberación al ambiente de gases nobles, radioiodos y/o partículas de fisión y de activación. Este material radiactivo ocasionará exposiciones externas a radiación gamma. La inhalación de radionucleidos por el paso de una nube radiactiva dará lugar a la irradiación interna de órganos y tejidos. En otro tipo de emergencias radiológicas podría darse esta exposición a elementos tales como el cobalto-60, cesio-137 ó iridio-192.

#### Radiación externa

Para reducir el riesgo de exposición a la radiación externa, se combinan los tres factores de protección como son el **tiempo**, la **distancia** y el **blindaje**. Para la radiación gamma, la eficacia del material de blindaje se expresa en función del valor de la "capa hemirreductora" o "espesor de semirreducción", que se define como el espesor necesario para reducir la intensidad de un haz de radiación a la mitad de su valor inicial. Cualquier tipo de material con elevada densidad se puede usar como blindaje, por ejemplo, vehículos de los equipos contraincendios, ambulancias y edificios. El factor de protección fundamental para reducir el riesgo de exposición externa es la distancia. Aumentando la distancia a la fuente de radiación, la exposición a la radiación disminuye. Cuando la distancia a una fuente de radiación se duplica, la intensidad de la radiación disminuye en un factor de cuatro. Limitando el tiempo de exposición, también se reducirá la dosis recibida.

#### Radiación interna

Los radionucleidos incorporados en el organismo son fuentes de exposición interna. Esta incorporación puede darse mediante tres vías: (1) respirando (inhalación), (2) por comer o tragar (ingestión) y (3) a través de una herida o absorción a través de la piel.

Para prevenir la contaminación interna se accederá a la zona potencialmente contaminada utilizando el equipo de protección personal correspondiente, por ejemplo, trajes impermeables, guantes y máscaras. Es importante acotar la zona de riesgo, manteniendo alejado a todo personal innecesario. No se debe comer, beber o fumar en las zonas potencialmente contaminadas. La contaminación interna solo podrá ser detectada por equipos detectores especiales (medida directa) y a través

del análisis de muestras biológicas (medida indirecta), siendo ésta confirmada y posteriormente evaluada por los servicios médicos.

### Contaminación externa

Si hay alguna indicación que evidencie la presencia de cantidades considerables de material radiactivo, se hace necesaria la protección contra el riesgo de contaminación externa. Hay que tener especial cuidado para reducir al mínimo el contacto personal con la superficie del terreno, la vegetación, y otros elementos dentro de la zona de riesgo o con materiales que hayan podido ser retirados de dicha zona. No se debería manipular materiales dentro de la zona contaminada. No se debe comer, beber, o fumar en la zona del accidente.

#### 11.3.3. PROCEDIMIENTOS DE DESCONTAMINACIÓN DEL PERSONAL DE EMERGENCIA

En caso de que la ropa y la piel de las personas puedan estar contaminadas, la primera medida a tomar será la de desvestirse, ducharse y cambiarse de ropa. Ante la sospecha de que la ropa pueda estar contaminada ésta será almacenada (en bolsas de plástico) para su posterior comprobación (medida). Cada persona debe ser objeto de seguimiento y estudio radiológicos de la contaminación utilizando los equipos de medida adecuados. La mayoría de los contaminantes radiactivos no penetran fácilmente en la piel.

En caso de que el control de contaminación personal detecte contaminación, la zona contaminada del cuerpo debe lavarse suavemente con agua tibia y jabón suave, utilizando en caso de que sea necesario un cepillo suave, pues en caso contrario podría irritarse la piel de la zona lavada con el consecuente riesgo de absorción del material radiactivo. Si la contaminación persiste se pondrá a la persona afectada en manos del personal médico para aplicar otros procedimientos especiales de descontaminación.

#### 11.3.4. ACTUACIÓN MÉDICA ANTE PERSONAS ACCIDENTADAS

##### Actividades pre-hospitalarias de emergencia médica

Hay que proporcionar todos los cuidados médicos a un accidentado sin tener en cuenta su situación de irradiado y/o contaminado, teniendo precaución en su manipulación con el fin de no extender una posible contaminación. Si la situación lo requiere, se pedirá asesoramiento al CSN o a la autoridad sanitaria competente para contactar con un servicio médico o un centro de asistencia a irradiados y contaminados. Al hospital que reciba al accidentado, se le deberá proporcionar la información necesaria, siguiendo los protocolos habituales establecidos en el ámbito de las emergencias hospitalarias, sobre el tipo de accidente, es decir, el estado radiológico del accidentado. Si se sospecha riesgo de contaminación, alejar lo máximo posible al personal y los vehículos. La ambulancia u otro vehículo utilizado para el traslado del accidentado no debe volver a prestar otro servicio hasta que su personal, el propio vehículo, y el equipo material de atención médica hayan sido sometidos a una verificación y descontaminación en caso de que proceda.

## Descontaminación de personas heridas

Generalmente no se recomienda una labor de descontaminación de heridos antes de ser llevados al hospital. El transporte de personas heridas de gravedad no debe retrasarse. La eliminación de la ropa y los zapatos, reduce el riesgo de contaminación así como envolver al accidentado en una manta o plástico que posteriormente será recogida como residuo radiactivo.

