

Tercer ejercicio.

B. Protección Radiológica

Tema 10

*Protección radiológica en centrales nucleares en operación y desmantelamiento*

RESUMEN EJECUTIVO

El presente tema versa sobre la protección radiológica operacional en centrales nucleares tanto en operación como en desmantelamiento. La protección radiológica se sustenta en el principio de optimización o principio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) cuya aplicación práctica, se desarrolla en el Programa de Protección Radiológica Operacional recogido en el Manual de Protección Radiológica, documento que particulariza los principios generales de la protección radiológica para cada instalación. Si bien la caracterización de los riesgos en las fases de operación y desmantelamiento es diferente por la naturaleza de las actividades inherentes a las mismas, dichas medidas son, generalmente aplicables a ambas fases, pero siempre teniendo en cuenta los aspectos singulares de cada una de ellas. Finalmente, se describe de forma más detallada las actuaciones específicamente orientadas a asegurar una eficaz implantación del principio ALARA.

## Índice

1. Introducción.....	3
2. El Programa de Protección Radiológica y el Manual de Protección Radiológica.....	4
3. Caracterización de los riesgos radiológicos a los trabajadores.....	5
4. Medidas de Protección Radiológica a los trabajadores. ....	7
4.1. Medidas de prevención.....	7
4.1.1. Clasificación de zonas radiológicas.....	7
4.1.2. Señalización de zonas radiológicas.....	8
4.1.3. Clasificación de trabajadores expuestos.....	9
4.2. Medidas de control. ....	9
4.2.1. Medidas de control de la irradiación externa. ....	10
4.2.2. Medidas de control de la contaminación externa. ....	11
4.2.3. Medidas de control de la contaminación interna.....	12
4.3. Medidas de vigilancia. ....	13
4.3.1. Vigilancia radiológica de los lugares de trabajo (vigilancia de área). ....	13
4.3.2. Vigilancia radiológica de los trabajadores expuestos (vigilancia individual). ....	14
4.3.3. Vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos.....	16
5. Actuaciones específicas en materia ALARA. ....	17
6. Bibliografía.....	21

## **1. Introducción.**

La protección radiológica es una disciplina científico-técnica que tiene como objetivo fundamental la protección de los trabajadores, público y medio ambiente contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.

El actual sistema de protección radiológica fue establecido en 1977 en la publicación de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) número 26 (ICRP-26), posteriormente refrendada y actualizada en las publicaciones ICRP-60 (1990) e ICRP-103 (2007), y cuyos objetivos y principios básicos han sido incorporados a la reglamentación de la mayor parte de los países. El sistema de protección radiológica establecido por ICRP-103 comprende 3 principios básicos (justificación, optimización y limitación), en cuya aplicación práctica se consideran los distintos tipos de exposición (ocupacional, médica y del público) y los distintos tipos de situaciones (planificadas, existentes y de emergencia).

Sin embargo, en estos momentos, al principio de optimización (o principio ALARA) se le reconoce una clara jerarquía sobre los otros dos principios, constituyendo el pilar básico de la protección radiológica.

Durante la fase de operación en centrales nucleares, la implantación del principio de optimización se basa en el Programa De Protección Radiológica Operacional (PPRO) en el cual se definen todas las medidas necesarias para garantizar que las dosis individuales se mantienen en niveles ALARA y, en cualquier caso, por debajo de los límites de dosis establecidos.

Cuando la vida útil de cualquier instalación nuclear se agota, ya sea por haber cumplido su periodo operativo, o por haberse dado cualquier otra circunstancia que haga inviable técnica o económicamente continuar su operación, se debe proceder a su clausura y desmantelamiento. El desmantelamiento de una central nuclear se define como el conjunto actividades administrativas y técnicas, una vez finalizada su operación, encaminadas a disminuir progresivamente la radiactividad remanente con el objetivo de garantizar que el estado radiológico final del emplazamiento es aceptable para los usos previstos.

Durante la fase de desmantelamiento en centrales nucleares, la implantación del principio de optimización se basa, igualmente, en el PPRO, pero teniendo en cuenta que los riesgos sobre los trabajadores implicados en actividades de desmantelamiento varían con respecto a los riesgos de las actividades de la operación de la instalación, debido a la propia naturaleza de las operaciones de saneamiento, de descontaminación y de desmontaje a

llevar a cabo, que necesitan de intervenciones personales y de contacto directo con las fuentes y materiales radiactivos.

## **2. El Programa de Protección Radiológica y el Manual de Protección Radiológica.**

El Programa De Protección Radiológica Operacional (PPRO) recoge todas las medidas necesarias para garantizar que el número de personas expuestas a las radiaciones ionizantes y la probabilidad de que se produzcan exposiciones potenciales sea el menor posible, así como para que las dosis individuales y colectivas resultantes de dichas exposiciones sean tan bajas como sea razonablemente posible (principio ALARA) y siempre inferiores a los límites de dosis establecidos en el *Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (RPSI)* para los trabajadores expuestos y para los miembros del público.

