

# Capítulo 1

## Introducción

Desde el descubrimiento de las radiaciones ionizantes y su origen natural y artificial, se ha realizado un gran número de estudios con la finalidad de cuantificar las diversas fuentes, y determinar sus características e interacción con la biosfera. Varios autores se dedicaron a aportar información referente a la distribución de las fuentes de radiación de origen natural y a caracterizar los campos de radiación generados por éstas, analizando las variaciones temporales en función de las condiciones meteorológicas y geográficas. A la presencia de radiaciones de origen natural se han ido incorporando diversos contaminantes radiactivos derivados del uso militar y pacífico de la energía nuclear, y otras actividades tecnológicas del ser humano relacionadas con sustancias radiactivas.

Inicialmente el control radiológico ambiental estaba muy localizado a las áreas de influencia de las potenciales fuentes radiactivas. Las escasas estaciones existentes se dedicaban principalmente al análisis local de los fenómenos relacionados con los campos de radiación ionizante ambiental.

En Europa, el interés por la vigilancia radiológica ambiental se materializó con la firma, el día 25 de marzo del año 1957, del Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM). En este tratado se establece que los diversos países miembros (actualmente 15) deben desarrollar sistemas de vigilancia radiológica ambiental para garantizar la seguridad y protección radiológica de la población. Para hacer frente a estos requisitos diversos países crearon redes de vigilancia radiológica de ámbito nacional compuestas por estaciones de medida de variables radiológicas y meteorológicas, encargadas de realizar el seguimiento de los niveles de radiación ambiental del aire, agua y suelo, con el fin de detectar incrementos del fondo debido a causas no naturales. Además, a raíz del accidente de la central nuclear de Chernobyl en el año 1986, se comprobó que el área de influencia de una emisión radiactiva accidental puntual podía abarcar una zona muy extensa con independencia de los límites fronterizos nacionales. Este hecho obligó a revisar los planes de vigilancia de la mayoría de países que disponían de instalaciones nucleares o también de aquellos países que se encontraban dentro del área de influencia radiológica aún sin disponer de dichas instalaciones. Esta revisión hizo salir a la luz la necesidad de disponer de redes de vigilancia radiológica capaces de cubrir grandes áreas de terreno.

A lo largo de la vida de EURATOM se han producido diversas modificaciones en la normativa referente a los programas de vigilancia ambiental de acuerdo con la experiencia adquirida por los diversos Estados miembros. Una iniciativa importante de EURATOM ha sido la creación de dos tipos de redes de vigilancia radiológica de ámbito europeo denominadas: *red de vigilancia densa* y *red de vigilancia espaciada*. La red de vigilancia densa consiste en un conjunto de puntos de muestreo distribuidos por todo el territorio de los Estados miembros de EURATOM que permiten calcular el valor medio regional de radiactividad. Por lo que respecta a la red de vigilancia espaciada está formada por algunas de las estaciones pertenecientes a la red densa, en las que se obtienen medidas con una gran sensibilidad para permitir realizar un seguimiento de los niveles de radiactividad y sus tendencias.

Por lo que respecta a España, antes de la entrada en la Unión Europea (enero de 1986), la vigilancia radiológica ambiental en España estaba esencialmente centrada en los emplazamientos de las instalaciones nucleares y su entorno, a ciertas instalaciones del CIEMAT y a otros (pocos) emplazamientos surgidos como fruto de iniciativas puntuales, como por ejemplo de el Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politécnica de Cataluña. Con la

incorporación de España en la Unión Europea y por ende a EURATOM y además a raíz del accidente en la central nuclear de Chernobyl ocurrido el 26 de abril del año 1986, se hizo patente las insuficiencias de los sistemas de vigilancia que garantizaran la seguridad y protección radiológica de la población frente a incrementos de los campos de radiación ionizante ambiental.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, surgió la necesidad de crear una red de vigilancia radiológica a nivel estatal para cumplir con los requisitos del Tratado de EURATOM y de esta forma monitorizar la dispersión de contaminantes radiactivos en la atmósfera y su influencia en la tasa de dosis ambiental. Diversos organismos de ámbito público se organizaron para crear dichas redes de vigilancia. Por un lado el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) creó la red REVIRA (REd de VIGilancia RAdiativa) que está integrada por una red de estaciones automáticas (REA) donde se miden tanto variables radiológicas como meteorológicas, y una red de estaciones de muestreo (REM) con la que se realiza la caracterización radiológica de la atmósfera, medio terrestre, ríos y costas mediante la toma de muestras. Dadas sus características, las estaciones REM y REA han pasado a formar parte de la red de vigilancia densa establecida por EURATOM. Además España también se incluye en el programa de desarrollo y explotación de la red de vigilancia espaciada.

