MÓDULO 5:

VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL

5.1 ESTRATEGIAS DE VIGILANCIA EN EMERGENCIAS EXTERIORES

5.2 TÉCNICAS DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL

Profesora: Dª. Aránzazu García Monedero

PROINSA

5.1 ESTRATEGIAS DE VIGILANCIA EN EMERGENCIAS EXTERIORES

Objetivos

Describir las distintas necesidades de predicciones y de vigilancia radiológica en el exterior en caso de emergencia nuclear o radiológica, sentar las bases de la necesidad de estas predicciones, discutir problemas relacionados con evaluaciones del término fuente e identificar los componentes de la exposición a la radiación en situaciones de accidente.

En este tema se presentan datos y resultados de medidas que es esencial tener en consideración para llevar a cabo acciones de protección ante accidentes nucleares o en caso de emergencias radiológicas. Se analiza la relación entre predicciones, medidas meteorológicas y dispersión atmosférica con la vigilancia radiológica ambiental en el exterior. Se describen las formas de exposición a la radiación que sufre el público en una situación de emergencia, así como su influencia sobre la estrategia a seguir en cuanto a vigilancia radiológica ambiental, requisitos de las técnicas de medida y transmisión de información a los distintos organismos involucrados en la respuesta a la emergencia.

Contenidos

- Necesidad de Vigilancia Radiológica Ambiental.
- Término Fuente.
- Evaluación de la dispersión. Evaluación vs realidad.
- Estrategia de Vigilancia.
- Vigilancia radiológica ambiental fuera del emplazamiento
- Vigilancia de los alimentos y de la población

5.1.1. INTRODUCCIÓN

Necesidad de Vigilancia Radiológica Ambiental

En caso de que tenga lugar un accidente nuclear o radiológico grave, es necesario tomar rápidamente acciones de protección, a ser posible antes de que se produzca la emisión de radiactividad al ambiente.

Son fundamentales para una rápida implantación de las acciones de protección fuera del emplazamiento la vigilancia radiológica ambiental y la transmisión de los datos desde la zona afectada a los centros de emergencia en los que se realiza la toma de decisiones (SALEM, CECOP, etc.).

Todo esto exige la disponibilidad de datos meteorológicos de calidad desde los primeros instantes del accidente, y la predicción rápida de la trayectoria y dispersión del penacho radiactivo en la atmósfera.

Término fuente

En relación a la vigilancia radiológica ambiental también es importante conocer el **término fuente**. Denominamos término fuente a la cantidad y composición isotópica del material emitido (o que se prevé emitir) desde una central nuclear.

La determinación del término fuente de las emisiones radiactivas siempre es complicada. Únicamente se pueden dar valores deterministas una vez llevada a cabo la vigilancia en el emplazamiento, mientras que las previsiones siempre son difíciles e inciertas. La evolución de un escenario accidental en una central nuclear normalmente se desarrolla durante un largo periodo de tiempo y no es posible determinar el momento preciso en que se iniciará la emisión y la magnitud de la liberación. Es necesario hacer evaluaciones probabilísticas más allá de las Bases de Diseño de Accidentes y estimar el momento y las cantidades de los distintos radionucleidos que se pueden liberar, información que, junto con los datos meteorológicos, se utilizarán para determinar la zona amenazada y aplicar rápidamente las medidas de protección.

La composición de radionucleidos en el ambiente puede variar enormemente dependiendo del tipo de accidente y de las condiciones atmosféricas, así como de la distancia a la que se encuentra el área afectada del punto de emisión. Estos dos últimos factores, condiciones atmosféricas y distancia, determinan la capacidad de dilución, dispersión y eliminación parcial de los radionucleidos dispersados en la atmósfera. Los radionucleidos pueden estar en forma de aerosoles o en forma gaseosa.

Evaluación de la dispersión. Evaluación vs realidad

Los modelos de dispersión nunca pueden predecir exactamente la propagación de los radionucleidos liberados en la atmósfera y su deposición en el terreno. La mezcla y dilución de radionucleidos en el aire son procesos extremadamente complicados y la aparición de precipitaciones locales y su magnitud son tan imprevisibles que siempre son necesarias las medidas in situ de tasa de dosis y de concentración de radionucleidos en aire. Por ejemplo, durante el accidente de Chernobyl en 1986, las condiciones meteorológicas y el accidente en sí fueron tales que ningún modelo de dispersión hubiera sido capaz de predecir la magnitud de la deposición realmente ocurrida sobre el terreno. Por lo tanto, independientemente de que se utilicen sofisticados modelos de dispersión y cálculo de dosis siempre han de hacerse medidas radiológicas fuera del emplazamiento.

5.1.2. ESTRATEGIA DE VIGILANCIA

Bases

Con el fin de establecer una estrategia racional para la vigilancia radiológica fuera del emplazamiento, ha de conocerse de qué modo están expuestas las personas a la radiación durante y después de un accidente. Podemos determinar qué medidas son necesarias, cuándo deben llevarse a cabo, y cómo y dónde se deben implementar. Con todo ello se debe planificar la estrategia de vigilancia radiológica ambiental fuera del emplazamiento.

