

RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



RADIOACTIVIDAD NATURAL



- ▲ *Plan de actuación del CSN para el control de la exposición a las fuentes naturales de radiación*
- ▲ *El gas Radón como contaminante atmosférico*
- ▲ *Evaluación radiológica ocupacional y distribución de radionucleidos en una planta de ácido fosfórico*
- ▲ *Materiales NORM en las centrales térmicas de carbón*

RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Directora

Paloma Marchena

Coordinadora

Beatriz Robles

Comité de Redacción

Borja Bravo

Cristina Garrido

Rosa Gilarranz

José Gutiérrez

Olvido Guzmán

Carlos Huerga

Teresa Navarro

Lola Patiño

Matilde Pelegrí

Pedro Ruiz

Celia Torres

Ángeles Trillo

Fernando Usera

Coordinador de la página electrónica

Juan Carlos Mora

Comité Científico

Presidente: José Gutiérrez

David Cancio, Luis Corpas, Felipe Cortés,
Antonio Delgado, Eugenio Gil,

Luciano González, Araceli Hernández,

José Hernández-Armas,

Ignacio Hernando, Rafael Herranz,

Pablo Jiménez, Juan Carlos Lentijo,

Xavier Ortega, Pedro Ortiz, Teresa Ortiz,

Turiano Picazo, Rafael Puchal,

Luis Quindós, Rafael Ruiz Cruces,

Guillermo Sánchez, Eduardo Sollet,

Luis M. Tobajas, Alejandro Ubeda,

Eliseo Vañó.

Realización, Publicidad y Edición:

SENDA EDITORIAL, S.A.

Directora: Matilde Pelegrí

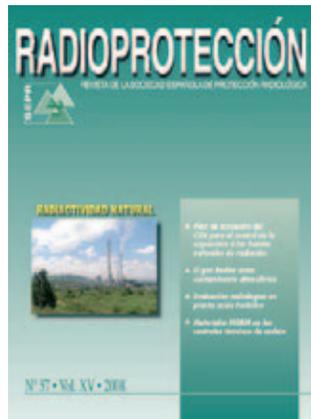
Isla de Saipán, 47 - 28035 Madrid

Tel.: 91 373 47 50 - Fax: 91 316 91 77

Correo electrónico: info@gruposenda.net

Imprime: IMGRAF, S.L.

Depósito Legal: M-17158-1993 ISSN: 1133-1747



EDICIÓN OCTUBRE 2008

S U M A R I O

- Editorial **3**
- Noticias **4**
 - sobre NORM 4
 - de la SEPR 5
 - de España 41
 - del Mundo 42
- Colaboraciones **13**
 - Plan de actuación del CSN para el control de la exposición a las fuentes naturales de radiación 13
J. L. Martín Matarranz, M. García-Talavera, R. Salas y L. M^o Ramos
 - El gas Radón como contaminante atmosférico 20
L. S. Quindós Poncela, C. Sainz Fernández, L. Quindós Lopez, I. Fuente Merino y J. L. Arteché
 - Evaluación radiológica ocupacional y distribución de radionucleidos en una planta de ácido fosfórico 26
J.P. Bolívar y R. García-Tenorio
 - Materiales NORM en las centrales térmicas de carbón 34
A. Baeza, D. Cancio, J.A. Corbacho, J.C. Mora, B. Robles
- Publicaciones **46**
- Convocatorias **49**

La revista de la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA es una publicación técnica y plural que puede coincidir con las opiniones de los que en ella colaboran, aunque no las comparta necesariamente.

Editorial

Se acerca IRPA12 en Buenos Aires, Argentina. Ya han pasado 4 años de aquel IRPA11 que constituyó un éxito en todos los aspectos. Esperamos que aportéis muchas contribuciones científicas para que España esté bien presente en este importante evento científico. También hay que reseñar el gran trabajo al frente del Comité Científico del Prof. Eduardo Gallego, el cual deseamos que sea elegido para formar parte del Comité Ejecutivo de IRPA. Desde la Junta Directiva queremos expresar nuestro total apoyo a esta candidatura.

Por otro lado, comentaros que os llegará dentro de poco las tarjetas identificativas como Socio de la SEPR. Asimismo se os enviarán los Estatutos, el libro del Plan Estratégico 2008-2012, así como un ejemplar de la Publicación ICRP 103 traducida al español, gracias al arduo trabajo de un grupo de trabajo de la SEPR, liderado por David Cancio y de un grupo de la Asociación de Profesionales de la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Actividad Nuclear (APCNEAN), de Argentina. Esperamos que os sea de mucha utilidad como ya lo fue la publicación de ICRP-60 en 1990.

También hay que destacar la puesta en servicio del directorio de empresas de protección radiológica, que se ha colgado de nuestra Web. Agradecemos a Marisa Marco, Carmen Rueda, Beatriz Robles y a SENDA editorial que hayan hecho realidad esta idea que tuvimos hace un par de años y animamos a las empresas de nuestro campo que no este registradas en la misma que lo hagan. Confiamos que este producto sea de utilidad para todos los socios.

Finalmente, también debemos agradecer a David Cancio la coordinación de este número monográfico sobre radiactividad natural, en que aparecen varias contribuciones relevantes, tales como; El Plan de acción sobre radiactividad natural y proyectos piloto en marcha o finalizados por el CSN; El Radón en España (Universidad de Cantabria); Los Fosfatos e industria del titanio (Universidad de Sevilla y

Huelva) y las centrales térmicas de carbón (Universidad de Extremadura/CIEMAT).

Asimismo, en el apartado de noticias podréis ver las diversas reuniones que han tenido lugar así como los proyectos futuros y un pequeño cambio en la fecha de edición de la revista (4 al año): meses de Enero, Abril, Julio y Octubre. Además, dar la enhorabuena a nuestros amigos Agustín Alonso por su distinción a su gran trayectoria profesional, y a Xavier Ortega por su nombramiento de Defensor de la Comunidad Universitaria en la UPC.

Además, queda poco también para otro gran reto: el XII Congreso en Alicante del 2 al 5 de Junio de 2009, junto con la Sociedad Española de Física Médica. Los Comités están trabajando duro para que sea un éxito para ambas sociedades en todos los aspectos.

El próximo número de la revista la Junta Directiva habrá cambiado y algunos miembros nos iremos. Las despedidas son siempre tristes, pero en este caso no lo es.

No hay tristeza sino satisfacción porque la SEPR está en auge como lo avalan los datos: un importante incremento de socios (617), una economía fuerte y saneada, unas vías de desarrollo mediante un importante y ambicioso Plan Estratégico, unas magníficas relaciones con organismos y entidades nacionales y muy buenas relaciones con las Sociedades Internacionales Europeas y Americanas.

Tampoco hay despedida porque siguiendo el símil ciclistico otros tirarán de este pelotón, pero nosotros seguiremos avanzando dentro de él. Seguir por este camino de éxito, continua con el recorrido de nuestros esfuerzos.

GRACIAS POR LA ILUSION Y EL ESFUERZO DE TODOS.
UN FUERTE ABRAZO.

Rafael Ruiz Cruces
Presidente de la SEPR



Secretaría Técnica

Capitán Haya, 60
28020 Madrid
Tel.: 91 749 95 17
Fax: 91 570 89 11
Correo electrónico: secretariasociedades@medynet.com

Junta Directiva

Presidente: Rafael Ruiz Cruces
Vicepresidente: Pío Carmena
Secretaría General: M^o Teresa Macias
Tesorera: Cristina Correa
Vocales: Manuel Alonso, Carmen Álvarez, José M. Fernández Soto, Teresa Navarro, Domingo Sustacha, Ricardo Torres

Comisión de Actividades Científicas

Presidente: Pío Carmena
Secretaría: Isabel Villanueva
Vocales: Josep Baró, Francisco Carreras, Antonio Delgado, Marisa España, Natividad Ferrer, Francisco García Acosta, Fernando González, Margarita Herranz, Paloma Marchena, M^o Luisa Marco, Carmen Rueda, Guillermo Sánchez de León, Alejandro Ubeda, Rosa Villarreal

Comisión de Publicaciones

Presidenta: Teresa Navarro
Secretaría: Paloma Marchena
Vocales: David Cancio, Eduardo Guibaldel, José Gutiérrez, Juan Carlos Mora

Comisión de Asuntos Económicos y Financieros

Presidente: Cristina Correa
Vicepresidente: Pío Carmena
Vocales: Carolina Álvaro, Eduardo Gallego, M^o Jesús Muñoz, M^o Teresa Ortiz, Beatriz Robles

Comisión de Asuntos Institucionales

Presidente: Rafael Ruiz Cruces
Secretario: Pío Carmena
Vocales: Leopoldo Arranz, David Cancio, Pedro Carboneras, Manuel Fernández, José Gutiérrez, Ignacio Hernando, Xavier Ortega, Juan José Peña, Manuel Rodríguez, Eduardo Sollet

Red de Radiación Natural RedRadNa

La RedRadNa es la primera red de investigación o comunidad de investigadores creada en España para ocuparse de los aspectos relacionados con la radiactividad natural. Fue creada en el año 2007 con el objetivo primordial de formar una Red para acciones de intercambio y transferencia de conocimiento sobre la Radiactividad Natural entre Organizaciones de I+D+i y usuarios finales, estructurando y dinamizando dichas acciones tanto a nivel nacional como europeo.

En la Red se integraron desde sus inicios aproximadamente 21 grupos de investigación que suponen al menos el doble de investigadores, miembros de la comunidad científica de España. Sin embargo, la red está abierta a la entrada de todos los organismos que lo soliciten.

En junio de 2007 se celebró en Santander la primera reunión oficial de la RedRadNa. En la primera reunión oficial de la Red, se fijaron los objetivos básicos que esta comunidad tendría. Estos son:

1. Integración en la red de grupos de investigación en el campo de la radiactividad natural.
2. Identificación e integración de potenciales usuarios finales y sus demandas y/o necesidades.
3. Creación de una Base de Datos en relación a I+D+i que incluya aspectos relacionados con Proyectos, Resultados, Metodología e Instrumentación.
4. Desarrollo de una masa crítica de investigadores en el campo para de manera coordinada poder acceder a proyectos de I+D+i tanto a nivel nacional (Plan Nacional) como europeo (Framework Programme for Community Research).
5. Intercambio de experiencia docente e investigadora.
6. Difusión de información y conocimiento sobre la radiactividad natural.

La segunda reunión tendrá lugar en el próximo mes de noviembre en Huelva y en la misma se pretende consolidar este foro nacional de discusión en Radiación Natural que permitiendo a los diferentes grupos de investigación españoles que trabajan en este campo participar en discusiones sobre aspectos de actualidad relevante, proponer

- posibles líneas de investigación, así como
- llevar a cabo una puesta en común de sus últimas investigaciones.

Juan Carlos Mora. CIEMAT

NORM en el Congreso "Radioecology 2008" (Bergen-Noruega)

Se ha celebrado, entre los días 15 y 20 de junio, el congreso "Radioecology & Environmental Radioactivity" en la ciudad de Bergen, en Noruega. Este congreso, de periodicidad trianual, ha englobado en uno solo los congresos anteriormente denominados "ECORAD" e "International Conference on Radioactivity in the Environment".

Entre otros aspectos tratados en el congreso, se programaron dos sesiones completas sobre NORM.

En estas sesiones se realizaron 12 presentaciones orales de 15 minutos y 13 presentaciones de 5 minutos de algunos pósters, además de otros 20 pósters. En estas sesiones hubo aportaciones de 21 países. El total de trabajos presentados al congreso fue de 265, con lo que las sesiones sobre NORM fueron las que tuvieron un mayor número de aportaciones, constituyendo aproximadamente el 17% del congreso.

Las presentaciones orales trataron sobre:

- Acumulación de Pb-210 y Po-210 en mejillones,
- Evaluaciones de dosis realistas en la industria NORM,
- Concepto de los SNBB (bloques de construcción NORM para blindajes),
- Relación de actividad U-234/U-238 y concentración de U como herramienta para el estudio de la contaminación de aguas superficiales de antiguos emplazamientos de minas en Kazajistán y Kirguistán,
- Reutilización, reciclado y almacenamiento de residuos industriales con contenido en NORM,
- Los NORM en la producción de elementos RE,
- Dosis al público debido a las emisiones atmosféricas desde una fábrica de tejas,
- Fondo de radón en Alemania,
- Distribución espaciotemporal de la concentración de Rn en la Rusia continental,

- – Catálogo Europeo de Residuos (EWC) como herramienta para el conocimiento de los TENORM,
- – Evaluación de la dosis de radiación en los alrededores del complejo minero de uranio Jaduguda, India
- – Determinación de Pb-210 en muestras ambientales mediante espectrometría gamma de baja energía.

Otras presentaciones se enfocaron a las medidas reguladoras en sectores como la industria de los fosfatos, la producción de tejas y cerámicas, la prospección petrolífera y sus descargas de agua de procesado al mar así como las minas de uranio abandonadas.