El PPRO debe estar adaptado a las peculiaridades de la instalación desde el punto de vista radiológico y, por ello, el contenido y alcance de este programa varía de no sólo de una instalación a otra, si no de la fase de la misma (operación, cese de explotación o desmantelamiento). Sin embargo, todos los programas de protección radiológica operacional se ajustan a un mismo esquema básico, en el que se definen:

- Los requisitos sobre información y formación de los trabajadores expuestos en relación con los riesgos radiológicos asociados a su trabajo.
- Los límites administrativos y los niveles de referencia que resultan necesarios para garantizar que las dosis se mantienen en niveles ALARA.
- Las medidas generales de protección radiológica operacional y las actuaciones específicas en materia ALARA que resulten pertinentes.
- La sistemática establecida para la vigilancia y el control del material radiactivo, tanto del que existe en la instalación, como del que sale de la misma.
- Los requisitos asociados al registro, archivo y custodia de los datos correspondientes a la dosimetría de los trabajadores expuestos.

En las instalaciones nucleares españolas el PPRO queda recogido en el Manual de Protección Radiológica (MPR) que, según se establece en el *Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas (RINR)*, es un documento preceptivo para la obtención de las autorizaciones de explotación y de desmantelamiento.

El MPR viene a representar el compromiso formal del titular de la instalación con el cumplimiento de los preceptos establecidos en las normas nacionales e internacionales en materia de Protección Radiológica, y se complementa con una serie de procedimientos técnicos y administrativos en los que se desarrollan en detalle las disposiciones y criterios en él contenidos.

La puesta en práctica de las medidas de protección radiológica recogidas en el MPR y en los procedimientos que lo desarrollan es responsabilidad del Servicio de Protección Radiológica (SPR), al frente del cual está el Jefe del SPR que debe disponer de un diploma que le acredita oficialmente como tal, y que es otorgado por el CSN. El SPR debe contar además con el personal técnico adicional necesario para el desarrollo de las funciones a él asignadas, debiendo en algunos casos disponer de la capacitación como Experto en PR, según la Instrucción de Seguridad IS-03.

Hay que destacar que el RPSI adjudica al SPR un importante protagonismo dentro de la organización de una instalación nuclear puesto que establece que el SPR debe organizarse y actuar de forma independiente al resto de las unidades funcionales de la instalación, y que el Jefe del SPR debe mantener una dependencia funcional directa con la Dirección de la instalación.

Cabe destacar que, para la elaboración del MPR los titulares de las instalaciones nucleares e instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear tienen a su disposición la *Guía de Seguridad 7.6* del CSN es un documento técnico de carácter recomendatorio que tiene por objeto recomendar la información y contenidos mínimos que el CSN estima que deben incluirse en el MPR de dichas instalaciones.

### **3. Caracterización de los riesgos radiológicos a los trabajadores.**

Por caracterización de riesgos se entiende la recopilación de datos, hechos e informaciones que sirven para definir las situaciones de daños potenciales a los trabajadores que pueden producirse como consecuencia de sus actividades laborales, ya sea durante la operación o el desmantelamiento de la instalación. Por lo tanto, los riesgos radiológicos de cada instalación son diferentes, y varían dependiendo de la fase de vida de la instalación.

La caracterización de los riesgos se realiza de forma previa al inicio de las actividades, pero no suele ser lo suficientemente detallada ni contiene toda la información necesaria para la planificación detallada de los trabajos; por lo tanto, es necesario un proceso de caracterización continuo y más detallado. Debe contemplar, básicamente, los siguientes aspectos:

- ü Inventariar las situaciones de riesgo presentes en la instalación que puedan originar daños potenciales a los trabajadores o al medio ambiente.
- ü Analizar las condiciones estructurales de la instalación que puedan afectar a la seguridad y protección de los trabajadores.
- ü Determinar la extensión, naturaleza y concentración de la contaminación radiológica y de los contaminantes químicos convencionales.
- ü En el caso del desmantelamiento, tener en cuenta el carácter de cambio continuo de la instalación, ya que se irán generando nuevos riesgos y eliminando otros.

En una instalación nuclear siempre va a existir cierto riesgo de irradiación externa, y en aquellas zonas en las que pueda haber material radiactivo disperso en el ambiente, también existirá riesgo de contaminación externa y/o interna. Una caracterización de estos riesgos, lo más exhaustiva posible, permitirá una adecuada toma de decisiones y, por lo tanto, el establecimiento de medidas de Protección Radiológica de forma más eficaz.