Durante y después de un accidente, la población está expuesta a la radiación proveniente de:

- Radionucleidos inhalados durante el paso del penacho radiactivo (irradiación interna).
- Radionucleidos presentes en el penacho (irradiación externa, radiación recibida a su paso, sin contaminación y por lo tanto sin exposición interna).
- Radionucleidos depositados en el suelo y otras superficies, y en la piel (irradiación externa).
- Radionucleidos ingeridos debido a su presencia en productos comestibles contaminados (irradiación interna).
- Radionucleidos ingeridos presentes en el agua potable contaminada (irradiación interna)

La exposición a la radiación puede dividirse en **exposición interna**, originada por los radionucleidos que entran en el cuerpo humano al ser inhalados con el aire y con la ingestión de alimentos y agua potable contaminados, y la **exposición externa** debido a los radionucleidos, externos al cuerpo humano, presentes en el aire al paso del penacho y depositados en el suelo, otras superficies y en la piel.

Las tasas de dosis más altas son debidas a la **inhalación** de radionucleidos al paso de la nube radiactiva. Parte de los radionucleidos inhalados permanecerá en el cuerpo, y la tasa de dosis producida por éstos disminuirá con el tiempo.

Una vez que el penacho haya pasado, la ingestión de alimentos y agua contaminados empezarán a producir la irradiación de origen interno. La exposición interna provocada por la ingesta de alimentos y agua puede aumentar con el paso del tiempo debido a su lento proceso de contaminación a través de la cadena trófica.
La presencia de radioiodos tiene mucha importancia, ya que el iodo se acumula en su totalidad en la glándula tiroides y puede dar lugar a altas dosis en la misma. La **radiación gamma** debida a la influencia directa del penacho desaparecerá cuando éste haya terminado de atravesar la zona; sin embargo, la radiación gamma debida a los radionucleidos depositados sobre las superficies de la zona afectada permanecerá mientras no se descontamine, aunque la tasa de dosis producida disminuirá con el paso del tiempo.

Este esquema de exposición a la radiación, válido por ejemplo para un accidente grave en una central nuclear, es el que sirve como base para el diseño de la estrategia de vigilancia radiológica ambiental fuera del emplazamiento.

Estrategia

Después de la liberación de radionucleidos al medio ambiente es necesario conocer de inmediato la tasa de dosis externa (es decir, la tasa de dosis debida a la radiación gamma), la concentración de partículas y la concentración de radioyodos en aire. Estos datos deben ser comunicados rápidamente a la sala de emergencias del CSN (Salem) y CECOP para poder recomendar y llevar a cabo las actuaciones de protección urgentes.

En los primeros momentos tras el paso de la nube radiactiva, por ejemplo, dentro de las 24 horas siguientes a su paso, se necesita información sobre tasas de dosis y deposición de radionucleidos en zonas relativamente amplias, a fin de estar en condiciones de identificar las más contaminadas (zonas de riesgo) y evaluar la necesidad de adoptar medidas de protección a largo plazo.

Inmediatamente después del paso del penacho, también se necesitarán los resultados de las medidas de contaminación interna de las personas. Estas medidas incluyen la vigilancia de la glándula tiroides y del cuerpo entero. También es necesario conocer, poco después de la deposición, información sobre la contaminación de productos alimentarios y agua potable, debiendo iniciarse su control tan pronto como sea posible.

5.1.3. VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL FUERA DEL EMPLAZAMIENTO

Primera fase (fase aguda) de un accidente (medidas urgentes):

En esta fase se necesita conocer urgentemente todos los datos que sea posible: tasa de dosis externa, concentración de partículas radiactivas en suspensión y radioiodos en aire. Éstas medidas deben hacerse sobre el terreno y los resultados deben transmitirse al Salem y Centro de Coordinación Operativa (CECOP) tan pronto como sea posible.

a) La instrumentación para la medida de **tasa de dosis** es bastante simple, y en muchos países, entre ellos España, existen redes de vigilancia con estaciones de medida distribuidas por todo su territorio. En el caso de España se dispone de dos redes:
   - Red de Estaciones Automáticas, (REA) está integrada por 25 estaciones automáticas que disponen de instrumentación para medir en continuo variables radiológicas (tasa de dosis gamma, concentración de radón, radioiodos, emisores alfa y beta en aire) y variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, precipitación y presión atmosférica). La recepción, gestión y análisis de los datos se hace desde la Sala de Emergencias (SALEM) del CSN. Desde aquí se tiene acceso también a los datos de las redes de las comunidades autónomas de Valencia, Cataluña, Extremadura y País Vasco.

- Red de Alerta a la Radiactividad (RAR) de la Dirección General de Protección Civil integrada por 902 estaciones de medida de tasa de radiación gamma ambiental, cuyos datos se reciben también en la Salem.

Además, las centrales nucleares disponen de redes de medida en continuo de tasa de dosis con puntos de medida situados en sus proximidades, en muchos casos con conexión directa a Sala de Control para recepción de los resultados. Las técnicas de medida de tasa de dosis se describen en el tema 5.2.