Algunos resultados presentados versaron sobre el comportamiento de algunos radionucleidos importantes de cara a la exposición a las radiaciones. Ese es el caso del radón en interiores, la exhalación de torón por los materiales de construcción, o el comportamiento del Pb-210 y Po-210 en el medio ambiente. Algunos autores presentaron la aplicación de radionucleidos NORM, como el radón en el mar, para la investigación de descargas submarinas. En otros se planteaba el uso de los fosfoyesos como material de construcción o como amenda para suelos, completado con resultados sobre la biodisponibilidad del uranio y radio en los suelos así como la descontaminación con plantas de suelos contaminados.

Destacar además que una española (Nuria Casacuberta de la UAB) recibió uno de los 4 premios otorgados por la organización a jóvenes investigadores (YIA) por su trabajo titulado: "Fluxes of the 238U-Series Isotopes in the Industrial Production of Dicalcium Phosphate and the Radiological Impact due to the Incorporation to Poultry Diets".

Más información en: <http://www.risqueschroniques.com/Radioecology2008> y en <http://radioecology.info/Bergen2008>

Fernando P. Carvalho Miembro del Comité Científico y Juan Carlos Mora CIEMAT

Red Europea ALARA Network for Naturally Occurring Materials (EAN_{NORM})

En 1996, la Comisión Europea (CE) inició la creación de una Red Europea ALARA (EAN)

para especificar la investigación europea sobre asuntos relacionados con la optimización de todos los tipos de exposición ocupacional, así como para facilitar la difusión de buenas prácticas ALARA en todos los sectores de la industria nuclear europea y de la investigación. Hasta ahora el sector NORM no había sido incluido explícitamente en esta red, la ahora recién creada Red Europea de ALARA NORM (acrónimo EAN_{NORM}) desarrollará la interconexión entre grupos de expertos y proporcionará la experiencia de la aplicación del principio ALARA en las industrias no nucleares, siguiendo los objetivos de la Red Europea ALARA. Esta red mantendrá los Códigos de Prácticas para la gestión en las industrias NORM y promoverá la buena práctica de la protección contra las radiaciones. Tiene también como objetivo mejorar y apoyar la capacitación adecuada en protección radiológica, identificando los problemas a resolver y proponiendo solucio-

nes. Además, se formularán propuestas sobre temas de armonización y áreas futuras de trabajos de la CE.

Para cumplir con estos objetivos, se ha establecido una red y una oficina para la promoción racional y coherente de gestión de la protección radiológica en la optimización de la industria no nuclear. Así EAN_{NORM} proporcionará a través de un portal de Internet de soporte en línea, las recomendaciones y directivas de soporte a la toma de decisión y la información científica relativa a temas relacionados con NORM. Además, este portal debe ser un instrumento útil para interconectar los grupos de expertos en protección contra las radiaciones que trabajan en la industria no nuclear, en la salud y en la gestión de la seguridad, en las organizaciones de protección radiológica, en los organismos de investigación, en los organismos reguladores, y en las asociaciones sindicales representativas.

Esta red ha sido promovida por EURATOM quien además la está financiando durante sus dos primeros años de existencia (2007 y 2008). El proyecto fue presentado por vez primera en el congreso NORM V celebrado en Sevilla en marzo de 2007.

Como inicio de sus actividades se organizó en Dresde (Alemania) el primer Workshop de la Red en noviembre de 2007. Al mismo asistieron 83 personas procedentes de la práctica totalidad de los países de la Unión Europea y de otros países que no pertenecen a la Unión. Estos procedían tanto de las autoridades reguladoras como de centros de investigación o de las diferentes industrias consideradas como NORM.

Los profesionales interesados en pertenecer a esta Red pueden inscribirse en www.ean-norm.net.

Beatriz Robles. CIEMAT

NOTICIAS

de la

SEPR



La Junta Directiva informa

La Junta Directiva de la SEPR se reunió el día 23 de junio en el hospital Clínico (Madrid).

En la reunión se aprobaron los siguientes asuntos:

- Incorporación de 4 nuevos socios de número.
- Renovación de los miembros de la Junta Directiva de la SEPR.

El próximo mes de octubre se procederá a la renovación de la mitad de los miembros de la Junta Directiva de la SEPR. Por ello, se han solicitado a los socios, por correo electrónico, propuestas de candidaturas para la sustitución del Vicepresidente, Tesorero y tres vocales. Posteriormente, a finales del mes de agosto, se realizará la difusión de las candidaturas recibidas en la Web de la Sociedad y por email a los socios.

El día 9 de octubre se celebrará la Asamblea General en la que se aprobará la renovación de los miembros de la JD.

- Revisión de los Protocolos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico y Medicina Nuclear.

Para ello se constituirán respectivos grupos de trabajo en los que participaran además de representantes de la SEPR miembros de la SEFM y otras sociedades científicas implicadas en la aplicación de dichos Protocolos.

- Elaboración de un Informe Técnico sobre partículas radiactivas que será difundido en la página Web de la Sociedad.

Los delegados de la SEPR en las actividades de IRPA que tendrán lugar durante el desarrollo del Congreso IRPA 12 en Buenos Aires. La Sociedad estará representada por los miembros de la JD que asistirán al Congreso: D. P. Carmena, Dña. C. Correa, Dña. T. Navarro, y Dña. M.T. Macías, así como por D. E. Gallego (candidato de la SEPR al Executive Board de IRPA) y D. L. Arranz (presidente del Congreso IRPA 11). Los seis delegados asistirán a la AG y a las reuniones de los diferentes Comités de IRPA.

Otros asuntos destacados fueron:

– Página Web de la Sociedad

Con objeto de activar el Foro de socios se creará una nueva sección en la página prin-

cipal de la Web, dentro de la parte central de la misma (NOVEDADES EN LA PÁGINA), donde se mostrarán los tres últimos mensajes publicados en el foro, durante los últimos tres meses, al estilo de noticias, publicaciones, etc. Esta sección será solo visible al acceder como socio.

– Congreso SEFM-SEPR

La información correspondiente a este tema se refleja en otro apartado de la revista.

– COSCE

Representantes de la JD asistieron al Consejo General de la COSCE (Confederación de Sociedades Científicas de España) el pasado mes de junio. De dicha reunión se han derivado, entre otras, las siguientes tareas:

- Publicitar las actividades de la SEPR en la Web de la COSCE para difusión a las sociedades científicas de la Confederación.
- Publicar en la revista RADIOPROTECCIÓN informes técnicos elaborados por la COSCE.
- Poner un link de la COSCE en la Web de la Sociedad.

M^a Teresa Macías

2ª Reunión de la Junta Directiva

La Junta Directiva se reunió en la sede del CIEMAT el 22 de septiembre. En esta reunión se trataron los siguientes asuntos:

- **Comisión de Actividades Científicas:** Presentación y comentarios a las propuestas preliminares de actividades de la SEPR para el año 2009 elaboradas por la Comisión de Actividades Científicas.
- **Comisión de Publicaciones:**
 - Estrategia de distribución de la traducción del ICRP103 a los socios.
 - Administración de archivos históricos en la Web de la SEPR.
 - Decisión de publicitar la propuesta de Objetivos docentes para médicos residentes a los socios para comentarios, vía revista y Web, hasta el 31 de diciembre.
 - Aprobación final del formato del Plan Estratégico y de su distribución a los socios.
 - Estudio de la posibilidad de que la SEPR se suscriba a determinadas revistas internacionales, para ponerlas a disposición de todos los socios vía Web.
- **Comisión Económica:** Ya se han cobrado prácticamente todas las cuotas de socios individuales y colectivos, así como las ayudas de las instituciones colaboradoras con la SEPR.
- **Foro de PR en el Medio Sanitario:** No se ha celebrado ninguna reunión del Foro ni de sus Grupos de trabajo. Se ha enviado al CSN la respuesta de la SEPR al cuestionario enviado por el CSN sobre el tema de protección al paciente.
- **Foro de PR en el Medio Industrial:** No se ha celebrado ninguna reunión del Foro, pero los Grupos siguen trabajando en los temas asignados.
- **Otros temas aprobados:**
 - 8 solicitudes de alta y una baja.
 - Propuesta de nombramiento de representantes de la SEPR para el Grupo de revisión de las Basic Safety Standards de la OIEA (BSS) del OIEA convocado por el CSN.
 - Propuesta de nombramiento de miembros para la elaboración de una publicación técnica sobre partículas radiactivas.
 - Constitución del GT para la revisión Protocolo de Control de Calidad en Radiodiagnóstico y del GT para la revisión Protocolo de Control de Calidad en Medicina Nuclear

- **Próxima reunión:** 11 de noviembre de 2008.

M^a Teresa Maciás

Formación de residentes en protección radiológica

Hace algo más de dos años (en abril de 2006), las Direcciones Generales de Salud Pública y de Recursos Humanos y Servicios Económico-presupuestarios del Ministerio de Sanidad y Consumo emitieron una Resolución conjunta mediante la que se acordaba incorporar formación en protección radiológica en los programas formativos de muchas especialidades médicas. Con ello se transponía a la normativa española determinados requerimientos de la Directiva Europea 97/43/EURATOM, que insta a que los profesionales sanitarios cuyos ámbitos de actuación impliquen la utilización de radiaciones ionizantes, reciban una formación en protección radiológica, tanto en sus estudios básicos, como en la formación especializada que avale una formación teórica y práctica adecuada para que la realización de prácticas radiológicas garantice la protección radiológica del paciente y de los trabajadores expuestos.

En esta Resolución se definen dos niveles de formación, uno denominado **básico**, que afecta a la gran mayoría de las especialidades médicas, prescriptoras de pruebas con radiaciones ionizantes; y otro llamado **avanzado**, dirigido a aquellas especialidades en las que es básico el uso de dichas radiaciones. Los contenidos formativos del nivel básico especificados en esta Resolución, tal y como en ella misma se indica, deben ajustarse a lo previsto en la Guía Europea "Protección Radiológica 116" relativa a las directrices de educación y formación sobre protección radiológica en exposiciones médicas, y para ello la propia Resolución define el contenido de esta formación, como una relación de doce temas.

Desde la Sociedad Española de Protección Radiológica pensamos que los objetivos básicos de esta formación deben ser los mismos para todas las Comunidades y muy enfocados a los **criterios generales de protección radiológica** y a la **protección de los pacientes**. Por este motivo se ha elaborado el documento "Formación de residentes en Protección Radiológica", borrador en su fase actual, para que en el plazo de tres meses a contar desde el 1 de octubre, todos los socios puedan presentar sus comentarios,

objeciones y correcciones al mismo. Con este fin, se ha abierto una línea en el foro de la página Web de la Sociedad, a la que se deberán enviar cuantos comentarios se crean necesarios. Desde estas líneas animamos a todos los socios a que envíen sus anotaciones para que de esta forma el documento resultante sea la expresión colectiva del pensar de nuestra Sociedad Española de Protección Radiológica.

El programa del curso viene definido en la Resolución Ministerial:

- a. Estructura atómica, producción e interacción de la radiación.
 - b. Estructura nuclear y radiactividad.
 - c. Magnitudes y unidades radiológicas.
 - d. Características físicas de los equipos de Rayos X o fuentes radiactivas
 - e. Fundamentos de la detección de la radiación.
 - f. Fundamentos de la radiobiología. Efectos biológicos de la radiación.
 - g. Protección radiológica. Principios generales.
 - h. Control de calidad y garantía de calidad.
 - i. Legislación nacional y normativa europea aplicable al uso de las radiaciones ionizantes.
 - j. Protección radiológica operacional.
 - k. Aspectos de protección radiológica específicos de los pacientes.
 - l. Aspectos de protección radiológica específicos de los trabajadores expuestos.
- A su vez este programa puede subdividirse en cuatro grandes bloques:

BLOQUE 1: RADIACIONES IONIZANTES: FUNDAMENTOS FÍSICOS Y RADIOBIOLÓGICOS DE SUS EFECTOS

Fundamentos físicos

Establecer que la radiación ionizante está formada por partículas que son capaces de ionizar los átomos de la materia que atraviesan.

Entender que esta interacción se produce a nivel atómico o subatómico y que la radiación es penetrante (actúa "casi" en cualquier lugar).

Indicar que esta transferencia de energía de la radiación a la materia produce en esta cambios químicos y bioquímicos, lo que puede dar lugar a cambios biológicos sobre un órgano o sobre el organismo.

Indicar la necesidad de cuantificar tanto la transferencia de energía como los posibles efectos biológicos para poder compararlos. Definir las distintas magnitudes y unidades.

Explicar la detección como resultado de la interacción radiación-materia.

Explicar los distintos usos de la radiación ionizante en las Ciencias de la Salud: diagnóstico por la imagen, intervencionismo guiado por la imagen y técnicas de radioterapia.

Discutir la distinta penetración de estructuras por los rayos X en función de la densidad de los tejidos humanos y la formación de la imagen radiológica.

Explicar la relación entre dosis de radiación y calidad de imagen en la radiología de película-pantalla y en la radiología digital.

Explicar las principales aplicaciones de los radionucleidos en la medicina

Fundamentos radiobiológicos

Exponer que la acción de las radiaciones sobre la célula es siempre de tipo lesivo.

Especificar el significado de interacción probabilística y no selectiva (en el sentido de que puede afectar a cualquier estructura celular).

Exponer que el daño causado por las radiaciones ionizantes no es específico.