Las principales fuentes de radiación durante el funcionamiento de una central nuclear en operación normal que dan lugar a riesgos radiológicos a los trabajadores son:

- Núcleo del reactor, y en particular los elementos combustibles y productos de fisión, y las 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.

En la fase de desmantelamiento, el riesgo de daños por secuencias accidentales que producen liberaciones incontroladas de radiactividad al exterior de las instalaciones, es menor que en la fase de operación. Esto se debe fundamentalmente a la reducción del término fuente radiológico y a que se ponen fuera de servicio los sistemas en los que se podrían desencadenar sucesos iniciadores durante la operación de la instalación.

Por otra parte, las operaciones y actividades de descontaminación y desmantelamiento de sistemas, equipos y estructuras, pueden suponer el incremento del riesgo de contaminación externa e interna de los trabajadores por la realización de estas actividades que no se realizan habitualmente durante la operación de la instalación. Además, en comparación con la fase de operación, las actividades durante el desmantelamiento se llevarán a cabo en un entorno de trabajo que cambia continuamente ya que, por ejemplo, se desmantelan

infraestructuras, se eliminan controles de ingeniería y aumenta el almacenamiento temporal de residuos radiactivos brutos o procesados.

Así pues, los principales riesgos radiológicos a los trabajadores durante el desmantelamiento de una central son:

- Criticidad. Únicamente a considerar cuando los elementos combustibles no hayan sido descargados en su totalidad, o en instalaciones de procesamiento de materia fisible.
- Irradiación externa. Por intervenciones de contacto en zonas de mayor o menor tasa de dosis, o por el saneamiento radiológico previo de zonas.
- Contaminación interna. Por actuaciones en zonas de contaminación desprendible, por liberación de la actividad fija por las actuaciones del desmantelamiento, o por ruptura del encapsulamiento o inmovilización previa. En estos casos es necesario prestar una especial atención a la presencia de contaminantes emisores alfa.
- Pérdida de confinamiento. Por rupturas de contenciones y sistemas de ventilación insuficientes (falta de sistemas especiales de confinamiento),

#### **4. Medidas de Protección Radiológica a los trabajadores.**

Las medidas de Protección Radiológica a los trabajadores se pueden clasificar en tres grandes categorías: prevención, control y vigilancia.

##### **4.1. Medidas de prevención.**

Las medidas de prevención tienen como objetivo prevenir la ocurrencia de exposiciones ocupacionales que no resulten estrictamente necesarias. Las medidas se basan, para los tres tipos de riesgo (irradiación externa, contaminación externa y contaminación interna), en:

- La clasificación y delimitación de zonas radiológicas.
- La clasificación de trabajadores expuestos.
- El establecimiento de normas de acuerdo a dichas clasificaciones.

##### **4.1.1. Clasificación de zonas radiológicas.**

De acuerdo con los arts. 17 y 18 del RPSI, el titular de la instalación clasificará las zonas de la instalación en función del riesgo de exposición y teniendo en cuenta: la evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de exposiciones potenciales, en las siguientes zonas:

- a) Zona controlada: aquella en la que existe posibilidad de recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial o sea necesario seguir procedimientos de trabajo con objeto de restringir la exposición a la radiación ionizante, evitar la dispersión

significativa de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias.

Esta zona se puede subdividir en las siguientes;

- a. Zona de permanencia limitada: aquella en la que existe posibilidad de superar los límites de dosis establecidos.
  - b. Zona de permanencia reglamentada: aquella en la que existe posibilidad de superar los límites de dosis establecidos en una exposición de corta duración y que requieren prescripciones especiales desde el punto de vista de la optimización.
  - c. Zona de acceso prohibido: aquella en la que existe posibilidad de superar los límites de dosis establecidos en una exposición de muy corta duración.
- b) Zona vigilada: aquella zona en la que, no siendo zona controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial.

#### 4.1.2. Señalización de zonas radiológicas.

De acuerdo con el art. 20 del RPSI, las zonas deben estar adecuadamente delimitadas y señalizadas, y según el Anexo IV del RPSI, la señalización de las zonas se realiza mediante un "trébol" situado sobre fondo blanco, con un ribete rectangular del mismo color que el trébol en función de la zona:

- Zona vigilada: gris-azulado.
- Zona controlada: verde.
- Zona de permanencia limitada: amarillo.
- Zona de permanencia reglamentada: naranja.
- Zona de acceso prohibido: rojo.







#### 4.1.3. Clasificación de trabajadores expuestos.

De acuerdo con el art. 22 del RPSI, por razones de vigilancia y control radiológico los trabajadores expuestos se deben clasificar en 2 categorías:

- Categoría A: aquellos que pueden recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv/año o una dosis equivalente superior a 15 mSv/año para el cristalino y 150 mSv para la piel y las extremidades.
- Categoría B: aquellos que no sean clasificados como trabajadores de la categoría A.