Los valores de tasa de dosis son necesarios para evaluar la necesidad de adoptar medidas de protección al público, pero no es suficiente para estimar las dosis al mismo debido a que, especialmente durante el paso de la nube radiactiva, una parte muy importante de la exposición total a la radiación es debida a la inhalación de radionucleidos. Esa es la razón por la que es necesario determinar la concentración de los distintos radionucleidos en el aire.

b) La **concentración de actividad de partículas radiactivas en suspensión** en aire puede medirse gracias a la recogida de las partículas en filtros y posterior medida por espectrometría gamma. Esta determinación es bastante rápida e indica la concentración de cada radionucleido emisor gamma. En situación de emergencia, los valores de actividad de los radionucleidos emisores gamma en aire constituye una buena base para la toma de decisiones. Los radionucleidos emisores alfa o beta puros se pueden medir por varios métodos y por lo general, requieren mucho tiempo de tratamiento previo de las muestras. Los métodos más utilizados para la recolección de partículas radiactivas en aire son los filtros de celulosa, fibra de vidrio o polipropileno con muestreadores de aire de bajo (30 lpm), medio (100 lpm) o alto volumen (8.000-16.000 lpm). En situaciones de emergencia se suelen utilizar equipos portátiles, de caudal de aspiración próximo a 100 lpm.

c) Para la recogida de los **isótopos de iodo** se necesitan absorbentes eficaces. Los cartuchos de carbón activo son el método más utilizado para este muestreo.

Los filtros de fibra de vidrio o celulosa y los cartuchos de carbón activo pueden medirse in situ en el laboratorio de una unidad móvil provista de un espectrómetro gamma, o en su defecto realizarse una primera medida rápida de la contaminación superficial depositada en el filtro con un contaminómetro; así mismo se podrán analizar en un laboratorio fijo normal. Los filtros y cartuchos deben medirse tan pronto como sea posible ya que se necesita conocer con mucha urgencia los resultados de la actividad y para minimizar el decaimiento de los isótopos, principalmente de los radioiodos. En el tema 5.2 se presentan con mayor detalle las técnicas de medida.

El muestreo, la medida y la transmisión de los resultados de concentración de actividad de partículas en suspensión y radioiodos en aire también puede ser automatizado si se utilizan muestreadores dotados de cambiadores automáticos de muestras, software de medida y conexiones para trasmisión de datos. Esta instrumentación es bastante sofisticada y costosa, pero suministra información rápidamente. Como se ha indicado anteriormente las estaciones de la REA del CSN y las estaciones de las comunidades autónomas de Valencia, Cataluña, País Vasco y

Extremadura, son capaces de medir y transmitir la concentración de iodo radiactivo y emisores alfa y beta en aire, disponiendo de la información on-line en la Salem.

Los captadores de alto volumen de aire, pueden también estar equipados con un medidor de tasa de dosis directamente sobre el filtro. La conexión de este medidor a la red hace posible producir alarmas con menores niveles de tasa de dosis en aire por acumulación del material radiactivo en el filtro. En España no se dispone de este tipo de equipos

Las centrales nucleares disponen de una red de estaciones de muestreo de partículas y radioiodos en aire, incluidas en el Programa de vigilancia radiológica en Emergencia (PVRE), situadas en sus cercanías. Además como parte también del PVRE, las centrales nucleares disponen de Unidades móviles con equipos portátiles para realizar la toma de muestras y las medidas señaladas.

Por su parte el CSN tiene suscritos acuerdos de colaboración con Ciemat y la Universidad de Extremadura, para utilización de sus Unidades móviles en caso de emergencia.

Después de la primera fase de un accidente (decisión de contramedidas a largo plazo)

Poco después de la primera fase de un accidente, es necesario disponer de una visión más general sobre la contaminación de la zona afectada. Dicha zona podría comprender desde decenas a miles de kilómetros cuadrados. Es necesario disponer de la información lo antes posible (por ejemplo, dentro de las primeras 24 horas) con el fin de estar en condiciones de evaluar las medidas de protección necesarias a largo plazo. Las magnitudes que es necesario determinar son la actividad de radionucleidos depositada (contaminación superficial) o la tasa de dosis existente.

Las redes fijas de vigilancia y las medidas realizadas manualmente permiten conocer la **tasa de dosis** existente. La red de medida debe ser lo suficientemente tupida con el fin de identificar la mayor parte de los lugares que estén contaminados. Este estudio también puede hacerse mediante determinaciones obtenidas con unidades móviles (automóviles, aviones o helicópteros).

La distribución del material radiactivo depositado puede ser caracterizada de forma muy rápida con un espectrómetro gamma instalado en un helicóptero o un avión. Este método es muy útil por su rapidez y permite identificar los "puntos calientes" de una forma muy fiable. Este tipo de estudio requiere disponer de equipos portátiles de espectrometría gamma y de un sistema de posicionamiento por satélite. La información sobre la presencia de contaminación radiactiva sólo puede lograrse utilizando muestreadores especiales o tomando muestras superficiales ambientales, y midiéndolas en laboratorios acreditados. Estos laboratorios deben ser capaces de identificar emisores alfa, beta y gamma.