Analizar la dependencia de la respuesta de un sistema a la radiación.

Establecer las diferencias entre efectos reversibles e irreversibles, inmediatos y tardíos.

Clasificar los efectos biológicos en estocásticos y deterministas mediante la gravedad, el mecanismo, su naturaleza (somáticos o hereditarios), la existencia de dosis umbral y la latencia.

Analizar los efectos de la radiación sobre el embrión y el feto.

BLOQUE 2: CRITERIOS GENERALES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN APLICABLES.

Explicar cuales son los objetivos de la protección radiológica: prevención de los efectos deterministas y limitación de los efectos estocásticos.

Definir los principios básicos sobre los que se fundamenta el sistema de protección radiológica: justificación, optimización y limitación de dosis.

Explicar que las exposiciones a las radiaciones se clasifican en profesionales (a personal en instalaciones en que se emplean fuentes de radiación), médicas (a pacientes) y exposición al público (que engloba el resto de exposiciones).

Establecer la importancia que tienen los médicos prescriptores de exploraciones radiológicas en la aplicación del principio de justificación.

Explicar la conveniencia de valorar la justificación de cada exploración y sus consecuencias (eliminación exploraciones innecesarias, reducción al máximo de las exploraciones de mayor riesgo, y búsqueda de opciones de menor riesgo para las exploraciones de bajo rendimiento).

Exponer que los límites de dosis sólo se aplican a las exposiciones profesionales y del público, ya que en las exposiciones médicas el objetivo fundamental es obtener un eficaz diagnóstico o un adecuado tratamiento.

Discutir la importancia de los valores de referencia de dosis al paciente. Analizar información cuantitativa de la dosis en distintos tipos de exploraciones.

Introducir la Directiva Europea 97/43/EURATOM que establece la normativa básica europea sobre protección de pacientes y de la cual se deriva la legislación propia de cada país.

Indicar la normativa existente en nuestro país en materia de protección radiológica del paciente en instalaciones médicas: RD 1132/1990 sobre protección radiológica de pacientes en exposiciones médicas; RD 1841/1997 sobre criterios de calidad en medicina nuclear; RD 1976/1999 sobre criterios de calidad en radiodiagnóstico; RD 815/2001 sobre justificación de exposiciones médicas a radiaciones ionizantes.

BLOQUE 3: PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE LOS PACIENTES. ASPECTOS PRÁCTICOS.

Exponer que la principal causa de irradiación de la población por causas artificiales es la debida a las exposiciones médicas.

Indicar que en las exposiciones médicas el beneficio diagnóstico o terapéutico de la exposición lo recibe el propio individuo que se irradia, en contraposición con el resto de aplicaciones en que se utilizan radiaciones ionizantes.

Explicar la necesidad de disponer de una formación adecuada en protección radiológica del paciente cuando se es un médico prescriptor de exploraciones radiológicas, para así evitar un uso innecesario de las radiaciones ionizantes.

Explicar las causas principales de un uso innecesario de las radiaciones ionizantes y cómo evitarlas:

- Repetir pruebas ya realizadas: intentar conseguir por todos los medios posibles los estudios radiológicos previos.

- Pedir pruebas complementarias que seguramente no alterarán la atención del paciente: bien porque los hallazgos positivos que se esperan obtener suelen ser irrelevantes, o por el carácter altamente improbable de un resultado positivo.

- Pedir pruebas con demasiada frecuencia: antes de que haya evolucionado la enfermedad o antes de que los resultados modifiquen el tratamiento.

- Pedir pruebas inadecuadas: debido a la rápida evolución de las técnicas de

diagnóstico por la imagen. Es conveniente consultar el caso con el especialista en radiología o en medicina nuclear antes de pedir las pruebas.

- No dar la información clínica necesaria, o no plantear las cuestiones que las pruebas deben resolver: estas carencias pueden tener como consecuencia la utilización de una técnica inadecuada.

- Exceso de pruebas complementarias.

Analizar la importancia de la experiencia profesional y de una comunicación eficaz entre el médico prescriptor y el especialista (radiólogo o médico nuclear) para realizar el mínimo número de pruebas que utilicen radiaciones ionizantes y que estas sean las más adecuadas en cada caso.

Introducir la necesidad de disponer de directrices o recomendaciones en la remisión de pacientes a los servicios de diagnóstico por la imagen.

Explicar la guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen (PR 118).

Indicar que el objetivo último de este tipo de guías es contribuir a que los médicos que remiten pacientes a especialistas en técnicas de diagnóstico por la imagen hagan el mejor uso posible de los servicios de radiología, y reducir las exposiciones médicas a la radiación.

Indicar el papel que los programas de garantía de calidad de las instalaciones médicas tienen en relación con la protección radiológica de los pacientes.

Introducir los distintos aspectos que forman parte de un programa de garantía de calidad.

El paciente pediátrico

Indicar la importancia crítica de la justificación en exploraciones con radiaciones ionizantes en la infancia y analizar las causas:

- Mayor esperanza de vida
- Mayor radiosensibilidad

El embarazo y la protección del feto

Analizar las opciones ante la necesidad de realizar una exploración a una paciente embarazada

Explicar la conveniencia de situar carteles en salas de espera, para que las pacientes embarazadas adviertan de su circunstancia al personal de la instalación.

Analizar la necesidad de realizar estimaciones individualizadas de dosis al feto cuando se realicen exploraciones a mujeres embarazadas.

Cuantificar el riesgo para el feto, que será pequeño en general en la mayoría de las exploraciones radiológicas y de medicina nuclear.

BLOQUE 4: PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE TRABAJADORES EXPUESTOS A LA RADIACIÓN

Definir lo que es un trabajador expuesto a la radiación.

Exponer los límites de dosis para trabajadores expuestos

Exponer las medidas concretas de protección radiológica a trabajadores expuestos: vigilancia dosimétrica individual y vigilancia médica.

Protección de las trabajadoras gestantes expuestas a radiaciones ionizantes

Indicar los límites de dosis que se aplican al feto durante el embarazo.

Explicar las condiciones de trabajo aceptables para una trabajadora gestante en función de las posibles dosis recibidas y del riesgo de contaminación.

Comité de Redacción

Agustín Alonso, Premio T. J. Thompson de la Sociedad Nuclear Americana en 2008

La Sociedad Nuclear Americana (ANS) ha concedido a nuestro querido colega Agustín Alonso, el Premio Theos J. Thompson correspondiente a 2008, en reconocimiento de sus sobresalientes contribuciones a la Seguridad Nuclear y al servicio de la comunidad nuclear internacional, así como de su labor en la educación y guía de dos generaciones de ingenieros y científicos nucleares en España y en todo el mundo.

Este premio es concedido por la ANS desde 1980, a propuesta de su División de Seguridad de Instalaciones Nucleares, a personas que han tenido un papel importante en el desarrollo de la Seguridad Nuclear. Entre los distinguidos con el Premio están personalidades de todos conocidos, como Norman Rasmussen, autor del WASH-1400, Frank Farmer, impulsor desde el Reino Unido del enfoque probabilista de los estudios de seguridad, Chauncey Starr, bien conocido en España desde los tiempos del reactor DON, Adolf Birkhofer, creador de la seguridad nuclear en Alemania, Annick Carnino, gran impulsora desde el OIEA de la cultura de la seguridad nuclear, Bert Wolfe, buen amigo de España desde la época en que diseñó el núcleo del reactor JEN-1, y otros igualmente notables.

Agustín se ha hecho merecedor del Premio por su larga ejecutoria en el desarrollo del marco reglamentario español desde los tiempos de la antigua Junta de Energía Nuclear, su labor en la Universidad Politécnica de Madrid y en instancias internacionales como el



Agustín Alonso durante la entrega del premio.

OIEA para formar especialistas en Seguridad Nuclear, su participación en el Comité de Seguridad de Instalaciones Nucleares de la NEA, lugar de encuentro de los especialistas de seguridad del mundo occidental, su cargo de Consejero del Consejo de Seguridad Nuclear y su amplia y reconocida labor en los programas internacionales de investigación en materia de Seguridad Nuclear. Es necesario también destacar su participación en INSAG, International Nuclear Safety Group, para el cual ha sido elegido en tres ocasiones sucesivas.

El Prof. Theos J. Thompson, del Massachusetts Institute of Technology, antiguo miembro de la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos y Presidente del Comité Asesor sobre Salvaguardias de Reactores, fue hasta su temprana muerte en 1970 en accidente de aviación impulsor de los estudios y desarrollos sobre seguridad nuclear y autor del libro Tecnología de la Seguridad de los Reactores Nucleares, en dos volúmenes, obra emblemática que reúne una información exhaustiva sobre los esfuerzos y experiencia obtenidas en los múltiples campos tecnológicos que inciden en el funcionamiento seguro de los reactores nucleares.

La Sociedad Española de Protección Radiológica suscribe en su totalidad las razones de la ANS para conferir a Agustín Alonso tan merecida distinción y le felicita efusivamente por este señalado Premio.

Luis Palacios

Traducción al español de las nuevas Recomendaciones 2007 de la ICRP

A finales de 2007, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) editó sus nuevas Recomendaciones, en la publicación ICRP 103. Ya en enero de 2007 la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) solicitó permiso a la ICRP para

que en cuanto las nuevas recomendaciones estuvieran editadas en inglés, se pudieran traducir al español. La Comisión estuvo desde el primer momento a favor del proyecto, si bien instó a la SEPR para que la traducción fuera consensuada entre todos los países de habla hispana.

La Sociedad ya tradujo la Publicación ICRP-60 que contenía las anteriores recomendaciones, publicación que tuvo una gran acogida entre sus socios. La traducción de la Publicación 103, permitirá a todos los profesionales de la protección radiológica de habla hispana disponer de uno de los documentos básicos de PR en su lengua nativa.

El Grupo de trabajo de la SEPR estuvo coordinado por David Cancio, y en el han participado Antonio Brosed, David Cebrián, Antonio Delgado, María Antonia López y Almudena Real. Durante todo el proceso de traducción se ha colaborado con la APCNEAN (Asociación de Profesionales de la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Actividad Nuclear) de Argentina.

La Publicación 103 consta de 8 capítulos, en los que se tratan los objetivos y alcance de las recomendaciones, los aspectos biológicos de la protección radiológica, las magnitudes utilizadas en protección radiológica, el sistema de protección radiológica en seres humanos, la implementación de las recomendaciones de la Comisión, las exposiciones médica de pacientes, cuidadores, confortadores y voluntarios en la investigación biomédica y finalmente la protección del medio ambiente. Además, la publicación tiene dos anexos, el primero recoge la información biológica y epidemiológica sobre los riesgos para la salud atribuibles a la radiación ionizante: un resumen de las conclusiones con fines de protección radiológica de las personas, y el segundo Anexo trata las magnitudes empleadas en protección radiológica. La publicación cuenta también con un glosario de términos empleados en el texto.

En la traducción al español de la publicación 103 se ha pretendido ser totalmente fieles, en el estilo, a la versión inglesa. Igualmente, se decidió no traducir siglas y términos recogidos en las recomendaciones como ICRP, LET, RBE, LNT, entre otros. Hubo buen entendimiento con los colegas argentinos, manteniéndose algunas discusiones para alcanzar un consenso en la terminología a utilizar, como por ejemplo en el término maniquí/phantom, los efectos "bystander". Con frecuencia se utilizó la terminología propuesta por el OIEA.



La traducción al español de la Publicación 103 de ICRP sobre las nuevas recomendaciones de la Comisión, ha sido realmente un logro de la SEPR. Ha habido un trabajo profesional entusiasta, con una muy buena relación entre las personas que realizaron la traducción y los encargados de revisarla. Cuando surgieron dudas o discrepancias éstas se solventaron con discusiones constructivas y consultando a diferentes expertos en la materia. El trabajo, se ha realizado en el tiempo previsto y estará listo para IRPA 12, que era la meta planteada inicialmente.

David Cancio
Coordinador del Grupo de Trabajo

Directorio de empresas de Protección Radiológica

La SEPR pone a disposición de todos los socios una nueva herramienta de apoyo a sus tareas relacionadas con las actividades de protección radiológica, el directorio electrónico de empresas y organizaciones relacionadas con la protección radiológica en nuestro país.

El objetivo es que los socios dispongan de un directorio de organizaciones y empresas que facilite la localización de actividades y proveedores de bienes y servicios relacionados con la Protección Radiológica en todos los campos en los que se utilizan las radiaciones ionizantes, el área nuclear, sanitaria, industrial, de investigación y de docencia.

Se ha tratado de realizar una base de datos dinámica, que incluye la siguiente información:

- un índice alfabético de empresas con sus datos y el enlace a su Web
- una clasificación de las empresas según las distintas actividades

En ciertos casos al seleccionar una actividad de interés se proporcionará un enlace directo a la información específica mostrada en la página del CSN u otros organismos sobre este tema.

Para el desarrollo de este proyecto, se ha contratado los servicios de Senda editorial.

- El grupo de trabajo creado en el seno del Comité de Actividades Científicas de la SEPR junto con Senda ha gestionado la creación de una base de datos de empresas e instituciones, partiendo de las ya conocidas y tratando de incorporar el máximo de las diversas instituciones y empresas del sector.