#### 4.2. Medidas de control.

Las medidas de control tienen como objetivo controlar, en la medida de lo posible, la magnitud de los riesgos. Las medidas se basan en:

- Para irradiación externa, en el control de los factores tiempo, distancia y blindaje, que condicionan las dosis externas.
- Para contaminación externa, en el uso de vestuario de protección y en el establecimiento de zonas de tránsito.
- Para contaminación interna, en el uso de equipos de protección respiratoria.

#### 4.2.1. Medidas de control de la irradiación externa.

La dosis colectiva resultante de cualquier trabajo que se realice en zona radiológica de una instalación nuclear se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$S = D \cdot T \cdot N \quad (1)$$

Donde "S" es la dosis colectiva, "D" es la tasa de dosis en la zona de trabajo, "T" es la duración del trabajo y "N" es el número de personas que realizan el trabajo.

En principio, cualquier acción encaminada a disminuir alguno de estos parámetros va a dar lugar a una disminución de la dosis colectiva pero, en la práctica, estas acciones se suelen agrupar en dos categorías: reducción del término fuente y gestión de trabajos.

##### Reducción del término fuente

Tiene como objetivo disminuir la tasa de dosis (D) y se emplea generalmente en la fase de diseño, pero en la fase operacional también se emplean actuaciones para cumplir dicho objetivo, por ejemplo:

- ü Descontaminación previa a la realización de trabajos en componentes y circuitos en los que la contaminación pueda ser causa raíz de campos de radiación significativos.
- ü Instalación de blindajes temporales durante la realización de trabajos en los que el término fuente pueda ser relevante.
- ü Selección de materiales y el control químico del refrigerante que permite minimizar la generación de productos de corrosión activados en el circuito primario.

##### Gestión de trabajos

Tiene como objetivo disminuir la duración del trabajo (T) y el número de personas que realizan el trabajo (N), por ejemplo:

- ü La adecuada planificación de los trabajos que se desarrollen en zonas de alta radiación, prestando atención a posibles interferencias con otros trabajos.
- ü La implantación de programas de formación y entrenamiento específicos (con ejercicios de simulación en maqueta) para los trabajadores involucrados en tareas que resulten especialmente relevantes desde el punto de vista radiológico.
- ü La utilización de herramientas de control remoto y de técnicas robóticas durante la realización de actividades de inspección o mantenimiento en zonas en que los campos de radiación sean especialmente elevados.

#### *4.2.2. Medidas de control de la contaminación externa.*

El depósito de material radiactivo en la superficie del cuerpo humano, y el consecuente riesgo de exposición a la piel o de contaminación interna por incorporación al organismo vía inhalación, se puede evitar mediante el uso de vestuario de protección, que comprende fundamentalmente: buzo (o bata), cubrecabeza, cubrecalzado y guantes.

En zona controlada, se emplea un vestuario de protección básico constituido habitualmente por un buzo (o bata) de algodón, con cubrecabeza y guantes del mismo material.

En zonas con contaminación radiactiva elevada se emplea un vestuario adicional (por encima del vestuario básico) constituido por un buzo y cubrecabeza de tejido tyvek, con guantes de plástico y cubrecalzado de tela.

Dado que el tyvek es un tejido con una textura similar a un papel plastificado, no es suficientemente consistente para que se pueda utilizar en zonas en que exista mucha humedad en el ambiente o en las que exista contaminación radiactiva en forma líquida (o de vapor). Por lo tanto, en zonas con contaminación radiactiva líquida o gaseosa, se emplea un vestuario adicional (por encima del vestuario básico) constituido por un buzo y cubrecabeza de plástico o PVC, con guantes y cubrecalzado de goma.

El uso de vestuario de protección se complementa con el establecimiento de zonas de tránsito, una estrategia muy utilizada en instalaciones nucleares para el control de la contaminación. Esto se basa en separar físicamente a las zonas contaminadas de las zonas limpias con el objetivo de evitar que la contaminación se disperse de una zona a otra. En estas zonas de tránsito se realiza el cambio de vestuario de protección en función de las condiciones de la zona a la que se accede. Las zonas de tránsito disponen de los siguientes elementos:

- Una barrera física de separación entre zona contaminada y zona limpia que debe resultar bien visible (cadena, panel informativo en el suelo, etc.) con objeto de evitar que los trabajadores la puedan traspasar de forma inadvertida.
- Uno o varios recipientes, situados en la zona limpia, en los que se coloca el vestuario de protección (limpio) y las máscaras de protección respiratoria que van a utilizar los trabajadores durante su estancia en zona contaminada.
- Uno o varios recipientes, situados en zona contaminada, para depositar el vestuario de protección y las máscaras de protección respiratoria utilizadas por los trabajadores durante su permanencia en zona contaminada.