5.1.4. VIGILANCIA DE LOS ALIMENTOS Y DE LA POBLACIÓN

Tras la deposición del material radiactivo es necesario vigilar:

- El contenido de **iodo** en la glándula tiroides de las personas y la cantidad total de radionucleidos en el cuerpo. La vigilancia del iodo en la glándula tiroides puede hacerse con un medidor de tasa de dosis relativamente simple. Dado que la demanda de estas medidas puede ser grande, se debe disponer de la suficiente instrumentación y el personal debe conocer y estar entrenado con antelación en la metodología de medida. La instrumentación para la vigilancia de cuerpo entero (Contador de Radiactividad Corporal, comúnmente denominado Quicky o contador de cuerpo entero) es más complicada, por lo que el número de lugares donde estas medidas pueden realizarse es más limitado. Muchos países disponen de instalaciones para la medida de cuerpo entero en laboratorios fijos y algunos de ellos también de laboratorios móviles, como en el caso de España. Los resultados de las medidas de deposición radiactiva y de vigilancia de tiroides pueden utilizarse para la selección de los individuos a los que se debe controlar la posible contaminación interna a cuerpo entero.

- **Algunos productos alimentarios**, como por ejemplo, las **hortalizas** cultivadas en terreno abierto, se contaminan a medida que se produce la deposición del material radiactivo. Estos alimentos no deben ser consumidos sin que se haya controlado previamente su actividad. Otros alimentos, como la **leche** procedente de animales de la zona afectada, comenzarán a contaminarse muy poco tiempo después de que se produzca la deposición del material radiactivo por lo que se debe estar en disposición de iniciar rápidamente la vigilancia radiológica de este tipo de alimentos. En el caso particular de la leche, es importante comenzar la vigilancia cuanto antes ya que los radioiodos aparecerán muy pronto en ella, y éste es un alimento muy importante, en particular para los lactantes y los niños. La carne, los cereales y la pesca se contaminarán más lentamente y su vigilancia radiológica no es tan urgente como la de la leche.

- Normalmente, el **agua potable** no estará muy afectada por la contaminación radiactiva, dado que las masas de agua sin tratar o bien son grandes, y por tanto la contaminación se diluye en grandes cantidades de agua, o bien están en el subsuelo. Además, normalmente el agua es depurada y tratada antes de su distribución. Los pozos de uso privado también están, normalmente, protegidos contra la contaminación. A pesar de todo, los programas de vigilancia deben incluir el agua potable.

5.1.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Project PH REG 06.4/97: Training on Off-Site Emergency Management in Central Eastern Europe Course Training Material

5.2 TÉCNICAS DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL

Objetivos

Este tema tiene por objeto proporcionar una descripción general de las técnicas necesarias para realizar la vigilancia radiológica ambiental.

Las técnicas se describen a un nivel que permite al CSN, como responsable de la vigilancia ambiental, definir los requisitos técnicos para los distintos objetivos de vigilancia, en las distintas fases de una emergencia.

Se definen las distintas técnicas de análisis necesarias. Incluye la descripción de la instrumentación utilizada para la medida de la tasa de dosis ambiental, así como de las partículas y gases radiactivos en aire. Se describen los requisitos técnicos necesarios para la medida y seguimiento de la radiación ambiental mediante unidades móviles terrestres y aerotransportadas.

Se discuten los requisitos necesarios para la medida de las muestras ambientales en el laboratorio, así como los relativos al propio diseño de dichos laboratorios. También se incluye la descripción de la instrumentación para la cuantificación y seguimiento de los isótopos radiactivos en el cuerpo humano. Se indican los requisitos de sensibilidad en las diferentes determinaciones analíticas.

Contenidos

- Técnicas de la Vigilancia Radiológica Ambiental.
- Vigilancia Radiológica Ambiental. Determinación de la tasa de dosis.
- Vigilancia Radiológica Ambiental. Determinación de radiactividad en aire.
- Caracterización de contaminación radiactiva. Medidas en campo mediante unidades móviles.
- Instrumentación del laboratorio.
- Vigilancia radiológica de la población.
- Requisitos de diseño de los laboratorios.
- Redes de vigilancia e intercambio automático de datos.

5.2.1. INTRODUCCIÓN

La vigilancia radiológica ambiental está compuesta por varias partes. El objetivo perseguido por la vigilancia radiológica ambiental cambia durante y después de un accidente nuclear. Cuando el penacho de material radiactivo se acerca a una zona determinada, es necesario disponer de información sobre su magnitud y composición. En circunstancias en las que la información no pueda obtenerse por otros medios, pueden realizarse medidas en el penacho utilizando un avión o helicóptero. Durante el

paso del penacho por una zona concreta, es fundamental determinar la tasa de dosis y la concentración de isótopos radiactivos en el aire.

Poco después de producirse la deposición de las partículas radiactivas, debe determinarse su distribución en la zona afectada con el fin de poder decidir las futuras medidas de protección que puedan ser necesarias.

En la fase posterior de la emergencia, las determinaciones de la posible contaminación de la población, alimentos, edificios, etc, tendrán la máxima importancia.

Todas estas medidas y determinaciones son parte de la vigilancia radiológica ambiental. Toda la instrumentación necesaria para llevar a cabo los análisis es comercial. Con esta introducción a la vigilancia radiológica se pretende proporcionar los conocimientos básicos sobre la instrumentación necesaria y una descripción general de las técnicas aplicadas. No se profundiza en detalles técnicos, ya que el objetivo es definir los requisitos y características de los diferentes sistemas de medida.