Los datos que se han incorporado son: nombre de empresa, dirección, teléfono, página Web, persona de contacto, correo electrónico y, fundamentalmente, los sectores de actividad.

Los socios colaboradores de la SEPR tienen, además, acceso directo a su Web.

La base de datos creada se incorpora al registro, de acuerdo con la Ley de Protección de Datos. En un primer análisis, se ha considerado la incorporación de más de 200 registros, estructurados en 50 sectores de actividad.

Se invita a las empresas e instituciones que no estén registradas en el Directorio a que introduzcan sus datos a través de la Web www.sepr.es

Comité de Redacción

Reunión de Sociedades Europeas de Protección Radiológica

El 29 de septiembre se celebró en la sede de la Oficina estatal de Seguridad nuclear de la república Checa en Praga, una reunión de presidentes y secretarios de sociedades europeas de protección radiológica. Asistieron representantes de las sociedades de Alemania, Austria, Bélgica, Chequia, Croacia, Eslovaquia, España, Francia, Holanda, Hungría, Islandia, Italia, Polonia, Reino Unido, así como un representante de la UE. Por parte de la SEPR asistieron Pío Carmena (Vicepresidente) y Cristina Correa (Tesorera).

Los aspectos más destacables de la reunión fueron los siguientes:

- Se está creando una página Web para el intercambio de información entre las Sociedades europeas y de estas reuniones.
- Identificación de medidas para la promoción de la incorporación de jóvenes a la PR tales como la dotación de becas para la asistencia y premios para los mejores ponencias de jóvenes en el Congreso Regional IRPA del 2010 (Helsinki) o promoción por parte de las Sociedades de PR de cursos de verano sobre temas de PR.



- Confirmación de Eduardo Gallego (España), Alfred Hefner (Austria), Bernard Le Guen (Francia) y Celso Osimani (Italia) como candidatos para vocales del Comité ejecutivo de IRPA.

- Confirmación del apoyo europeo a la candidatura de Glasgow para la celebración del IRPA13.

- Presentaciones específicas sobre la figura de experto cualificado para materiales radiactivos y residuos (Reino Unido); normativa relativa al radón en la construcción (Chequia); comparación de diferentes sistemas de dosimetría (Eslovaquia y Croacia); el Plan estratégico de la SEPR (España); y la exposición francesa "¿Ha dicho UD. Radioprotección?"

- Presentación del 3º Congreso Europeo IRPA (14 al 18 de junio del 2010 en Helsinki).

Próxima reunión: 26 de octubre del 2009 en Croacia.

Comité de Redacción

Comisión de Actividades Científicas

La Comisión de Actividades Científicas de la SEPR se reunió el 12 de septiembre en la sede del CSN, abordando los siguientes asuntos:

- Actividades científicas previstas para el año 2008: Están todas realizadas según lo previsto, excepto el Curso de recogida de muestras del PVRA, que se celebrará en octubre y el Taller sobre las técnicas de comunicación de los fenómenos donde intervienen radiaciones ionizantes, que se celebrará el 11 de noviembre.
- Plan de Actividades del año 2009: Se identificaron las siguientes propuestas de actividades:
 - Posibles jornadas sobre transporte de material radiactivo; sobre organización de la protección radiológica al

- paciente; sobre cultura de seguridad en PR; y sobre Radón.
- Mesa redonda sobre manejo de paciente irradiado.
- Cursos sobre dosimetría y control de calidad en los nuevos TAC multicortes; sobre radiactividad ambiental, sostenibilidad, industrias NORM, restauración ambiental de terrenos contaminados; sobre radiaciones no ionizantes (2ª edición); sobre medidas de contaminación radiactiva (fuentes no encapsuladas) (2ª edición); y taller sobre las técnicas de comunicación de los fenómenos donde intervienen radiaciones ionizantes (2ª edición).
- Elaboración de una publicación técnica sobre partículas radiactivas; y Creación/ Traducción de hojas con datos característicos de los diferentes isótopos radiactivos
- Comentarios a Normativa: La Secretaria de la CAC identificará la normativa nacional e internacional relacionada con la PR que esta pendiente de comentarios, para organizar la adecuada respuesta de la SEPR. Próxima reunión: 13 de noviembre de 2008.

Comité de Redacción

Comisión de Asuntos Institucionales

El 23 de septiembre, en la reunión de la Comisión de Asuntos Institucionales de la SEPR en la sede del CSN, se trataron los siguientes asuntos:

- Participación de la SEPR en el Grupo de revisión del las Basic Safety Standards de la OIEA (BSS) por invitación del CSN.
- Información sobre la reunión con la Sociedad Francesa de Protección Radiológica que tuvo lugar el pasado 9 de mayo en Madrid. Se valoró muy positivamente el nuevo acercamiento a la SFPR. La siguiente reunión bilateral se celebrará el 22 de diciembre.
- Comentarios a las propuestas preliminares de actividades de la SEPR para el año 2009 elaboradas por la Comisión de Actividades Científicas.
- Propuesta de creación de un nuevo Grupo de trabajo sobre la casualidad de cánceres radio inducidos, a la luz de una senten-

- cia judicial que condenaba a indemnizar a un trabajador profesionalmente expuesto, que según los registros dosimétricos no había recibido dosis registrables. Existen experiencias en otros países y documentos de referencia en la NEA y el OMS. El objetivo de este Grupo podría ser, en una primera etapa, generar un documento SEPR recopilatorio de las prácticas en otros países y en una segunda etapa hacer una propuesta de correlación objetivable como colectivo de profesionales a considerar en posibles causas judiciales futuras.
- Informe sobre el proyecto GRIAPRA. Se acordó organizar una reunión con los representantes de las otras sociedades iberoamericanas del GRIAPRA en Buenos Aires y plantear darle más diversidad a esta colaboración, con mayores aportaciones de estas sociedades.
- Se están realizando contactos para traer a España la exposición francesa: "Vous avez dit Radioprotection?" con Cosmo-caixa (Barcelona), Museo de las Ciencias (Valencia), Unicaja (Málaga), Museo de Ciencias y Tecnología (Alcobendas) y Canal de Isabel II (Madrid). La SEPR ha colaborado en esta exposición traduciendo y doblando los textos en castellano.
- Reunión de las Sociedades de PR europeas, que se celebrará en Praga el 29 de septiembre y a la que asistirán en representación de la SEPR Pío Carmena y Cristina Correa, vicepresidente y tesorera respectivamente. En esta reunión se espera que se ratifique el apoyo general de las sociedades europeas a la candidatura de Eduardo Gallego a la ejecutiva del IRPA.

Comité de Redacción

Editado el Plan Estratégico de la SEPR

La Junta Directiva de la SEPR impulsó, en 2007, la elaboración de un Plan Estratégico, con el horizonte 2008-2012, con una amplia participación de los sectores que componen la Sociedad.



El Plan Estratégico está disponible en papel en la secretaría de la Sociedad, o en la Web www.sepr.es

Comité de Redacción

Asamblea General de la SEPR

Al cierre de esta edición de RADIOPROTECCIÓN, ha tenido lugar la Asamblea General de la SEPR.

Entre otros puntos de interés, se ha presentado el libro de Recomendaciones de la ICRP 103 editado por la Sociedad, así como la participación de la SEPR en el Congreso IRPA'12, y la evolución del Congreso SEFM-SEPR que tendrá lugar en Alicante en 2009.



Con relación a la organización interna, se presentaron los nuevos Grupos de Trabajo.

En esta Asamblea General ha sido elegida la nueva Junta Directiva, que ha quedado integrada de la siguiente manera:

- Presidente: Pío Carmena
- Vicepresidente: María Luisa España
- Secretaría General: María Teresa Macías
- Tesorero: Alejandro Úbeda
- Vocales: Carmen Álvarez, María Ángeles García, Óscar González, Teresa Navarro, Pedro Ruiz y Ricardo Torres.

El próximo número de RADIOPROTECCIÓN informará de forma detallada sobre los acuerdos alcanzados en la Asamblea General.

Comité de Redacción

Congreso conjunto XII SEPR - XVII SEFM (Alicante, 2-5 junio 2009)

CARTA DEL PRESIDENTE DEL CONGRESO ALICANTE 2009

Queridos amigos:

Como es fácil de suponer seguimos trabajando en la confección de los distintos cometidos del próximo Congreso. Pretendemos reflejar a través de las diversas opciones del congreso: ponencias, mesas redondas, cursos, charlas técnicas, etc, todos aquellos temas que merecen el interés de nuestro colectivo, tanto en Física Médica como en Protección Radiológica.

Así en principio tenemos previsto la realización de unos 6 cursos, a saber: Curso de estadística aplicada (este curso responde a la solicitud de muchos compañeros que no pudieron asistir a la primera edición llevada a cabo en el último congreso de la SEFM de Granada), Curso sobre campos electromagnéticos vs radiación ionizante, Curso sobre Factores de Eficacia Biológica Relativa, Curso sobre algoritmos de reconstrucción de imagen, Curso sobre características y control de calidad en imagen portal y Curso sobre controles de seguridad del material magnético en resonancia magnética.

Se pretende la presencia de distintos especialistas para el desarrollo de las correspondientes ponencias sobre partículas pesadas, nuevos desarrollos en DR y nuevos avances en resonancia magnética, estimación de riesgos al paciente en radiología, nuevas recomendaciones ICRP, calidad y acreditación en dosimetría personal y técnicas de imagen molecular, entre otros.

En distintas mesas redondas deseamos abordar varios temas de interés como son los distintos aspectos de la formación a distintos niveles, los nuevos desarrollos en radioterapia, el futuro de la energía nuclear, radiación natural, etc

La configuración del Palacio de Congresos permite la disponibilidad de varias salas en las que se podrá desarrollar la presentación de los nuevos productos, así como la posibilidad de plantear charlas técnicas, o bien cursos de refresco abreviados. Igualmente es intención de la organización, y dado que se dispone de un aula informática, solicitar de los congresistas la presentación de trabajos en formato electrónico. Haremos todo lo posible para que los 22 ordenadores del aula estén a disposición de todos vosotros para la consulta de los trabajos presentados y, si la experiencia es positiva, tal vez sea una forma de disminuir las presentaciones en forma de cartel.

Las aportaciones que se vayan haciendo en el desarrollo del congreso las iremos poniendo en la página:

www.sefmsepralicante2009.es

Con la esperanza de que todo salga bien os saludamos hasta la próxima.

Bartomé Ballester
Presidente



La página Web de la SEPR

En este número monográfico que trata los NORM, y para no perder el hilo argumental del resto de la revista, ha parecido razonable hacer un recorrido por la web en busca de aquellos puntos que son específicos del tema tratado. Desde luego, existen otros muchos que se pueden encontrar en la web pero que no se mencionan aquí, que son útiles en el estudio de los NORM desde un punto de vista genérico, y además en la búsqueda tampoco pretende ser más que un ejemplo. Pero esto deja la puerta abierta para que, después de leer este artículo, el lector interesado decida sumergirse en la web, descubriendo cosas en cada visita.

Como se debe comenzar en algún sitio, es un buen punto de partida mencionar dos de los congresos de más interés para

aquellos que leen este artículo, como son la celebración del IRPA12 en Argentina del 19 al 24 de octubre de este año o el congreso conjunto SEPR-SEFM en junio del próximo año 2009. En nuestra web puede encontrarse información sobre ambos congresos donde, desde luego, uno de los temas tratados serán los NORM. En el IRPA 12, por ejemplo, el "topic" se ha denominado "NORM in industry", mereciendo un apartado al mismo nivel que la industria nuclear o la PR en la medicina, y en el congreso de la SEPR se incluye también un área específica para NORM. Por supuesto ambos congresos merecen aparecer como destacados en la portada de la Web, además de sus correspondientes apariciones en las secciones de noticias y convocatorias.



Los congresos de IRPA y la SEPR/SEMF destacados en la Web.



Entre las noticias nos encontramos el establecimiento de la RedRadNa, una red nacional entre profesionales de las radiaciones naturales, donde por supuesto también se encuentran los NORM.

En las secciones de publicaciones y descargables se pueden encontrar documentos específicos sobre los NORM que se han detallado en la sección de publicaciones de esta revista, como por ejemplo el "Radiation Protection and NORM Residue Management in the Zircon and Zirconia Industries. Safety Reports Series N° 51", el "Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry. Safety Reports Series N° 34" o los Proceedings del NORM IV celebrado en Szczyrk, Polonia en 2004: IAEA-TECDOC-1472". Además citar dos publicaciones que aunque generales tienen profundas implicaciones en los NORM: "Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance. Safety Standards Series RS-G-1.7" y "Occupational Radiation Protection in the Mining and Processing of Raw Materials Safety Guide. Safety Standards Series RS-G-1.6".

En los números anteriores de la revista Radioprotección, se incluyen los proceedings de varios congresos donde los NORM aparecían como uno de los temas a tratar.

En la sección de cursos se puede mencionar la "Actualización del Gas Radón como Factor de Riesgo Ambiental para la Salud Humana: Implicaciones de las Administraciones, de los Profesionales y de los Ciudadanos".