- Uno o varios recipientes, situados en zona contaminada, para la recogida del material residual que hubiera podido generarse en el transcurso de las tareas realizadas por los trabajadores en zona contaminada.
- Un panel informativo en el que se indiquen los requisitos de vestuario y de protección respiratoria que aplican para la realización de los trabajos que se vayan a desarrollar en zona contaminada.

El proceso de retirada de vestuario resulta especialmente problemático cuando se sale de áreas de trabajo en las que los niveles de contaminación son muy elevados y, por ello, en las zonas de tránsito que se disponen en el acceso a dichas áreas, se destina personal del SPR (convenientemente protegido) para ayudar a los trabajadores en el proceso de colocación y retirada del vestuario, evitando posibles contaminaciones personales durante este proceso.

#### *4.2.3. Medidas de control de la contaminación interna.*

La incorporación de radionucleidos al organismo vía inhalación se puede evitar mediante el uso de equipos de protección respiratoria, distinguiendo tres tipos: máscaras buco-nasales, máscaras semi-faciales y máscaras faciales.

En zonas de contaminación convencional no radiactiva se emplean las máscaras buco-nasales (autofiltrantes), provistas de filtros antipartículas.

En zonas con contaminación radiactiva moderada se emplean máscaras semi-faciales (de cara), provistas de filtros antipartículas, filtros de carbón activo y/o filtros mixtos.

En zonas con contaminación radiactiva elevada se emplean máscaras faciales (de cabeza), provistas de filtros antipartículas, filtros de carbón activo, filtros mixtos y/o equipos de respiración semiautónoma.

En zonas con contaminación radiactiva muy elevada (>10 LDCA) se emplean:

- A. Equipos de respiración semiautónoma, provistos de una manguera con suministro de aire y un compresor. Estos equipos son idóneos para trabajos prolongados en atmósferas deficientes en oxígeno donde no sea esencial la movilidad.
- B. Equipos de respiración autónoma, provistos de botellas de aire a presión. Estos equipos son idóneos para trabajos cortos en atmósferas deficientes no respirables donde sea esencial la movilidad.

A la hora de asignar equipos de protección respiratoria, además de los criterios radiológicos que determinan su utilización, el SPR debe tener en cuenta una serie de consideraciones adicionales:

- ü El trabajador debe disponer de una aptitud médica específica para la utilización de equipo respiratorio.
- ü El trabajador debe haber recibido formación y entrenamiento específicos en relación con el uso de dichos equipos, y se le deben haber dado directrices claras sobre las actuaciones a seguir en caso de anomalía.
- ü Hay que prestar atención a las posibles situaciones de estrés térmico que se pudieran producir durante el desarrollo del trabajo (al trabajar en ambientes cálidos y húmedos) y los problemas asociados a la falta de confort personal inherente al uso de estos equipos.

#### **4.3. Medidas de vigilancia.**

Las medidas de vigilancia tienen como objetivo verificar que tanto las medidas de prevención como las medidas de control resultan adecuadas a los objetivos perseguidos con su implantación. Las medidas se basan en:

- Para irradiación externa, en el uso instrumentos de vigilancia de área y de dosímetros personales para la vigilancia individual.
- Para contaminación externa, en el uso de detectores portátiles y detectores tipo pórtico.
- Para contaminación interna, en el uso de contadores de radiactividad corporal y técnicas de bioensayo.
- La vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos.

##### **4.3.1. Vigilancia radiológica de los lugares de trabajo (vigilancia de área).**

De acuerdo con el art. 20 del RPSI, se deberá realizar una vigilancia radiológica de los lugares de trabajo con el objetivo de cuantificar los niveles de radiación y contaminación en ellas existentes, permitiendo:

- Confirmar que los niveles de radiación y contaminación son acordes a la clasificación de la zona o, si no fuera así, proceder a actualizar dicha clasificación.
- Definir las medidas de protección que se deben a aplicar a los trabajadores que intervienen en los trabajos que se vayan a desarrollar en la zona.
- Detectar cualquier aumento significativo en los niveles de radiación y de contaminación en la zona (lo que permite adoptar acciones correctoras para evitar que los trabajadores puedan verse afectados por tal aumento).

En particular, el art. 31 del RPSI establece que la vigilancia radiológica de los lugares de trabajo comprenderá:

- a) La medición de las tasas de dosis externas, especificando la naturaleza, tipo y calidad de las radiaciones de que se trate.
- b) La medición de las concentraciones de actividad en aire y la contaminación superficial, especificando la naturaleza de las sustancias radiactivas contaminantes y sus estados físico y químico.