5.2.2. TÉCNICAS DE LA VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL. REQUISITOS DE SENSIBILIDAD

Vigilancia Radiológica Ambiental. Determinación de la tasa de dosis

La medida de tasa de dosis se lleva a cabo mediante los llamados detectores de radiación. Estos equipos miden la tasa de exposición que existe en su entorno, pueden ser fijos o portátiles y ser sensibles a la radiación beta y/o gamma.

Los detectores de radiación están basados en la medida del pulso o corriente eléctrica amplificado, producido como consecuencia de la ionización inducida por la radiación en gases confinados o en detectores sólidos.

Los equipos de medida de tasa de dosis más comúnmente utilizados son las cámaras de ionización, contadores Geiger-Müller y contadores de centelleo.

Los **contadores Geiger-Müller** (GM) son los equipos más utilizados, dado que son baratos, tienen una alta sensibilidad y son muy resistentes. Las **cámaras de ionización** son más sensibles, pero en determinaciones en campo pueden ser afectados por las condiciones meteorológicas, como la humedad, y además pueden sufrir fugas. Otra desventaja de las cámaras de ionización es su precio frente a los contadores GM. Los **contadores de centelleo** tienen muy buena sensibilidad, además, algunos pueden utilizarse como espectrómetros. Todos estos detectores pueden usarse como equipos portátiles o pueden estar formando parte de alguna red fija de vigilancia.

Los monitores fijos deben estar situados en puntos apropiados fuera del emplazamiento, suelen hallarse permanentemente en condiciones de operación y proporcionan una señal de alarma acústica o luminosa cuando el nivel de radiación excede un valor prefijado.

Debido a que la tasa de dosis ambiental normal (fondo radiactivo), debida a la radiación natural de fondo, varía entre 0,05 - 0,2 µSv/h, se requiere que los detectores de radiación tengan una sensibilidad mínima de aproximadamente ± 0,01 µSv/h.

Vigilancia Radiológica Ambiental. Determinación de radiactividad en aire.

Para el control de las sustancias radiactivas presentes en la atmósfera se utilizan equipos para el muestreo de partículas y distintos métodos para la fijación de elementos gaseosos.

Las partículas radiactivas habitualmente se muestrean mediante filtros, aunque pueden también utilizarse otros métodos, como por ejemplo, impactadores. La fijación de sustancias gaseosas se puede hacer con filtros de carbón activo o con cartuchos de intercambio iónico. Los filtros y los cartuchos se analizan posteriormente, por ejemplo, mediante espectrometría gamma.

En vigilancia radiológica ambiental se tiende a utilizar captadores de volumen bajo (30 lpm), medio (100 lpm) o alto (8.000 -16.000 lpm), siendo los límites de detección proporcionales al volumen de aire muestreado. En estos captadores de alto volumen se suelen utilizar filtros de celulosa, fibra de vidrio o polipropileno. Las partículas se adhieren a las fibras del filtro cuando entran en contacto con ellas, incluso a pesar de que la distancia entre las fibras sea superior al diámetro de las partículas. El contacto se produce debido a diversas interacciones dinámicas, como por ejemplo impactos y movimiento browniano. La importancia de una u otra forma de contacto depende principalmente del tamaño de la partícula, del caudal de aire y de las propiedades del filtro. La eficacia de la filtración aumentará con la densidad de fibras por unidad de volumen que haya en el filtro. Cuanto mayor sea el volumen de aire total muestreado, más baja será la actividad mínima detectable, aunque esta relación es no lineal. Para obtener grandes caudales de aire se requieren bombas de varios kW de potencia y que la resistencia que presenta el filtro al flujo de aire sea pequeña. Cuando se utilizan grandes volúmenes de muestra de aire y espectrómetros gamma eficientes, las actividades mínimas detectables más habituales son del orden de 1 µBq/m^3. Este límite de detección es extremadamente bajo, por lo que en situaciones de emergencia en las que ya se haya liberado material radiactivo al exterior, se pueden utilizar muestreadores mucho más pequeños.

En el muestreo de gases, los radiodiodos y los gases nobles se pueden capturar en los pequeños orificios que presenta el carbón activo. Los gases nobles pueden ser fijados mediante una trampa fría de este carbón activo para su posterior análisis. El caudal de aire que pasa a través de los cartuchos de carbón es mucho menor que el que pasa a través de filtros de fibra de vidrio, por presentar mayor resistencia al flujo de aire. Para los filtros de carbón activo la actividad mínima detectable es del orden de 0,1 - 1 mBq/m^3.

Caracterización de la contaminación radiactiva depositada (determinaciones en campo)

En una situación de emergencia puede ser necesario disponer de unidades móviles para hacer un estudio de campo de la contaminación radiactiva depositada en

zonas fuertemente contaminadas. También pueden utilizarse como apoyo y asesoramiento para la toma de decisiones. Estas unidades pueden ser vehículos *todoterreno*, helicópteros o aviones.

Las unidades *todoterreno* pueden estar equipadas únicamente con un detector de radiación o incluso incorporar un laboratorio móvil. Estos tipos de unidad móvil pueden incluir, además de los equipos portátiles para la medida de tasa de dosis o para la detección de una posible acumulación de iodo en el tiroides, muestreadores portátiles de aire y equipos de espectrometría gamma. También deben estar dotados de un teléfono y/o una conexión de datos para poder establecer comunicación con el Centro de emergencia (en la central, Salem o CECOP de la emergencia y realizar la transmisión de los datos obtenidos. Pueden incorporar también un sistema de posicionamiento vía satélite, de modo que su movimiento y los datos obtenidos asociados puedan representarse en tiempo real en el CECOP.