Por supuesto en la sección de enlaces se puede acceder a otras webs de organismos nacionales o internacionales en las que se encuentra información interesante sobre los NORM. Valga



Algunos de los enlaces nacionales e internacionales con interesante información sobre los NORM.



Enlaces a revistas internacionales que tienen entre sus artículos varias publicaciones relacionadas con los NORM.

mencionar algunos en los que puede encontrarse una ingente cantidad de documentación, software útil y otras herramientas, como la EPA de los EE.UU., las sociedades de PR de Francia, Argentina o Reino Unido, además de organismos como el OIEA que han tratado ampliamente los NORM. También a revistas internacionales en las que se publican artículos sobre NORM, generalmente de acceso mediante suscripción, aunque algunas pueden ser consultadas gratuitamente (por ejemplo el Journal of Radiological Protection o el Radiation Protection Dosimetry) en las que se incluyen varios artículos sobre la temática de los NORM.

Juan Carlos Mora
Coordinador de la página web de la SEPR

Plan de actuación del CSN para el control de la exposición a las fuentes naturales de radiación

José Luis Martín Matarranz, Marta García-Talavera, Rosario Salas y Lucila M^a Ramos
Consejo de Seguridad Nuclear. Subdirección de Protección Radiológica Ambiental

RESUMEN

El Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSRI), establece, en su título VII, disposiciones relativas a las fuentes naturales de radiación requiriendo a los titulares de las actividades laborales en las que existan estas fuentes que realicen los estudios necesarios a fin de determinar si existe un incremento significativo de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público que no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.

El RPSRI incorpora la Directiva 96/29/EURATOM, aprobada el 13 de mayo de 1996 en la que se revisaban las Normas Básicas de Protección Sanitaria. Dentro de su ámbito de aplicación se incluyó por vez primera la protección a las fuentes naturales de radiación en el ámbito laboral.

Con objeto de desarrollar en nuestro país los requerimientos de protección radiológica asociados a la exposición a la radiación natural, el Consejo de Seguridad Nuclear estableció un plan de actuación al respecto.

INTRODUCCIÓN

El 13 de mayo de 1996, se aprobó la Directiva 96/29/EURATOM [1], conteniendo las nuevas normas básicas de protección radiológica contra los riesgos de exposición a las radiaciones ionizantes, entre ellas las provenientes de fuentes naturales.

Por vez primera una directiva reconoce la importancia de los riesgos radiológicos potenciales de exposición a las fuentes naturales de radiación y establece, en su Título VII "Incremento significativo de la exposición debida a fuentes naturales de radiación", que deberán ser identificadas por los estados miembros aquellas actividades laborales que impliquen

una exposición incrementada a las fuentes de radiación natural que no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.

Este requerimiento aplica específicamente a actividades laborales donde pueda existir una exposición a los descendientes de radón, torón y a la radiación gamma, actividades que impliquen el almacenamiento y manipulación de materiales que contengan radionucleidos naturales, así como la generación de residuos y aquellas actividades donde pueda existir una exposición incrementada a la radiación cósmica, como en las operaciones de aviones.

ABSTRACT

Royal Decree 783/2001 of July 6, whereby the Regulation on Health Protection against Ionizing Radiation (RPSRI) is approved, contains provisions in its section VII concerning natural sources of radiation, requiring the owners of labor activities in which these sources exist to undertake the necessary studies to determine if there is a significant increase of the exposure of workers or members of the public that cannot be considered as insignificant from the standpoint of radiation protection.

The RPSRI includes Directive 96/29/EURATOM, passed on May 13, 1996, which revises the Basic Rules of Health Protection. Its scope of application included for the first time the protection against natural sources of radiation in the working environment.

In order to develop in our country the radiation protection requirements associated with exposure to natural radiation, the Consejo de Seguridad Nuclear has established an action plan accordingly.

La Directiva no aplica al radón en viviendas o a niveles naturales de radiación tales como la proveniente de los radionucleidos contenidos en el cuerpo humano y de los presentes en la corteza terrestre, así como a la radiación cósmica habitual a nivel del suelo. Con referencia al radón en viviendas sigue siendo válida la recomendación de la Comisión del año 1990 [2].

La Directiva 96/29/EURATOM, fue incorporada a la legislación española en el año 2001 mediante el Real Decreto 783/2001 de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes [3].

EL REGLAMENTO DE PROTECCIÓN SANITARIA CONTRA RADIACIONES IONIZANTES (RD 783/2001). TITULO VII.

El Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSRI), es en nuestro país, el marco legislativo para la protección de los trabajadores y los miembros del público a las radiaciones ionizantes. La protección a las fuentes naturales de radiación está definida en su título VII

El título VII establece que la autoridad competente, con el asesoramiento del CSN, requerirá a los titulares de las actividades laborales en las que existan fuentes naturales de radiación que realicen los estudios necesarios con objeto de determinar si existe un incremento significativo de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público que no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.

El CSN de acuerdo con los resultados obtenidos en los correspondientes estudios deberá identificar aquellas actividades laborales que deban ser objeto de especial atención y estar sujetas a control, y definirá en consecuencia aquellas que deban poseer dispositivos adecuados de vigilancia y cuando sea necesario establecerá:

a) La aplicación de acciones correctoras destinadas a reducir las exposiciones de acuerdo, total o parcialmente, con el título VI.

b) La aplicación de medidas de protección radiológica de acuerdo total o parcialmente, con los títulos II, III, IV y V, y el régimen de declaración o autorización.

Las conclusiones de la evaluación y las medidas que deban de ser incorporadas serán remitidas por el CSN a la autoridad competente quien las pondrá en conocimiento del titular de la instalación correspondiente.

PLAN DE ACTUACIÓN DEL CSN PARA EL CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A LAS FUENTES NATURALES DE RADIACIÓN

Con objeto de desarrollar y aplicar en nuestro país los requerimientos del Título VII del RPSRI, el CSN impulsó un Plan de actuación para el control de la exposición a las fuentes naturales de radiación.

Aunque el RPSRI excluye las exposiciones a la radiación natural en las viviendas, el Plan de Actuación del CSN considera también esta exposición, siguiendo las recomendaciones de la Unión Europea y continuando el programa de protección al público a la exposición al radón que el CSN viene desarrollando desde el año 1990.

Antecedentes

A finales de los años 80, el CSN inició una serie de actividades encaminadas a determinar la exposición de la población española a las fuentes naturales de radiación, entre ellas el contacto con diferentes grupos pertenecientes a universidades y organismos del país, que pudieran colaborar en la determinación de los niveles de ^{222}Rn en el interior de edificios, así a finales del año 1989, el CSN puso en marcha el Proyecto Radón con el objeto de poder conocer las concentraciones de este isótopo en el interior de las viviendas españolas [4].

Adicionalmente a las medidas de ^{222}Rn realizadas en viviendas, algunos laboratorios llevaron a cabo medidas de este isótopo en lugares de trabajo tales como balnearios [5] y cuevas turísticas, y se realizó el primer estudio radiológico sistemático de materiales de construcción producidos en el país, granitos y pizarras de las principales canteras y cementos procedentes de los mayores productores [6],[7].

En el año 1991, se firmó un acuerdo de colaboración entre el Consejo de Seguridad Nuclear y ENUSA industrias avanzadas, para la realización en el país de un mapa de radiación gamma natural, proyecto MARNA. Durante el desarrollo de este proyecto se han realizado más de 2 millones de medidas de niveles de radiación gamma en la península [8].

Una vez completado el mapa de la península, está prevista su finalización mediante la inclusión de las Islas Baleares y Canarias así como las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla.

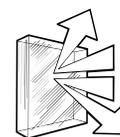
En relación con el impacto radiológico de la industria del fosfato de Huelva, el CIEMAT, a petición del CSN y la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, realizó en el año 1989 un estudio [9] cuyo objetivo principal fue determinar el impacto radiológico que dicha industria tendría sobre los miembros del público.

Como consecuencia de las conclusiones alcanzadas, el CSN recomendó una serie de actuaciones, que se centraron en la mejora de la gestión de los residuos líquidos y en la restauración de las balsas de fosfoyesos inactivas [10].

Este estudio, debido a una nueva petición realizada por la Junta de Andalucía al CSN, se revisó en el año 1998, con objeto de valorar las actuaciones emprendidas [11].

Los estudios anteriores se sumaron a los que en ese periodo estaban llevando a cabo en la zona las Universidades de Huelva y Sevilla.

Al publicarse la Directiva 96/29/EURATOM, se realizó en el CSN un análisis de la situación existente en nuestro país en cuanto a la protección a las fuentes naturales de radiación y se elaboraron unas líneas de actuación distinguiendo entre la exposición asociada a actividades laborales y la no asociada a éstas. Dicho análisis quedó



plasmado en un documento interno del CSN [12] que se revisó el año siguiente, enfocándolo únicamente hacia las actividades que habría que llevar a cabo dentro de la protección asociada a las actividades laborales, [13] considerando las recomendaciones dadas por la Unión Europea en su publicación Radiation Protection no 88 [14].

El Plan de actuación del CSN se desarrolló con el objetivo principal de dar cumplimiento a las funciones asignadas al CSN en el título VII del RPSRI [15] y fue aprobado por el Pleno del Consejo en su reunión del 17 de octubre de 2001.

En 2005 se realizó un informe sobre la situación del Plan de actuación, que se revisó en 2006 con una propuesta de actualización que fue aprobada por el Pleno del CSN, en su reunión de 29/03/06.

Desarrollo del plan

De acuerdo con el Plan de actuación aprobado por el Pleno, desde 2002 se han llevado a cabo una serie de actuaciones encaminadas a identificar aquellas actividades que pueden representar un riesgo significativo para los trabajadores y el público, y proponer medidas de protección radiológica adecuadas.

El plan de actuación del CSN ha cubierto las siguientes actividades laborales:

- Actividades que implican la operación con materiales que contienen radionucleidos naturales- industrias NORM¹.
- Actividades que implican la exposición al ²²²Rn² y sus descendientes y a la radiación γ .
- Exposición de los miembros de las tripulaciones aéreas a la radiación cósmica.

¹ NORM es el acrónimo de Natural Occurring Radioactive Material.

² En principio no se ha considerado el ²²⁰Rn, debido a su menor incidencia en las dosis que recibe la población.

Adicionalmente, el plan considera la protección del público a la exposición al ²²²Rn y descendientes en el interior de las viviendas.

Las industrias que implican la operación con materiales que contienen radionucleidos naturales que habría que identificar y estudiar serían las siguientes:

- Industrias del fosfato-Producción de ácido fosfórico y fertilizantes.
- Minería y procesamiento de minerales metálicos.
- Utilización de arenas de zirconio-Cerámicas y materiales refractarios.
- Procesamiento de tierras raras.
- Plantas térmicas de carbón.
- Industria de extracción de gas y petróleo.
- Producción de niobio y ferro-niobio.
- Industrias de fabricación de pigmentos de dióxido de titanio.
- Manufactura y utilización de torio y sus compuestos.

En relación con aquellos lugares de trabajo donde podría existir una exposición incrementada a la radiación y al ²²²Rn y sus descendientes estarían los siguientes:

- Minas subterráneas de cualquier tipo.
- Balnearios y cuevas turísticas.
- Túneles y galerías de distintos tipos.
- Instalaciones donde se almacenen y traten aguas de origen subterráneo.
- Redes de metro de diferentes ciudades.
- Lugares de trabajo subterráneos.
- Lugares de trabajo no subterráneos en zonas del país donde se hayan detectado valores elevados de ²²²Rn en el interior de viviendas.

El CSN identificó a las autoridades competentes y ha mantenido contactos y celebrado reuniones con éstas, con objeto de informarles sobre los diferentes aspectos del título VII del RPSRI y las obligaciones que les impone, la pri-

mera de las cuales se celebró en 2002 y la segunda en 2005, solicitándoles la identificación, en sus respectivas comunidades y ciudades autónomas, de las distintas actividades laborales indicadas.

Con objeto de determinar de forma real el riesgo asociado a distintas industrias y actividades laborales, el CSN mediante acuerdo con otras instituciones del país, principalmente universidades, está llevando a cabo una serie de estudios, con el objeto de identificar aquellos lugares de trabajo donde pueda existir una exposición incrementada a la radiación natural.

Es responsabilidad de las autoridades reguladoras, tener una idea clara del número y tipo de lugares de trabajo existentes en el país y en el caso específico de las industrias que procesan materiales con isótopos naturales, conocer el proceso industrial llevado a cabo así como el contenido de actividad de los materiales de partida, productos, subproductos y residuos y la utilización posterior en algunas industrias de dichos subproductos y residuos y su potencial impacto radiológico.

En septiembre del año 2003 se firmaron los primeros acuerdos de colaboración, dentro del plan de actuación del CSN. En la tabla I se han recopilado los acuerdos firmados, así como los organismos colaboradores con el CSN y el tiempo de duración de los acuerdos.

En este primer grupo de proyectos, se iniciaron los estudios de algunas industrias NORM, fabricación de ladrillos refractarios, canteras, almacenamiento y distribución de fertilizantes y de lugares de trabajo con exposición potencial al ²²²Rn y sus descendientes, como balnearios, minas turísticas y en explotación, cuevas turísticas, aparcamientos subterráneos y red de metro de la ciudad de Barcelona y colegios en zonas específicas [16, 17, 18].