En las instalaciones nucleares dicha vigilancia se realiza con carácter rutinario, distinguiéndose entre:

- Vigilancia continua: mediante detectores fijos que miden sin interrupción los niveles de radiación y contaminación en las zonas de la instalación donde se encuentran ubicados.
- Vigilancia periódica (por rondas del SPR): mediante el uso de detectores portátiles que miden los niveles de radiación y contaminación en las zonas de la instalación donde no se encuentran instalados detectores fijos.

En las instalaciones nucleares, además, se realiza una vigilancia de carácter especial ante la ocurrencia de situaciones operacionales que pudieran implicar un riesgo radiológico relevante como, por ejemplo, sucede:

- Cuando se van a realizar trabajos en zonas de la instalación que no estén cubiertas ni por detectores fijos ni por las rondas de vigilancia rutinaria.
- Cuando se accede a zonas en las que puedan producirse cambios significativos (y repentinos) en los niveles de radiación o de contaminación.
- Cuando se accede a zonas en las que se hayan desarrollado trabajos que pudieran haber alterado de forma significativa su situación radiológica.
- Cuando se accede a zonas en que se hayan producido averías o alarmas que pudieran ser indicio de fugas en circuitos o componentes activos.

#### ***4.3.2. Vigilancia radiológica de los trabajadores expuestos (vigilancia individual).***

De acuerdo con el RPSI, se deberá llevar a cabo una vigilancia radiológica individual de los trabajadores expuestos con objeto de cuantificar las dosis individuales recibidas durante el desarrollo de su actividad laboral, permitiendo:

- Garantizar el cumplimiento de los límites de dosis establecidos.
- Evaluar la eficacia de las medidas de protección radiológica de los trabajadores.

La metodología de cuantificación de las dosis individuales depende de la categoría de trabajador expuesto:

- Trabajadores de categoría A: la dosis individual será determinada mediante el uso de dosímetro personal, y se registrarán las dosis mensuales y las dosis acumuladas por año oficial.
- Trabajadores de categoría B: la dosis individual podrá ser estimada a partir de vigilancia de área, y se registrarán las dosis anuales asignadas o estimadas.

Además, de acuerdo con el art. 39 del RPSI, se deberán registrar todas las dosis recibidas por los trabajadores de categoría A y por los trabajadores de categoría B con dosímetro individual, durante su vida laboral, en un historial dosimétrico individual que se mantendrá debidamente actualizado y estará, en todo momento, a disposición del propio trabajador.

Este historial dosimétrico individual deberá figurar, en el caso de los trabajadores expuestos de categoría A, en su historial clínico-laboral.

#### *Vigilancia individual por exposición externa*

Como se ha expuesto anteriormente, las dosis individuales por exposición externa serán determinadas mediante el uso de un dosímetro personal para los trabajadores de categoría A, mientras que para los trabajadores de categoría B, éstas pueden ser estimadas a partir de medidas de vigilancia de área.

Los dosímetros personales empleados como dosímetros oficiales por los Servicios de Dosimetría Personal en España son de termoluminiscencia y se ubican en una posición representativa de la exposición, generalmente a la altura del pecho.

#### *Vigilancia individual por exposición interna*

Las dosis individuales por exposición interna se estiman, dependiendo del radionucleido implicado, mediante el uso de contadores de radiactividad corporal (métodos "in vivo"), mediante técnicas de bioensayo (métodos "in vitro") o mediante modelos basados en la vigilancia de área.

Los métodos "in vivo" se basan en la medida directa de la actividad incorporada mediante la medida de la actividad emitida por los radionucleidos incorporados. Se emplean para la medida de radionucleidos emisores de radiación de alta capacidad de penetración tisular (radiación gamma o X) que pueden ser detectada en el exterior del organismo. Estos detectores se denominan *Contadores de Radiactividad Corporal (CRC)* y emplean:

- Para un número reducido de contaminantes, detectores de centelleo sólido de NaI(Tl).
- Para un número elevado de contaminantes, detectores de semiconductor de Ge, con capacidad de discriminar energías de los fotones.

Los métodos "in vitro" se basan en la medida indirecta de la actividad incorporada mediante la medida de la actividad de muestras biológicas. Se emplean para la medida de radionucleidos emisores de radiación de baja capacidad de penetración tisular (radiación alfa y beta, o gamma de baja energía) que no pueden ser detectada en el exterior del organismo. Estos detectores se aplican sobre muestras biológicas como la orina (para radionucleidos solubles) y, en menor medida, las heces (para radionucleidos insolubles) y emplean:

- Para emisores alfa, detectores de centelleo sólido o contadores proporcionales.
- Para emisores beta de baja energía, detectores de centelleo líquido.
- Para emisores beta de alta energía, contadores proporcionales.