La vigilancia radiológica aérea puede ser utilizada para obtener un rápido mapa radiológico de la contaminación en grandes áreas (y en la búsqueda, localización e identificación de fuentes de radiación perdidas o desaparecidas). Un detector colocado en un avión o en un helicóptero que vuele a una altura de 30-200 m del suelo puede detectar los fotones gamma emitidos por sustancias radiactivas que estén sobre el terreno. Para llevar a cabo la vigilancia radiológica desde el aire se necesita el equipo siguiente:

- Detector (NaI o HPGe –de alta gama–) y accesorios electrónicos
- Sistemas de navegación (GPS u otros)
- Uno o más PC´s(se requiere software especial para la obtención, el análisis y la representación de los resultados obtenidos)
- Altímetro, sensores de temperatura y presión, necesarios para realizar medidas precisas.

Si el material depositado tiene una alta actividad y contiene muchos nucleidos diferentes (por ejemplo si la contaminación proviene de un accidente producido en una central nuclear), lo más útil es utilizar un detector HPGe de alta resolución. Puede cartografiarse la distribución de la contaminación radiactiva con una malla de 1 ó más Km. entre líneas, por lo que se pueden explorar grandes áreas en un corto período de tiempo.

En el caso de que se esté buscando una fuente perdida, es preferible utilizar un detector de alta eficiencia de NaI. Una fuente sin blindaje de Cs137 de 1850 MBq puede detectarse por un HPGe (eficacia relativa del 30%) a 50 metros de distancia. Sin embargo, con un detector de NaI disminuimos 10 veces los límites de detección. Para realizar la búsqueda de una fuente radiactiva desde el aire, la distancia entre las líneas de vuelo debe ser de 100 metros o menos.

Instrumentación de laboratorio

Para obtener una visión completa sobre la situación radiológica exterior durante y después de un accidente nuclear, las diferentes muestras que se hayan recogido deben ser analizadas con los equipos de laboratorio. El objetivo de estas

determinaciones es identificar y conocer la actividad de los diferentes radionucleidos presentes en las muestras.

La mayoría de los principales radionucleidos emitidos en una emergencia nuclear pueden medirse con un espectrómetro gamma de alta resolución, pero hay algunos que sólo pueden ser identificados con espectrómetros alfa o contadores beta.

Un espectrómetro gamma típico contiene un detector de germanio dotado de un blindaje de plomo, una electrónica para la amplificación y el tratamiento de la señal y de los impulsos eléctricos, un analizador multicanal y programas informáticos para el análisis del espectro. Un espectrómetro gamma es un instrumento de medida muy eficaz en una situación de emergencia, ya que normalmente las muestras no necesitan ningún tratamiento especial previo. El único requisito es que dichas muestras se deben medir en recipientes iguales (igual geometría) a los que se utilizaron para su calibración. Una geometría típicamente utilizada es la Marinelli. Con una sola medida pueden determinarse todos los emisores gamma. El tiempo de medida depende de la actividad contenida en la muestra y de la eficiencia del detector. Para el análisis rápido y fiable de los espectros obtenidos es necesario disponer de programas informáticos sofisticados.

Los radionucleidos que solo emiten radiación alfa (por ejemplo el Plutonio y el Americio) o radiación beta (Estroncio, Tritio, Carbono14) pueden medirse con espectrómetros alfa o contadores beta. En estos casos se requiere la separación de los radionucleidos mediante el pretratamiento radioquímico de las muestras. Dado el bajo alcance de las partículas alfa es necesario medir éstas con detectores que operan en vacío, además de someter a las matrices analizadas a un intenso trabajo radioquímico de separación, aislamiento y preparación en forma de depósitos muy finos de los radioelementos considerados.

Los radionucleidos emisores beta pueden medirse con un contador beta de bajo fondo o con un contador de centelleo líquido. Existen contadores de centelleo líquido que también pueden discriminar pulsos alfa y beta y por lo tanto espectros alfa y beta separados.

Vigilancia radiológica de la población

La vigilancia radiológica de la población consiste en realizar medidas del radioiodo que pueda haberse fijado en la glándula tiroides y en llevar a cabo contajes de cuerpo entero. El seguimiento del estado del tiroides puede realizarse con detectores de radiación portátiles calibrados para este fin. Para una medida lo suficientemente rápida se requiere una sensibilidad de alrededor de 1 kBq de I-131.

En una situación de emergencia, la demanda de estas medidas puede ser grande y la capacidad de medida debe estar distribuida en todo el país. Objetivo especial del seguimiento del estado de la glándula tiroides son los niños, debido a su mayor grado de sensibilidad al cáncer de tiroides inducido por la radiación. Los hospitales, donde hay disponible personal profesional para esta determinación, son los lugares donde se podría llevar a cabo la vigilancia de la tiroides. La calibración de los equipos de medida debe estar centralizada por razones de garantía de la calidad.