PROYECTO	GRUPO INVESTIGADOR	DURACIÓN meses
Exposición de los trabajadores debido a fuentes de radiación en algunas industrias españolas.	Universidad de Cantabria	18
Estudio de la respuesta de sistemas de medida de radón en condiciones ambientales de lugares de trabajo.	Universidad Politécnica de Cataluña	18
Estudio del riesgo asociado a la inhalación de descendientes del radón en diferentes actividades laborales y en viviendas	Universidad Autónoma de Barcelona	28
Evaluación de niveles de radón en edificios en zonas de diferentes tasas de exposición a radiación gamma	Universidad de Cantabria Colaboración. CIEMAT	24
Medidas del radón disuelto en aguas de manantiales, pozos y fuentes en Extremadura.	Universidad de Extremadura Badajoz	12

Tabla 1: Acuerdos de colaboración iniciados el año 2003.

El resto de proyectos estuvieron dedicados al estudio del comportamiento de diferentes sistemas de detección de ^{222}Rn en ciertas condiciones ambientales (temperatura, humedad, presencia simultánea de ^{220}Rn) que se originan en algunos lugares de trabajo [19], [20], a la verificación experimental de la capacidad del mapa de radiación gamma terrestre MARNa como herramienta para identificar zonas de riesgo desde el punto de vista de la exposición al ^{222}Rn en

el interior edificios [21] y al estudio de las concentraciones de ^{222}Rn en las aguas subterráneas de la Comunidad Extremeña y su incidencia en la población [22].

Con el objetivo de regular el procedimiento de concesión de proyectos de investigación científica y desarrollo tecnológico en el marco del Plan de I+D del Consejo de Seguridad Nuclear, se publicaron el 13 de enero de 2004, las bases reguladoras de concesión de ayudas para la realización de proyec-

tos de I+D, en materias de seguridad nuclear y protección radiológica [23].

El 24 de enero del mismo año se hizo pública la convocatoria correspondiente al año 2004 y que en relación a los proyectos de protección radiológica se centraron principalmente en el estudio de algunas de las denominadas industrias NORM.

En la tabla 2 se relacionan los proyectos, las industrias objeto de estudio, los grupos investigadores y la duración de los correspondientes estudios.

PROYECTOS	INDUSTRIAS ESTUDIADAS	GRUPO INVESTIGADOR	DURACIÓN meses
Estudio del impacto radiológico de las centrales de carbón.	Cuatro principales plantas térmicas de carbón	Ciemat Univ. de Extremadura-Cáceres	48
Estudio del impacto radiológico de la industria cerámica y auxiliares.	Industrias donde se utilizan arenas de zirconio	Universidad Politécnica de Valencia	24
Evaluación del impacto radiológico producido por las actividades de diversas industrias no nucleares en el sur de España.	Industria del fosfato- producción de ácido fosfórico. Industria de fabricación de pigmentos de TiO_2	Universidad de Sevilla Universidad de Huelva	36
Estudio de la exposición debida a la utilización del torio en industrias no radiológicas.	Producción y uso de: Electrodos de soldadura toriados. Camisas incandescentes Lámparas HID. Lentes ópticas. Magnetrones.	Universidad del País Vasco Universidad de Zaragoza.	48
Estudio de la viabilidad y efectividad de las acciones de remedio frente a la presencia de gas radón en edificios existentes (1ª parte).	—	Instituto Eduardo Torroja Universidad de Cantabria.	12

Tabla 2: Proyectos subvencionados –Año 2004.



PROYECTOS	GRUPO INVESTIGADOR	DURACIÓN meses
Estudio de la viabilidad y efectividad de las acciones de remedio frente a la presencia de gas radón en edificios existentes (2ª parte).	Instituto Eduardo Torroja Universidad de Cantabria.	12
Mapa de contaminación por radón de los domicilios de Galicia.	Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de Medicina	36
Estudio de la concentración de ^{226}Ra , ^{222}Rn , α , β y ^3H de las aguas minerales, minero medicinales, de manantial y de consumo humano de Galicia.	Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de Física	48

Tabla 3: Proyectos subvencionados –Año 2005.

Viviendas*	Lugares de trabajo	
Nivel de referencia medidas correctoras 400 Bq/m ³	Nivel de referencia medidas correctoras 400 Bq/m ³	
200 Bq/m ³ Si son posibles medidas simples y efectivas	Medidas de protección radiológica Bq/m ³	
	< 400	No necesarias medidas
	400 -1000	Nivel bajo de protección
	> 1000	Nivel alto de protección
Nivel objetivo de diseño en nuevas viviendas 200 Bq/m ³	Nivel objetivo de diseño en edificios nuevos 200 Bq/m ³	

*Aplicable también a los edificios de larga permanencia de miembros del público.

Tabla 4: Control de la exposición al ^{222}Rn en viviendas y lugares de trabajo. Criterios radiológicos para la adopción de medidas correctoras y de protección radiológica.

Los resultados obtenidos en los distintos estudios realizados en industrias NORM hasta la fecha, han sido presentados en diferentes foros nacionales e internacionales [24, 25, 26, 27].

Adicionalmente se consideró necesario iniciar en nuestro país el estudio real de la viabilidad y efectividad de distintas actuaciones de remedio a aplicar a edificaciones con objeto de reducir concentraciones elevadas de ^{222}Rn a valores aceptables desde el punto de vista radiológico [28].

En el momento actual se están llevando a cabo dos estudios en la Comunidad Autónoma de Galicia, enfocados al estudio de las concentraciones de ^{222}Rn en el interior de unas 2500 viviendas y al estudio radiológico de aguas de uso público.

Programa específico para la gestión de residuos NORM

Dentro del plan de actuación del CSN para el control de las fuentes naturales de radiación, se está desarrollando

un programa específico enfocado a la gestión de los residuos producidos en las distintas industrias NORM.

En el momento presente en España y en el caso específico de los residuos producidos en las industrias NORM, es necesario establecer las siguientes actuaciones reguladoras:

a. Un procedimiento apropiado, para identificar el número de productores, las cantidades y tipos de residuos y las vías actuales de gestión.

b. Un criterio con el objeto de determinar que desechos deben ser gestionados bajo control radiológico y cuales de ellos en una forma convencional.

c. Un marco para la gestión de los residuos NORM, clasificados como radioactivos.

Las orientaciones técnicas dadas hasta el momento por la Unión Europea están contenidas, en el documento Radiation Protection 122 p.II [29], donde se establece para la exención/ desclasificación en las actividades laborales con NORM, un incremento de dosis efectiva anual de

300 $\mu\text{Sv/año}$ y se recomiendan para distintos radionucleidos naturales niveles generales de exención/desclasificación.

En el caso de aquellos residuos NORM, que deban de ser gestionados con medidas de control radiológico, se deberían de considerar dos opciones:

a. La posibilidad de introducir modificaciones en el diseño de los depósitos de residuos convencionales, incluyendo medidas de control y vigilancia radiológicos.

b. La necesidad de implantar vías de gestión y almacenamiento específico para determinados residuos NORM.

Como consecuencia del análisis de actuaciones necesarias que deben de llevarse a cabo el plan cubre las siguientes etapas y actuaciones:

1. Una fase inicial donde se ha llevado a cabo un análisis de las recomendaciones de la UE y de la normativa y práctica reguladora existente en otros países [30].

2. Una fase intermedia, que se está realizando actualmente, consistente en el desarrollo de criterios reguladores y análisis del potencial impacto en las in-

Valores medios anuales mSv/año	Nivel de regulación
< 1	No necesarias medidas de protección
1-6	Nivel bajo de protección
6-20	Nivel alto de protección
>20	La actividad laboral no debería estar permitida

Tabla 5: Criterios para la adopción de medidas de protección radiológica en industrias NORM.

dustrias correspondientes debido a su aplicación.

3. La tercera fase, sería la fase de aplicación de la legislación a todos los productores de residuos NORM implicados.

CRITERIOS RADIOLÓGICOS PARA LA PROTECCIÓN FRENTE A LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN NATURAL

Dentro del Plan de actuación, el Pleno del CSN, en su reunión de 31 de octubre de 2007, aprobó criterios radiológicos sobre los siguientes aspectos:

- Actividades laborales que deberían ser objeto de estudio.
- Contenido que deberían tener estos estudios.

- Valores de dosis a los trabajadores cuya superación requeriría el establecimiento de dispositivos de vigilancia de las exposiciones o la aplicación de acciones correctoras.

- Concentraciones de radón en lugares de trabajo y viviendas que requerirían la adopción de medidas correctoras o dispositivos de vigilancia.

- Criterios sobre la aplicación total o parcial de los títulos del RPSRI citados en el título VII, una vez que los resultados de los estudios demuestren que se han superado los niveles de dosis establecidos.

- Actuaciones relacionadas con el control de la gestión de residuos.

Estos criterios se prevé que se incorporen en instrucciones y guías del CSN.

Salvo lo relativo a las actividades laborales que deberán ser objeto de estudio, actividades que coinciden con las indicadas en el apartado "Desarrollo del plan", los criterios radiológicos aprobados se presentan en la tabla 4.

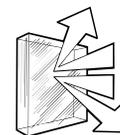
Los criterios radiológicos, en términos de dosis efectiva a los trabajadores en condiciones de trabajo normales en actividades donde se almacenen, manipulen o generen residuos conteniendo radionucleidos naturales, y que tienen como objeto servir como umbral de referencia para las actuaciones indicadas en el artículo 63 del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, son los expuestos en la tabla 5.

En relación con la gestión de los residuos producidos en las industrias NORM, se propone la adopción de los niveles para desclasificación/ exención que se recogen en la tabla 6.

La aplicación de estos niveles de desclasificación/exención está supeditada a su aprobación por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, de acuerdo con lo especificado en el artículo 2 de la Ley 25/1964, de

Radionucleido	Todos los materiales	Lodos húmedos -Industrias del petróleo y gas
U-238 _{sec.incl.} U-235 _{sec.}	0.5	5
U nat	5	100
Th-230	10	100
Ra-226 ₊	0.5	5
Pb-210 ₊	5	100
Po-210	5	100
U-235 _{sec}	1	10
U-235 ₊	5	50
Pa-231	5	50
Ac-227 ₊	1	10
Th-232 _{sec}	0.5	5
Th-232	5	100
Ra-228 ₊	1	10
Th-228 ₊	0.5	5
K-40	5	100

Tabla 6: Niveles de desclasificación/exención kBq/kg (Bq/g). Esta tabla se corresponde con la tabla 2 Rounded General Clearance Levels de la publicación de la Comisión. Radiation Protection 122 Part II.



29 de abril, reguladora de la energía nuclear, modificada por la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del sector eléctrico.

El Pleno del Consejo aprobó la propuesta de criterios para la protección radiológica frente a la exposición a la radiación natural en la reunión del Pleno celebrada el 31 de Octubre de 2007.

CONCLUSIÓN

Con la incorporación de la Directiva 96/29 a nuestra legislación, la protección radiológica a las fuentes naturales de radiación ha sido considerada explícitamente por vez primera en el marco regulador español.

La situación actual se caracteriza por el desarrollo progresivo de este marco regulador, editando y poniendo en práctica legislación específica relativa al control y la vigilancia de dichas fuentes.

La aprobación por el Pleno del CSN de la propuesta sobre criterios de protección radiológica, se puede considerar como una primera etapa en este desarrollo.

BIBLIOGRAFIA

[1] Directiva 96/29/EURATOM del Consejo, de 13 de mayo de 1996, por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. L 159. 29 de junio de 1996.

[2] Recomendación de la Comisión de 21 de febrero, Relativa a la protección del público contra la exposición al radón en el interior de edificios (90/143/EURATOM).

[3] Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE. no 178, de 26 de julio de 2001.

[4] El radón en viviendas españolas. Otros estudios de radiación natural. CSN. Colección Informes Técnicos .13.2004.

[5] Soto J., Fernandez P.L., Quindós L.S., Gomez-Arozamena J., Radioactivity in Spanish spas. Sci. Tot. Environ. 162: 187-192; 1995.

[6] Quindós L.S., Soto J., Fernández P.L., Ródenas C., Gomez J., Informe final al Consejo de Seguridad Nuclear en relación al acuerdo específico establecido con la Universidad de Cantabria para el estudio de mate-

riales de construcción como fuentes de radón y técnicas de mitigación. Diciembre 1995.

[7] Quindós L.S., Informe final al Consejo de Seguridad Nuclear con relación al acuerdo específico establecido con la Universidad de Cantabria referido al proyecto radón. Estudio radiológico de las zonas de los Arribes del Duero y la Sierra de Guadarrama. Estudio de materiales de construcción como fuentes de radón. Noviembre 1998.

[8] Proyecto Marna. Mapa de radiación gamma natural. CSN. Colección Informes Técnicos 5.2000.

[9] Cancio D., Gutierrez J., Salvador R., Olivares A.G., Carrasco E., Palomares J., Evaluación radiológica de la industria de fosfatos de Huelva para el Consejo de Seguridad Nuclear. CIEMAT/PRIMA/UCRE/11/89. Septiembre 1989.