Los modelos basados en la vigilancia de área se basan en estimar la actividad incorporada por inhalación mediante la medida de la concentración de actividad del aire a través la expresión:

$$A = C \cdot B \cdot t \quad (2)$$

Dónde "C" es la concentración de actividad en el aire en la zona de trabajo en ( $\text{Bq} / \text{m}^3$ ), "B" es la tasa de respiración en ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) y "t" es el tiempo de permanencia en la zona de trabajo en (h).

Estos modelos son apropiados en el caso de compuestos fácilmente dispersables y en áreas pequeñas, y emplean para ello medidas mediante muestreadores personales o fijos.

#### *4.3.3. Vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos.*

De acuerdo con el RPSI se deberá llevar a cabo una vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos, que se basará en los principios generales de medicina del trabajo, así como en lo establecido en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, y sus normas de desarrollo.

En particular, el RPSI establece que los trabajadores de categoría A:

- ü Deberán ser sometidos a un examen de salud previo, que permita comprobar su aptitud para realizar las funciones que se le asignen, y a exámenes de salud



periódicos (cada doce meses) que permitan comprobar que siguen siendo aptos para ejercer sus funciones.

- ü Serán clasificados como “aptos”, “aptos en determinadas condiciones” o “no aptos en función del resultado de dichos exámenes de salud y desde el punto de vista médico, siendo necesario estar clasificado médicamente como “apto” o “apto en determinadas condiciones” para ser asignado o clasificado como de categoría A.

El examen de salud previo tiene por objeto la obtención de un historial clínico-laboral que habrá de contener, al menos:

- ü Las informaciones referentes a la naturaleza del empleo y de los riesgos a que ha estado expuesto como consecuencia de él.
- ü Los resultados de los exámenes de salud previos a la contratación o clasificación como trabajador de categoría A.
- ü Los exámenes de salud periódicos y eventuales.
- ü El historial dosimétrico de toda su vida profesional.

Además, en caso de superación o sospecha fundada de superación de alguno de los límites de dosis establecidos, se deberá realizar una vigilancia especial de la salud que podrá consistir en nuevos exámenes, medidas de descontaminación o tratamiento terapéutico de urgencia y, en caso necesario, atención y tratamiento médico en un centro autorizado para dicho fin en aplicación del *Real Decreto 1277/2003, de 10 de octubre, por el que se establecen las bases generales sobre autorización de centros, servicios y establecimientos sanitarios*.

## **5. Actuaciones específicas en materia ALARA.**

En las instalaciones nucleares españolas las actuaciones específicamente orientadas a asegurar una eficaz implantación del principio ALARA cobran especial relevancia dentro de los PPRO.

De acuerdo la Guía de Seguridad 1.12 *Aplicación práctica de la protección radiológica en la explotación de las centrales nucleares* (GS 1.12), para conseguir una eficaz implantación del principio ALARA durante la operación de las instalaciones nucleares resulta necesario implantar una dinámica de trabajo orientada específicamente a cumplir con dicho principio.

Aunque la GS 1.12 haga referencia a la fase de operación de las instalaciones nucleares, los objetivos y principios de dicha guía resultan aplicables igualmente a la fase de desmantelamiento, por ser de carácter general.

Para la consecución de su objetivo, la GS 1.12 contempla un conjunto de estrategias entre las que cabe destacar:

- El establecimiento de objetivos ALARA y de indicadores que resulten apropiados para verificar el cumplimiento de dichos objetivos.
- El establecimiento de una sistemática para la revisión, desde el punto de vista ALARA, de los trabajos más significativos desde el punto de vista radiológico.
- El establecimiento de una sistemática para la revisión, desde el punto de vista ALARA, de las modificaciones de diseño.
- El establecimiento de programas de formación y entrenamiento específicamente orientados a la implantación del principio ALARA.

En relación con el establecimiento de indicadores ALARA que permitan valorar el grado de implantación del principio ALARA, en las instalaciones nucleares españolas típicamente se suele acudir a:

- Magnitudes de índole dosimétrico: dosis colectiva, dosis colectiva por departamento, dosis colectiva por trabajo, dosis individual máxima, etc.
- Indicadores de carácter operacional: número de casos de contaminación en piel, número de casos de contaminación interna, número de alarmas en monitores de área, etc.

En relación con la revisión ALARA de los trabajos más significativos desde el punto de vista radiológico hay que señalar que, en las instalaciones nucleares españolas, está implantada una sistemática por la que dicha revisión implica un proceso con tres etapas perfectamente diferenciadas:

1º Planificación y preparación de trabajos, que consiste en:

- Estimar las dosis que van a producirse en el transcurso del trabajo.
- Estimar la duración del trabajo.
- Definir cuantos trabajadores van a intervenir (y la formación requerida).
- Establecer los requisitos de dosimetría y de vestuario de protección.
- Fijar la zona de trabajo más adecuada (blindaje, disposición de espacios).