Los sistemas de contaje de cuerpo entero, contienen uno o más contadores de centelleo o detectores de germanio de radiación gamma para escanear longitudinalmente el cuerpo o para su vigilancia en posición sentada. En el análisis, se puede estimar de manera aproximada la distribución de los radionucleidos en el cuerpo. Estos sistemas pueden encontrarse tanto en laboratorios fijos como en unidades móviles. Se necesita un blindaje pesado contra la radiación externa y los equipos son relativamente costosos y requieren personal cualificado.

Requisitos de diseño para laboratorios

Las instalaciones para la determinación de actividad en muestras ambientales y en personas deben estar bien protegidos contra la radiación natural de fondo y de otras fuentes de radiación externa puesto que, en condiciones normales, los radionucleidos a medir se presentan en concentraciones extremadamente bajas.

En una situación de emergencia, el blindaje es necesario para contrarrestar el aumento de la tasa de dosis exterior. Los laboratorios de medida también deberán equiparse con sistemas eficientes de filtración de aire para evitar la contaminación de los instrumentos de medida y para garantizar la fiabilidad de los resultados medidos. Se debe prestar especial atención a la filtración de isótopos de iodo en situación de emergencia, ya que normalmente los filtros no son eficaces para fijar el iodo en suspensión y se necesitarán filtros de carbón activo.

Para evitar la contaminación de los laboratorios en una situación de emergencia donde se haya producido la contaminación del medio ambiente, se necesitan dispositivos especiales para la recepción, almacenamiento y manipulación de las muestras contaminadas, y para la entrada de personas. La descontaminación de las personas debe estar prevista y organizada antes de que se produzca su entrada a los laboratorios.

5.2.3. REDES DE VIGILANCIA E INTERCAMBIO AUTOMÁTICO DE DATOS.

Con el fin de **evaluar** la situación radiológica durante una situación de emergencia, **vigilar** de cerca los niveles de radiación y **ayudar** en el proceso de toma de decisiones, los datos registrados en las estaciones de medida que existen en todo el territorio nacional deben ser transmitidos automáticamente a los centros regionales que reúnen y procesan la información y de ahí a los centros de decisión nacionales o superiores.

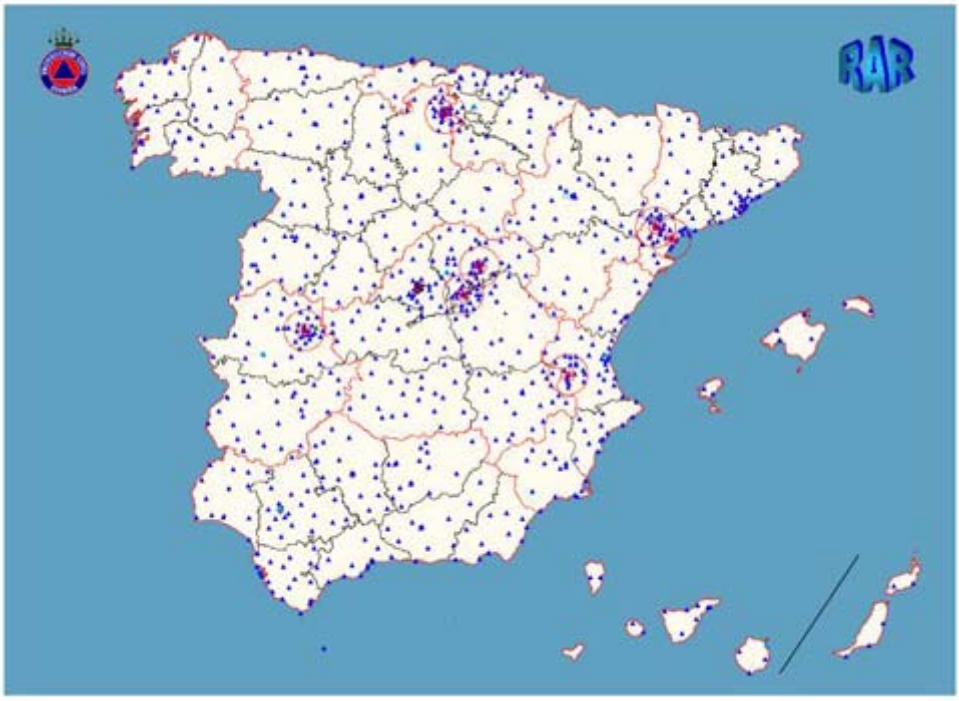
En España, por ejemplo, la **red de la alerta de la radiactividad (RAR)** es un sistema que permite conocer en 902 puntos distribuidos en toda España y en tiempo real, la medida de la radiación gamma y su tendencia.

La RAR está estructurada en un centro nacional, situado en la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, once centros regionales con carácter ejecutivo, es decir que son capaces de actuar sobre todas las estaciones pertenecientes a su zona y de tomar el control de otra zona previo encargo del centro nacional o caída de éste, y los centros asociados o de consulta, que saben qué está pasando y cómo evolucionan los diferentes procesos. Estos centros asociados están localizados en el

Ministerio de Defensa, el Consejo de Seguridad Nuclear y algunas Delegaciones de Gobierno.

La RAR, como sistema básico de obtención de datos, forma parte de los sistemas relacionados con los Planes de Emergencia Nuclear, ya que proporcionaría de manera inmediata información sobre la situación radiológica de la zona en caso de un accidente.