La descontaminación de las personas heridas se debe realizar bajo supervisión médica. Los ojos deben lavarse con agua o una solución salina (suero fisiológico) solamente si están irritados a causa de humo o polvo. La limpieza de boca o nariz (orificios naturales) se realizará también con suero fisiológico o agua. Las heridas deberían ser cubiertas con un vendaje estéril. La piel se limpia lavando con agua en el caso de que esto no afecte a la salud del paciente.

## Medidas de protección radiológica en el hospital

Cuando las personas accidentadas contaminadas son llevadas a un hospital, la experiencia indica que con una planificación avanzada, usando técnicas de aislamiento, es poco probable que se produzca una dispersión de la contaminación. En cualquier caso, el hospital que recibe al accidentado deberá organizar un área de emergencia delimitada. Se recomienda el asesoramiento de personal experto en protección radiológica para el establecimiento de las medidas adecuadas.

En España el hospital Gregorio Marañón es el centro de referencia nacional para la asistencia sanitaria de personas que pudieran resultar contaminadas o expuestas a radiaciones ionizantes como consecuencia de accidente nuclear o radiológico que tuviera lugar en cualquier punto de España.

El Hospital creó en 1981 su Unidad de Radiobiología y, desde 1983, es el centro hospitalario designado por el Consejo de Seguridad Nuclear para prestar asistencia sanitaria a personas irradiadas o contaminadas por elementos radiactivos, reconocido como tal por el Ministerio de Sanidad y Consumo.

Desde su puesta en marcha, la Unidad de Radiobiología ha atendido a 2.243 pacientes que requirieron de su servicio por diferentes causas. Así, el hospital ha atendido desde 1983 a 2.000 trabajadores en entornos de radiaciones ionizantes para su reconocimiento médico obligatorio y previo a la obtención de su correspondiente licencia para ser supervisores u operadores de instalaciones radiactivas. El centro sanitario de la Comunidad de Madrid está incluido desde 1984 en los planes de emergencia de todas las provincias españolas con centrales nucleares, razón por la cual participa en todos los simulacros de accidentes radiológicos y nucleares que se realizan en nuestro país.

El Hospital Gregorio Marañón consolidó en 1989 el empleo de la dosimetría biológica, técnica que permite estimar el daño producido por las radiaciones ionizantes sobre los cromosomas humanos e incluso conocer exactamente a dosis de radiación recibida. En los años en los que se lleva utilizando esta técnica, se han analizado 103 casos de personas sospechosas de haber estado sobreexpuestas a radiaciones ionizantes de las

que 102 resultaron negativos y uno positivo. Esta técnica viene siendo incluida en estudios de población y en proyectos de investigación I+D.

Los profesionales de este centro han prestado atención sanitaria a 140 personas después del accidente nuclear de la central de Chernobil y también han participado en diversos estudios de población en los que grupos de personas, de diversa procedencia, han acudido para consultar su situación individual en relación a una posible repercusión clínica, trabajando fundamentalmente en reducir los cuadros de ansiedad que estos sucesos, afortunadamente inocuos, generan.

El Hospital Gregorio Marañón cuenta con un coordinador médico, especialista en Oncología radioterápica, radiobiología y radiopatología; un coordinador físico, especialista en dosimetría y radioprotección radiológica y también dispone de un laboratorio de dosimetría biológica con especialistas en biología citogenética y manejo de fuentes de radiación. Respecto a los recursos materiales, dispone de habitaciones blindadas individuales con circuito cerrado de televisión y posibilidad de recogida directa de residuos radiactivos líquidos, habitaciones de ambiente estéril con flujo laminar, salas de lavado y descontaminación, quirófanos, farmacia, sala de clasificación y almacenaje de residuos radiactivos sólidos, laboratorio de radioinmunoensayo, servicio de medicina nuclear y el resto de recursos médicos y quirúrgicos del hospital susceptibles de ser aplicados a pacientes irradiados o contaminados.

### Gestión de la lesión

El personal médico que atienda al accidentado deberá tener a su disposición los datos necesarios en relación a la irradiación y/o contaminación del accidentado, con una evaluación de las dosis por irradiación externa y de los radionucleidos inhalados o ingeridos. El tratamiento inmediato es esencial para eliminar la contaminación radiactiva de la piel. Aquellas personas que presenten el síndrome de irradiación, tratado en el módulo 4, deberían ser trasladados a una unidad especializada para su tratamiento.

#### 11.3.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Project PH REG 06.4/97: Training on Off-Site Emergency Management in Central Eastern Europe Course Training Material.
2. CSN, Guía de Seguridad 7.5 (Rev 1) "Actuaciones a seguir en el caso de personas que hayan sufrido un accidente radiológico". Mayo 2005.
3. Real Decreto 1546/2004, de 25 de junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN).
4. Publicación 63 de la ICRP. Principios para la intervención en materia de protección del público en una emergencia radiológica. 1993.
5. Recomendaciones de 1990 del Comité Internacional de Protección Radiológica (ICRP-60).
6. Documento Técnico 869 de la OIEA. Asesoramiento y tratamiento de contaminación interna y externa. 1996.