La Dirección General de Protección Civil también creó una red de vigilancia denominada red RAR (Red de Alerta de Radiactividad) que cuenta con más de 900 estaciones repartidas por todo el territorio español, destinadas a la medida de la radiación gamma ambiental. Por lo que se refiere a las comunidades autónomas, Cataluña en un principio, y otras autonomías con posterioridad también crearon su propia red de vigilancia de la radiactividad ambiental. Por lo que se refiere a Cataluña, la red creada por el *Servei de Coordinació d'Activitats Radiològiques* (SCAR) se encarga de la vigilancia de los campos de radiación ionizante ambiental mediante sondas para la medida de la tasa de dosis ambiental y sensores para la medida de la concentración ambiental de radionucleidos de origen artificial emisores de radiación alfa y beta.

Aparte de los organismos de carácter público, otras iniciativas puntuales han dedicado y dedican esfuerzos humanos y económicos para la instalación, puesta a punto y explotación de estaciones de vigilancia de la radiación ambiental. Una de estas iniciativas fue llevada a cabo por el *Institut de Tècniques Energètiques* (INTE) de la *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC). Mediante el empleo de recursos económicos propios y después de un periodo de diseño y construcción, en el mes de marzo del año 1994 el INTE puso en funcionamiento el laboratorio ESCRA destinado a la vigilancia, control y estudio de los campos de radiación ionizante ambiental. El laboratorio está ubicado en el Campus Nord de la UPC y dispone de una estación para la medida de diversas variables meteorológicas y radiológicas ambientales. A lo largo de su periodo de operación ha estado funcionando ininterrumpidamente hasta la fecha de elaboración de esta tesis. La explotación de los datos registrados ha permitido realizar un seguimiento de las condiciones radiológicas y meteorológicas en el Campus Nord de la UPC. Además, el análisis de la información registrada ha contribuido a la caracterización radiológica de la zona donde se encuentra ubicada la estación.

Uno de los principales retos que se plantean durante la explotación de los datos registrados por las estaciones anteriormente mencionadas y similares consiste en la discriminación de fenómenos artificiales frente a los naturales cuando se producen incrementos de la radiación

ambiental. En ausencia de emisiones radiactivas de origen artificial, la radiación ambiental de origen natural sufre fluctuaciones significativas que en ocasiones puede llegar a duplicar los niveles mínimos frente a los máximos. Estas oscilaciones, que son debidas principalmente a causas naturales dependientes de las características del emplazamiento, en ciertas ocasiones pueden inducir a la confusión al considerarlas de origen artificial. Para evitar este problema es de vital importancia tener caracterizados los fenómenos responsables de la variación temporal de la radiación natural y artificial en cada estación.

En general, las oscilaciones de la radiación ambiental de origen natural son debidas a diversas causas entre las que podemos citar a los agentes meteorológicos y a fenómenos extraterrestres debidos, por ejemplo, a erupciones solares que incrementan la radiación cósmica que llega a la Tierra. En lo que se refiere a los fenómenos meteorológicos, varios agentes contribuyen a la variación de la radiación ambiental natural: el viento que en función de su dirección y velocidad puede transportar radionucleidos de origen natural (por ejemplo radón y sus descendientes) y distribuirlos en zonas alejadas de las fuentes de emisión; la lluvia que puede depositar radionucleidos radiactivos naturales en el terreno, que en función de su naturaleza pueden contribuir al incremento de la tasa de dosis ambiental; la presión atmosférica que reduce o incrementa el espesor másico de la atmósfera alterando por lo tanto la fluencia de partículas ionizantes de origen cósmico que llegan a la superficie terrestre; la radiación solar que favorece la aparición de fenómenos locales como la emanación de radón del suelo o que contribuye a la inestabilidad atmosférica; y otros fenómenos meteorológicos que afectan de forma directa o indirecta a la presencia de radiación ionizante ambiental.

Mediante la realización de este trabajo se pretende aportar la información necesaria para mejorar el conocimiento de los campos de radiación ionizante ambiental de origen natural y contribuir así a una mejor gestión de las estaciones de vigilancia radiológica ambiental. Se hace especial énfasis en las variaciones de tasa de dosis ambiental y su relación con diversas variables meteorológicas tales como la presión atmosférica, la concentración de radón en el aire y en la lluvia. Por otro lado, también se aportan las técnicas necesarias para determinar los factores de dosis que relacionan la concentración de radionucleidos de origen artificial depositados (por la acción de la lluvia) en el terreno que rodea la estación ESCRA, con la tasa de dosis medida en cualquier posición de la torre de meteorológica de la estación.