[10] Cancio D., Gutierrez J., Ruiz M.C., Sainz A., Radiological considerations related with the restoration of a phosphogypsum disposal site in Spain. International symposium on remediation and restoration of radioactive-contaminated sites in Europe. Amberes. Bélgica 11-11 Octubre 1993.

[11] Cancio D., Gutiérrez J., Saez J.C., Palomares J., Revisión de la situación radiológica en la zona de vertidos de la industria de fosfatos de Huelva. CIEMAT/DIAE/PIRA/08/98. Informe del CIEMAT para el CSN. 1998.

[12] CSN/TGE/ANID/9710/759. Líneas generales a seguir en relación con la protección a la radiación natural. Octubre 1997.

[13] CSN/TGE/ANID/9810/932. Líneas generales a seguir en relación con la protección a la radiación natural. Directiva 96/29/EURATOM. Octubre 1998.

[14] Radiation Protection 88. Recommendations for the implementation of Title VII of the European Basic Safety Standards Directive (BSS) concerning significant increase in exposure due to natural radiation sources. European Commission 1997.

[15] CSN/TGE/AEIR/0107/1453. Propuesta de plan de actuación relativa al Título VII del Reglamento de Protección Sanitaria. Julio 2001

[16] Quindós L.S., Sainz C., Fuente I., Nicolás J., Quindós L., Martín-Matarranz J.L., Exposure to radon in workplaces of several Spanish industries. Proceedings 9th EAN ALARA Workshop 18-21 Octubre 2005. Ausburgo Alemania.

[17] Font LL., Baixeras C., Moreno V., Indoor radon levels in underground working places of Catalonia, Spain 23rd International Conference on Nuclear Tracks in Solids. Beijing. September 11-15. 2006.

[18] Baixeras C., Pascual A., Moreno V., Font LL., Niveles de radón en el metro de

Barcelona. Radioproteccion. no 45 Extraordinario. Vol XII. Septiembre 2005.

[19] Vargas A., Ortega X., Influence of environmental changes on continuous radon monitors: results of a Spanish intercomparison exercise Radiat Prot Dosimetry. 121 (3): p 303-309. 2006

[20] Vargas A., Ortega X, Influence of environmental changes on integrating radon detectors: results of an intercomparison exercise. Radiat Prot Dosimetry. 123 (4) p 529-536.2007.

[21] Quindós L.S., Evaluación de niveles de radón en edificios en zonas de diferentes tasas de exposición a la radiación gamma. IV Workshop Radiación Natural y Medio Ambiente. Suances. Julio 2005.

[22] Galán M., Martín Sanchez A., Gomez Escobar V., Estimates of the dose due to ²²²Rn concentrations in water. Radiat Prot Dosimetry, 111(1) p 3-7. 2004.

[23] Resolución de 17 de diciembre de 2003, del Consejo de Seguridad Nuclear, por el que se establecen las bases reguladoras de concesión de ayudas para la realización de proyectos de I+D relacionados con la seguridad nuclear y la protección radiológica. BOE núm 25. 13 de enero 2004.

[24] Herranz M., Legarda F., Núñez-Lagos R., Perez C., Savirón. M., Thorium applications in Spain. NORM V Conference. Marzo 19-22 2007. Sevilla. España.

[25] Baeza A., Cancio D., Corbacho J.A., Mora J.C., Robles B., Suañez A., Radiological impact of a coal fired power station in Spain NORM V Conference. Marzo 19-22 2007. Sevilla. España.

[26] Bolivar J.P., Perez-Moreno J.P., Martín J.E., Mas J.L., Borrego E. Occupational exposures in the phosphate fertiliser industry located at Huelva (South-western) Spain. NORM V Conference. Marzo 19-22 2007. Sevilla. España.

[27] Serradell V., Ortiz J., Radioactivity measurements campaign on ceramic industries. Results and comments NORM V Conference. Marzo 19-22 2007. Sevilla. España.

[28] Olaya M., Frutos B., Quindós L.S. Estudio de la viabilidad y efectividad de las acciones de remedio ante la presencia de gas radón en edificios existentes. Jornada técnica de I+D en seguridad nuclear y protección radiológica. CSN. Madrid 30 de noviembre de 2007.

[29] Radiation Protection 122. Part II. Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources. European Communities. 2002.

[30] CSN/ARBM/IGEN/0109/06. Control regulador de la gestión de los residuos que contienen materiales radioactivos naturales (NORM). Situación internacional y en España. Propuesta de actuaciones Septiembre 2006.

El gas Radón como contaminante atmosférico

Luis Santiago Quindos Poncela, Carlos Sainz Fernandez, Luis Quindos Lopez,
Ismael Fuente Merino, Jose Luis Arteche

Facultad de Medicina de Santander, Grupo Radon, Universidad de Cantabria, España

RESUMEN

En este trabajo se abordan distintos aspectos acerca de la problemática del radón en viviendas. Este gas de origen natural se encuentra prácticamente en la totalidad de los suelos de la corteza terrestre debido a la presencia de uranio y radio en la composición de los mismos. En función de factores arquitectónicos y de hábitos de ocupación de la vivienda, pueden alcanzarse concentraciones elevadas del gas en interiores. En estas situaciones, existe un incremento cuantificable del riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en los habitantes de la vivienda. En los últimos años las mejoras metodológicas en la realización de estudios epidemiológicos han conducido a la obtención de evidencias científicas de la relación entre la presencia de radón en interiores y el riesgo de cáncer de pulmón. Esta relación, encontrada hace años en trabajadores de minas de uranio, ha sido corroborada en el caso del radón residencial a la luz de los meta-análisis realizados recientemente a partir de estudios epidemiológicos agrupados.

Durante los últimos 25 años se han realizado más de 4000 medidas de radón en interiores. Se presentan los principales resultados de las mayores campañas de medida llevadas a cabo, así como los criterios recientemente establecidos por el Consejo de Seguridad Nuclear acerca de los niveles de intervención en viviendas y lugares de trabajo.

INTRODUCCION

El radón se encuentra en cantidades significativas en el suelo [1], y es este el que representa la mayor contribución del mismo en el interior de las viviendas, tal y como se muestra en la figura 1, sin descartar contribuciones puntuales de materiales de construcción y/o aguas. La evidencia documental que data del siglo XVI indica que la exposición a niveles elevados de radón era probablemente la causa del exceso de muertes debido a cáncer de pulmón de los mineros de algunas minas de Europa Central, tales como las minas

ABSTRACT

In this work different aspects about the problem of the radon in dwellings are approached. This gas of natural origin is virtually present in all the soils in the earth's crust due to the presence of uranium and radium in the composition of them. Depending on architectural factors and of occupancy habits of the house, high concentrations of this gas can be reached indoors. In these situations, there is a quantifiable increment of the risk of developing lung cancer in the inhabitants of the housing. In the last years the methodological improvements in the realization of epidemiologic studies have led to the obtaining of scientific evidences about the relationship between the presence of indoor radon and the risk of lung cancer. This relationship, found years ago in workers of uranium mines, has been corroborated in the case of the residential radon by the light of several recent meta-analysis performed on groups of epidemiologic studies.

More than 4000 radon measurements have been carried out in Spain during the last 25 years. A summary of the results obtained from the main national radon surveys are also presented, as well as the criteria recently established by the Spanish Nuclear Safety Council concerning radon action levels in dwellings and workplaces.

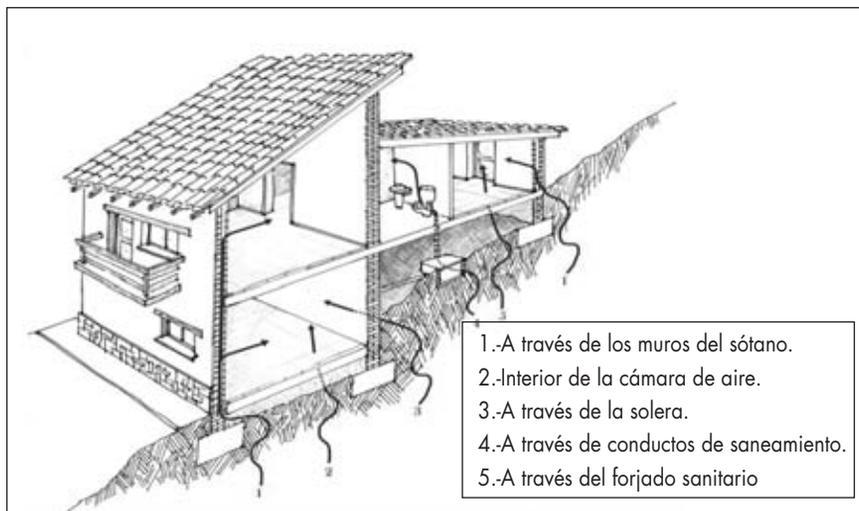


Figura 1: Fuentes de radon en una vivienda unifamiliar



de plata en Alemania y Bohemia [2]. Inicialmente los científicos pensaban que la radiación natural no era peligrosa para la salud de la población en la mayor parte de nuestros países. Sin embargo, ese punto de vista comenzó a cambiar a mediados del siglo XX. El cambio fue dramático en los años 70 y 80 cuando se descubrió que el interior de algunas casas en un número de países tenía niveles de radón en concentraciones elevadas. Entonces, en 1984, el asunto atrajo la atención nacional en los Estados Unidos cuando un trabajador de la construcción puso en marcha un monitor de radiación al entrar a la estación de Generación Nuclear de Limerick en Pensilvania. La planta no estaba generando todavía productos de fisión, esto hizo pensar que su casa era la fuente de contaminación. En estos momentos se entiende que en áreas donde el nivel natural de radón es alto, la baja presión del aire dentro de las casas trae como consecuencia un flujo hacia el interior de aire rico en radón a través de las grietas en las losas del piso o en las paredes de los sótanos [3].

En respuesta a la necesidad creciente de información sobre los riesgos de la exposición en interiores se han llevado a cabo estudios epidemiológicos en la población general. Los primeros estudios fueron en gran parte ecológicos en diseño y los resultados variados. Estudios de casos y controles de cáncer de pulmón se implementaron principalmente en los Estados Unidos y Europa. Algunos de estos primeros estudios no medían realmente el radón en interiores, confiando en medidas sustituibles como es el tipo de construcción de la casa, por estas razones los datos obtenidos no resultaron fiables a la hora de proveer estimaciones cuantitativas del riesgo. Estudios más sofisticados

con muestras más amplias se llevaron a cabo a mediados y finales de los años 80. Algunos de estos estudios sugerían una asociación entre los niveles elevados de radón en las viviendas y una elevada incidencia de cáncer de pulmón, aunque otros no, incluyendo el estudio que llevó a cabo Salud Canadá en Winnipeg. Estos estudios en conjunto no pudieron aportar evidencia concluyente de riesgo incrementado de cáncer de pulmón [4].

A finales de los 80 el IV Comité de Efectos biológicos de la Radiación Ionizante (BEIR) revisó los estudios de casos y controles publicados y planificados. Inmediatamente se evidenciaron las limitaciones potenciales del tamaño de la muestra y los posibles niveles de margen de error en las medidas. Se propuso agrupar estudios individuales y se convenció a agencias financiadoras como el Departamento de Energía y la Comisión para las Comunidades Europeas para que apoyaran la planificación de grupos eventuales de estudios globales de casos y controles relacionados con la exposición al radón en interiores y el cáncer de pulmón.

La incertidumbre en la relación entre radón y cáncer de pulmón en los estudios de control de casos iniciales se ha ido reduciendo con sucesivas mejoras metodológicas. En estos momentos se acepta que decenas de miles de muertes cada año por cáncer de pulmón están relacionadas con la exposición al radón. La solidez de los datos y los análisis apuntan a una necesidad de acción. Para reducir el riesgo de cáncer de pulmón por la exposición al radón las autoridades nacionales deben establecer métodos y medidas que, con una sólida base científica, contribuyan a desarrollar políticas de salud adecuadas.

A este respecto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) tuvo la previsión de trabajar en el desarrollo de las directrices. En 1996 publicó un informe que contenía diferentes conclusiones y recomendaciones encaminadas a comprender científicamente el riesgo del radón. Mas recientemente a través de un proyecto internacional, este organismo ha mostrado la necesidad que tienen los países de actuar en las áreas de control y comunicación de riesgos [5].

RIESGOS DERIVADOS DE LA INHALACIÓN DE RADÓN

En los últimos 15 años investigadores de todo el mundo se han reunido regularmente para establecer un marco de trabajo y colaboración comunes. Se han agrupado estudios en Norteamérica y Europa para producir análisis combinados de los diferentes trabajos, obteniéndose esencialmente los mismos resultados.