MAPA DE LA RED DE ALERTA A LA RADIACTIVIDAD (RAR)



Está compuesta por:

a) 902 estaciones de medición de radiación gamma repartidas en cuadrículas de 50 x 50 km, con un mayor número de estaciones por área en zonas con riesgo elevado, tales como la costa o las fronteras, el centro de la ciudad y las instalaciones nucleares.

b) 10 centros de procesado de información, que envían la información a la Dirección General de Protección Civil en Madrid.

Otros ejemplos de redes de intercambio automático de datos en España son:

Red de Estaciones Automáticas (REA)

Esta red está integrada por 25 estaciones automáticas que disponen de instrumentación para medir en continuo variables radiológicas (tasa de dosis gamma, concentración de radón, radioiodos, emisores alfa y beta en aire) y variables

meteorológicas (temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, precipitación y presión atmosférica).

La recepción, gestión y análisis de los datos se hace desde la Salem en el CSN. Desde aquí se tiene acceso también a los datos de las redes de las comunidades autónomas de Valencia, Cataluña, Extremadura y País Vasco.

Red de Estaciones de Muestreo (REM)

A diferencia de la REA, en la red de estaciones de muestreo la vigilancia se realiza mediante la toma de muestras y su posterior análisis radiológico, de manera similar a como se desarrolla en los Planes de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA), pero se diferencia de éstos en el hecho de que la vigilancia (muestreo y análisis) la realiza el CSN con la colaboración de un conjunto de laboratorios e instituciones españolas.

Se compone de dos tipos de redes complementarias: la red densa compuesta por numerosos puntos distribuidos por todo el territorio, y la red espaciada en la que se realizan medidas de muy alta sensibilidad en muy pocos puntos. El CSN informa regularmente a la Comisión de la Unión Europea de los resultados de ambos programas.

En ambas redes, tanto en la densa como en la espaciada, se realizan medidas pertenecientes a dos tipos de programas:

- El programa de vigilancia de la atmósfera y del medio terrestre cuyo objetivo es realizar medidas de radiactividad en suelos, aire, agua potable, leche y dieta tipo. El CSN puso en marcha este sistema mediante acuerdos de colaboración con 20 universidades y organismos de investigación repartidos por el territorio nacional.

- El programa de vigilancia del medio acuático continental y costero, cuyo objetivo es la vigilancia de la calidad radiológica de las aguas fluviales de las distintas cuencas hidrográficas, así como del agua de mar en diferentes puntos del litoral. Este programa es llevado a cabo por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Cedex) en colaboración con el CSN.

A escala europea, los ejemplos de redes automáticas de intercambio de datos son:

Plataforma Radiológica Europea de intercambio de datos (EURDEP)

La Plataforma Radiológica Europea de intercambio de datos (EURDEP) es un sistema de intercambio de información radiológica que permite acceder a los datos medidos por las estaciones automáticas de vigilancia de todos los pases participantes. Incluye la medida de tasa de dosis gamma y de algunos tipos de muestra. El objetivo principal de la plataforma no es sólo el intercambio de información sino unir dicho sistema de información con un sistema de apoyo a la toma de decisiones por parte de la Comisión Europea.

La participación de los Estados miembros de la UE se deriva de la Decisión del Consejo 87/600 y de la Recomendación 2000/473/Euratom. La participación de países

europeos no comunitarios es de carácter voluntario. Además, existe el acuerdo de caballeros de que los miembros del EURDEP acelerarán la entrega de datos en caso de una emergencia.
EURDEP es a la vez un formato estándar para la recogida de los datos radiológicos y una red para el intercambio automático de datos de vigilancia radiológica ambiental. La última versión del formato es la 2.0 y está en uso desde el comienzo del año 2002. La red EURDEP es utilizada en la actualidad por 29 países europeos para el intercambio continuo de los datos de sus redes nacionales de vigilancia radiológica. Durante la vigilancia de rutina los datos se cargan por parte de las organizaciones participantes al menos una vez al día. Durante una emergencia los datos deben cargarse en el sistema al menos una vez cada 2 horas. En la práctica, cada vez más organizaciones ponen a disposición del sistema sus datos cada hora, tanto durante la vigilancia radiológica ambiental de rutina como durante una situación de emergencia.

España remite diariamente a EURDEP datos de sus estaciones automáticas REA y de las redes de las comunidades autónomas.

Base de datos Europea de Vigilancia Radiológica Ambiental (REM)

Esta base de datos europea contiene los resultados de las medidas de radiactividad de muestras ambientales que muchos países europeos llevan a cabo desde el accidente de Chernobyl. Como en el caso de España, donde la red se identifica con las mismas siglas (REM), la vigilancia de los distintos países incluye la recogida y análisis de muestras de aire, deposición, agua y alimentos, y se estructura en dos tipos de redes (densa y espaciada).

Actualmente la base de datos contiene más de 4.600.000 registros, que son remitidos periódicamente por los estados miembros.

5.2.4. BIBLIOGRAFÍA

1. Project PH REG 06.4/97: Training on Off-Site Emergency Management in Central Eastern Europe Course Training Material
2. www.csn.es
3. http://eurdep.jrc.it