La realización de esta tesis ha implicado la elaboración de modelos teóricos que reproduzcan los fenómenos observados, la obtención de medidas experimentales para validar los modelos presentados, y el análisis de los datos registrados para obtener los resultados. Las principales dificultades surgidas han sido debidas a la obtención de largas series de resultados experimentales. Por un lado, dado el carácter impredecible de las condiciones atmosféricas, la duración del periodo de obtención de datos ha sido muy extenso abarcando un total de 5 años, desde el año 1995 hasta finales del año 1999. Esta variabilidad de los fenómenos meteorológicos ha sido uno de los principales escollos surgidos al intentar modelizar los incrementos de dosis durante los episodios de lluvia, ya que la obtención de resultados ha estado supeditada a la frecuencia de la precipitación en la estación ESCRA.

Por otro lado, se ha tenido que hacer frente a problemas de campo en el funcionamiento de algunos de los equipos de medida: averías de las sondas de medida de la tasa de dosis gamma, interrupciones en el suministro eléctrico de la estación durante periodos superiores a su autonomía eléctrica, etc. Estos problemas han implicado la pérdida de información

importante, como por ejemplo la pérdida de datos durante alguno de los escasos episodios de lluvia ocurridos durante el año 1999 en la estación ESCRA.

Para exponer los resultados y conclusiones obtenidos, se ha elaborado esta tesis que se divide en un total de 6 capítulos y dos apéndices. Cada capítulo consta de varias secciones que, de forma abreviada y a modo de resumen, se describen a continuación.

El capítulo 2 consiste en una recopilación de información sobre los campos de las radiaciones ionizantes de origen natural. Se divide en dos apartados, por un lado se describen de forma detallada las principales fuentes de radiación ionizante ambiental de origen natural y se enumeran las fuentes de origen artificial, junto con los factores que influyen en la medida de la tasa de dosis ambiental. Por otro lado, se describen los dispositivos empleados en la medida de la radiación ambiental, haciendo especial mención a los sistemas de medida de la tasa de dosis ambiental y de la concentración de radón.

El capítulo 3 incluye la descripción del emplazamiento empleado para la realización de las medidas experimentales (estación ESCRA) y de los dispositivos utilizados para la medida de las variables meteorológicas y radiológicas, así como también el método seguido para el tratamiento y acondicionamiento de datos experimentales. Se ha destinado una sección entera para describir el equipo SARAC que se ha implementado para la medida de la concentración de descendientes del radón, emisores de radiación gamma, presentes en el agua de lluvia. Se ha dado especial énfasis a la descripción de este dispositivo, debido a que ha sido desarrollado íntegramente en el marco de esta tesis y los datos aportados han sido de especial ayuda para mejorar el conocimiento de la tasa de dosis ambiental durante episodios de lluvia.

El capítulo 4 se ha destinado íntegramente a exponer los métodos empleados para la simulación Monte Carlo (MC) del transporte de la radiación gamma, describir los escenarios simulados y presentar los resultados obtenidos. Por un lado se ha simulado numéricamente el emplazamiento donde se ubican las sondas de medida de la radiación ambiental con el fin de calcular el factor de dosis del emplazamiento para diversos puntos de medida, y por otro lado, se han empleado las técnicas de MC para el diseño de uno de los componentes del equipo SARAC.

El capítulo 5 está destinado a la exposición de los resultados obtenidos en el desarrollo de esta tesis. La primera parte consiste en el análisis meteorológico y radiológico del emplazamiento de medida. Con ello se pretende caracterizar el emplazamiento, exponiendo los valores medios de las variables meteorológicas y radiológicas medidas. Las variables radiológicas incluyen la tasa de dosis ambiental obtenida con las sondas disponibles y la tasa de dosis medida con los sistemas de dosimetría pasiva. La segunda parte del capítulo consiste en el análisis de los datos expuestos en la primera parte. Se ha analizado la variación de la concentración del radón ambiental en función de la dirección y velocidad del viento, y en función de los periodos diurnos, nocturnos, y estacionales. También se han analizado los resultados obtenidos con el equipo SARAC que consisten en la medida de la concentración de descendientes del radón durante los episodios de lluvia. Por último, se ha modelizado la evolución de la tasa de dosis ambiental durante episodios en ausencia de lluvia y episodios en presencia de lluvia.

El capítulo 6 (y último) está destinado a exponer las conclusiones que se extraen de los resultados obtenidos durante la realización de esta tesis.

También se han incluido dos apéndices que contienen por un lado los gráficos de las medidas realizadas con el equipo SARAC, y por otro, los gráficos donde se compara la tasa de dosis modelizada en periodos secos con la tasa de dosis medida.