2º Seguimiento de la ejecución de los trabajos, que consiste en:

- Controlar la duración del trabajo y las dosis resultantes del mismo.
- Identificar la ocurrencia de desviaciones con respecto a lo planificado.
- Adoptar, cuando proceda, las acciones correctoras que resulten pertinentes.

3º Revisión posterior a la finalización de los trabajos, que consiste en:

- Analizar la efectividad de las técnicas de reducción de dosis aplicadas.
- Analizar las causas de las desviaciones que se hubieran producido.
- Analizar la efectividad de las acciones correctoras que se hayan adoptado.
- Analizar las lecciones aprendidas e identificar posibles líneas de mejora.

En relación con la revisión ALARA de las modificaciones de diseño que haya que acometer (por razones operativas o de seguridad) hay que señalar que, en las instalaciones nucleares españolas, está implantada una sistemática por la que:

1º Antes de implantar cualquier modificación de diseño que implique la realización de trabajos en zona controlada, se realiza un análisis con objeto de evaluar si dicha modificación puede tener una incidencia radiológica significativa, es decir:

- Si las dosis resultantes de la modificación van a ser relevantes.
- Si se van a realizar trabajos en zonas con altos niveles de radiación.
- Si se va a alterar (desfavorablemente) el mapa radiológico de la instalación.
- Si se van a originar nuevas fuentes de radiación.

2º En el caso que, tras realizar dicho análisis, se concluya que la modificación de diseño resulta relevante desde el punto de vista ALARA, y como paso previo a su implantación:

- Se analiza la experiencia obtenida en la implantación de modificaciones análogas en otras instalaciones, con vistas a seleccionar la alternativa que resulte más adecuada desde el punto de vista ALARA.
- Se lleva a cabo un análisis detallado de la modificación bajo una perspectiva ALARA, tratando de lograr las mejores condiciones posibles para cumplir con dicho principio, para lo que hay que considerar aspectos como:
  - ü Selección de materiales, componentes y equipos.
  - ü Características de mantenimiento e inspección de los equipos.
  - ü Implantación de blindajes (fijos y móviles).
  - ü Disposición de espacios para la realización de trabajos.
  - ü Disposición de medios de limpieza y de descontaminación.
  - ü Eliminación de puntos calientes (trampas de suciedad, codos, etc.)

3º Durante la implantación de la modificación de diseño se presta especial atención a los trabajos que resulten significativos desde el punto de vista radiológico, aplicando a los mismos la sistemática de revisión ALARA antes descrita.

En relación con la formación y entrenamiento en materia ALARA hay que señalar que, en las instalaciones nucleares españolas, se implantan programas de formación específicamente adaptados a los distintos niveles de responsabilidad, de modo que:

- Al personal de nivel directivo se le instruye para que el principio ALARA represente para ellos un elemento de referencia básico a la hora de tomar decisiones en relación con la planificación de la explotación de la instalación, con la implantación de modificaciones de diseño, etc.
- Al personal de nivel técnico se le instruye para que el principio ALARA constituya un objetivo básico a tener en cuenta a la hora de planificar, preparar y ejecutar los distintos trabajos (inspección, mantenimiento, etc.) que hay que realizar durante el funcionamiento de la instalación.
- Al personal de nivel laboral se le instruye (y se le entrena) para que las dosis que reciban en el transcurso de los trabajos que realizan se mantengan en los niveles más bajos, dentro de lo razonablemente posible.

## 6. Bibliografía

- Amor Calvo, I., (2018). - *Tema 7: Protección Radiológica Operacional en Centrales Nucleares*. Madrid: Tema 3-B-07 (2018) Protección Radiológica Operacional en CCNN.
- Consejo de Seguridad Nuclear, (2015). *Protección radiológica durante el desmantelamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas. Restauración del emplazamiento antes de la clausura*. Madrid: Tema 3-B-09 (2015) PR durante el desmantelamiento de IINN y RR.
- Consejo de Seguridad Nuclear. (2016). *Contenido de los manuales de protección radiológica de instalaciones nucleares e instalaciones radiactivas del ciclo de combustible nuclear* (GSG-07.06 Rev-1).
- Consejo de Seguridad Nuclear, (2024). Qué hacemos por la protección radiológica - CSN [en línea]. *Inicio* - CSN. [Consultado el 28 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.csn.es/que-hacemos-por-la-proteccion-radiologica>
- International Atomic Energy Agency. (2021). *Occupational Radiation Protection during the Decommissioning of Nuclear Installations* (IAEA-TECDOC-1954). IAEA. <https://www.iaea.org/publications/14858/occupational-radiation-protection-during-the-decommissioning-of-nuclear-installations>
- Ministerio de Industria y Energía. (1999). *Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas*. («BOE» núm. 313, de 31/12/1999). Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-24924>
- Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (2022). *Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes*. («BOE» núm. 305, de 21/12/2022). Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-21682>