El proyecto norteamericano de agrupación incluyó información de siete estudios sobre la exposición al radón en el sector residencial, para un total de 3.662 casos y 4.966 controles. Esto permitió un examen más detallado de la distribución de concentraciones de radón, del riesgo de cáncer de pulmón y sus modificadores potenciales que los realizados con anterioridad. Todos los estudios utilizaron detectores de trazas para medidas a largo plazo con el fin de establecer las concentraciones de radón en el sector residencial. Las probabilidades (ORs) de cáncer de pulmón se incrementaron con la concentración de radón en este sector de estudio. La OR estimada después de una exposición al radón con una concentración de 100 Bq/m³ en un intervalo de exposición de 5 a 30

años antes de la fecha de referencia fue de 1,11 (95 % intervalo confiable = 1,00 – 1,28). Esta estimación es compatible con el 1,12 (1,02 – 1,25) pronosticado por la extrapolación en una tendencia descendiente de datos de la minería. No había evidencias de la heterogeneidad de los efectos de radón en los estudios. No había heterogeneidad aparente en la asociación por sexo, nivel educacional, tipo de respuesta (personal o enviada), o tabaquismo, aunque habían algunas evidencias de la relación entre la disminución del riesgo de cáncer de pulmón asociado al radón con la edad [6].

El grupo de colaboración europeo extrajo información de 13 estudios existentes que incluyen 7.148 casos de cáncer de pulmón y 14.208 controles. La concentración media de radón para los 13 estudios de nueve países es considerablemente mayor que la media en los análisis combinados norteamericanos. La concentración media de radón en las viviendas de las personas del grupo de control era de 97 Bq/m³, con 11 % de las medidas > 200 y 4 % > 400 Bq/m³. La probabilidad de cáncer de pulmón era de 1,08 (con 95 % intervalo confiable 1,03 – 1,16) por 100 Bq/m³ de incremento en el radón medido [7], [8].

Esta estimación del exceso de riesgo no difiere significativamente con el estudio, la edad, el sexo o el tabaquismo. En ausencia de otras causas de muerte, los riesgos absolutos de cáncer de pulmón a la edad de 75 años a concentraciones usuales de radón de 0, 100 y 400 Bq/m³ serán de 0,4 %, 0,5 % y 0,7 % respectivamente, para los no fumadores, y cerca de 25 veces mayor (10 %, 12 % y 16%) para los fumadores. Es decir, de forma colectiva pero no por separado los estudios

europeos muestran el peligro del radón en el sector residencial especialmente para los fumadores o aquellos que abandonaron el hábito recientemente.

Los resultados de estos estudios conjuntos muestran una evidencia consistente de la asociación entre el radón residencial y el riesgo de cáncer de pulmón, un resultado pronosticado por la extrapolación de los resultados de estudios ocupacionales realizados a mineros expuestos al radón en el interior de las minas y consistente con los resultados que arrojan los estudios *in vitro* y con animales [9].

RECOMENDACIONES Y REGULACIÓN

La comisión internacional para la protección radiológica (ICRP) [10], estableció en 1991 que la mejor opción de un nivel de acción para las viviendas traería consigo la necesidad de un considerable trabajo para remediar esta situación. En 1993 recomendó un nivel óptimo en el radón de 200-600 Bq/m³, el cual corresponde a dosis anuales efectivas de 3 a 10 mSv. Esta Comisión en sus nuevas recomendaciones refrendadas en su última reunión el pasado mes de Marzo de 2007 en Essen, Germany, no ha hecho sino reafirmarse en el mismo criterio, en cierta medida en contra de las opiniones de múltiples investigadores que sugerían un descenso en los mencionados límites.

En cuanto a las acciones de remedio, la Environmental Protection Agency (EPA) estadounidense considera que el método más efectivo y económico es la despresurización compartida. Esto cuesta un promedio de 1.200 US \$ por casa. La auto-evaluación por un inspector profesional puede costar muy poco, unos 350 US \$. La aplicación

de barreras impermeables al radón en las nuevas casas podría añadir de 350 a 500 US \$ al costo de las mismas. Esta agencia no depende de la regulación sino de la voluntad de acción, de la educación pública y de la asociación de un amplio rango de organizaciones, los gobiernos, ONGs, los educadores, los empleados de bienes raíces y de la industria de servicios del radón. La EPA considera que la mejor oportunidad para abordar la problemática del radón está en el propio mercado inmobiliario, encontrándose los mayores obstáculos para la aceptación pública en los gastos para mitigar el problema cuando éste se presenta.

La Acción Concertada ERRICCA-2 (European Radon Research and Industry Collaboration Concerted Action, Contract No: FIRI-CT-2001-20142), encuadrada dentro del Fifth Framework Programme de la Unión Europea representa el mayor esfuerzo realizado hasta el momento presente en la labor de conseguir que investigadores y profesionales unan sus esfuerzos para tratar de minimizar el impacto negativo que el gas radón tiene en nuestra salud, reuniendo a representantes de más de 20 países procedentes del campo científico e industrial.

EL RADON EN ESPAÑA

Desde que más de hace treinta años, el interés en esta fuente principal de radiación natural ha dado lugar al desarrollo de campañas nacionales de medida encaminadas a evaluar los niveles medios de radón en viviendas y a localizar las áreas de mayor riesgo potencial derivado de la inhalación del radón y sus descendientes (figura 2) al igual que se ha llevado a cabo en otras zonas de la Unión Europea (figura 3).



En España, la primera campaña nacional de medida de radón empezó en 1988 [11]. Los datos obtenidos de las 2000 medidas llevadas a cabo en este estudio representaron el primer paso para afrontar la problemática del radón en España. Además desde 1991 el Consejo de Seguridad Nuclear I, junto con la Empresa Nacional del Uranio y algunas Universidades desarrollaron el proyecto MARNA [12,13]. Este proyecto tuvo como objetivo principal realizar un mapa nacional de radiación natural con el cual estimar las zonas de emisión potencial de radón. La confección del mapa se hizo a partir de medidas de radiación gamma externa y estimaciones de la cantidad de radio en suelos usando parámetros geológicos y correlaciones empíricas entre tasa de exposición gamma externa al aire libre y la concentración de ^{226}Ra en suelo.

De la información conjunta obtenida en estos dos estudios, se iniciaron otra campaña nacional de medida de radón y varias regionales focalizadas en aquellas zonas donde se registraron los valores más altos de radiación natural. Estos proyectos contemplaron una aproximación más amplia a la exposición a fuentes naturales de radiación incluyendo, además de las medidas de radón en interiores, medidas de radiación gamma externa y caracterización del contenido en isótopos radiactivos naturales de suelos.

Las medidas del radón interiores fueron realizadas con detectores de trazas CR-39 expuestos en periodos de 6 meses, tal y como se muestra en la figura 4. En todas las medidas se aplicó un factor de corrección estacional necesario para obtener valores representativos de la concentración media anual de radón [14]. La radiación gamma externa a 1m sobre el suelo se mi-

dió usando un monitor Mini-Instruments tipo 6-80 dotado con un tubo Geiger Muller MC-70, especialmente diseñado para medir niveles gamma ambientales. Por otro lado, la determinación de radiactividad en suelos se centró en la medida de las concentraciones de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K . Para ello, todas las muestras de suelo son secadas en horno a 100 °C durante 24 h, pesadas para determinar el contenido en agua, trituradas y tamizadas. Una vez envasadas se espera un periodo no inferior a cuatro semanas para asegurar que se ha alcanzado el equilibrio radiactivo entre ^{226}Ra , ^{222}Rn , y sus descendientes de vida corta. Transcurrido este tiempo, las medidas de actividad gamma se realizan usando un detector de semiconductor de Ge de alta pureza y bajo fondo con una eficiencia relativa del 20 % y una resolución de 1.86 KeV en el pico de 1.33 Mev.

Entorno de las centrales nucleares españolas

Durante 1998 y 1999, el Consejo de Seguridad Nuclear financió un proyecto de evaluación de la exposición a fuentes naturales de radiación a la que se encuentra sometida la población en



Figura 2: Mapa de radiación gamma externa y regiones de alto nivel de radiación natural en España

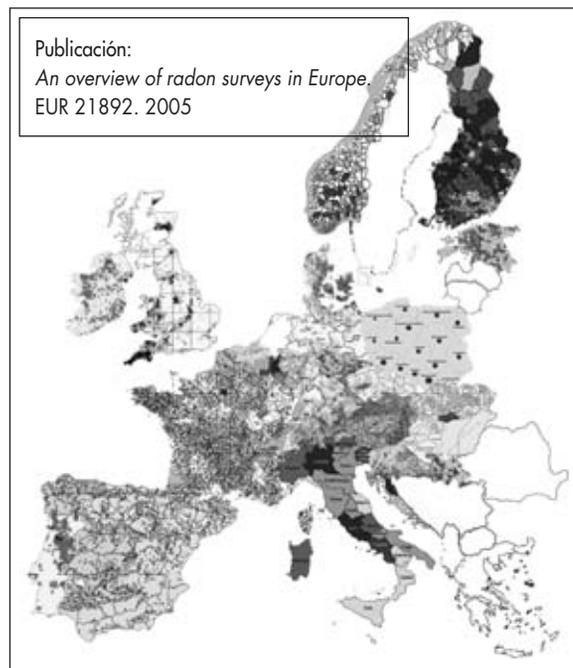


Figura 3: Mapa de radiación gamma externa y regiones de alto nivel de radiación natural en España

el entorno de las centrales nucleares en España. Las seis instalaciones en activo aglutinan en sus alrededores una población total de unas 200000 personas. Las magnitudes medidas en este proyecto fueron radón en interiores, tasa de dosis por radiación gamma externa y contenido radiactivo natural en suelos.

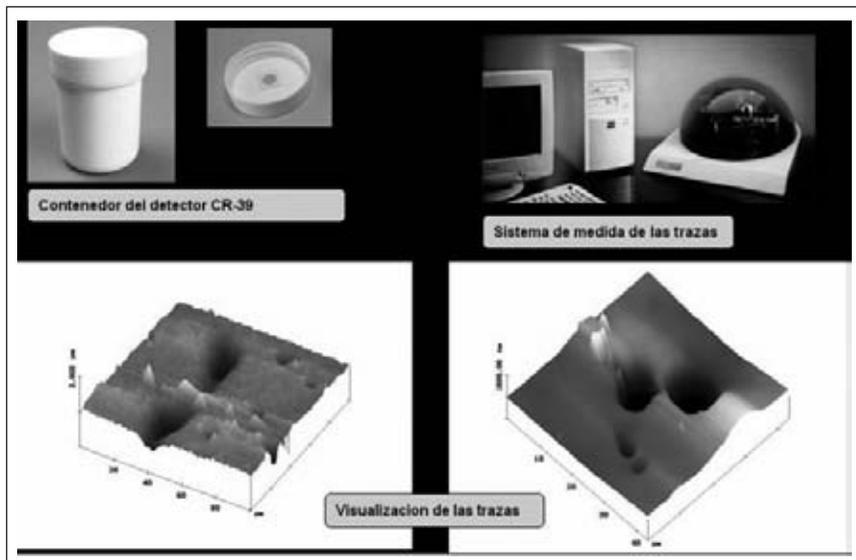


Figura 4: Evaluación de la concentración de radón.

El mayor promedio de dosis efectiva anual se encontró en el entorno de la central nuclear de Almaraz en la provincial de Cáceres [15]. El valor estimado, de 4.07 mSv y^{-1} , fue 1.6 veces superior al promedio nacional. Y la razón de esta importante diferencia con el resto de las zonas estudiadas se encontró en las concentraciones de radón en viviendas. Por esta razón y con el fin de realizar una estimación más precisa de la dosis debida a la exposición al radón se llevó a cabo un mayor número de medidas en la región del Campo Arañuelo, en el entorno de la central de Almaraz.

Además de la mejora en la estimación de dosis, este estudio puso de relieve la existencia de una zona de alto nivel de radón en la comarca de La Vera en el norte del Campo Arañuelo. En La Vera se encontró que un 9 % de las casas presentaban concentraciones promedio de radón superiores a los 400 Bq m^{-3} . Además, la nueva estimación de dosis proporcionó una valor promedio de 6 mSv por año en la comarca, encontrándose el valor máximo de 25 mSv por

año en el pueblo de Jarandilla perteneciente a la zona en la que los estudios previos habían mostrado que un 30 % de las casas tenían niveles de radón por encima de 400 Bq m^{-3} .

Entorno de las antiguas minas de uranio

Desde 2000 hasta 2001, con financiación del Consejo de Seguridad Nuclear se realizó un estudio de medida de radiación natural en el entorno de las seis zona empleadas para la extracción y procesado del mineral de uranio en España. La mayoría de las antiguas minas de uranio se localizan en la parte occidental del país, y predominan en su composición geológica rocas metamórficas, calcita y gramodioritas. Las minas fueron explotadas durante el periodo entre 1950 y 1980 para, posteriormente, iniciarse un plan de restauración que duró desde 1987 hasta 1996. Uno de los principales objetivos del plan de restauración fue reducir y controlar el flujo de radón desde el suelo y la contaminación radioló-

gica del agua. La población de todas estas áreas comprende unos 400000 habitantes.

Las máximas media geométrica de concentración de radón y dosis efectiva anual, de 111 Bq m^{-3} y 5.1 mSv por año, respectivamente, se encontraron en los alrededores de la mina de Albala [16]. La estimación de dosis efectivas medias anuales produjo valores en el rango comprendido entre 3.2 y 5.1 mSv al año, lo cual representa entre 1.2 y 2 veces el valor promedio nacional. Un 14 % de las viviendas con concentraciones de radón superiores a 400 Bq m^{-3} pertenecían al entorno de la mina de Albala.

Sierra de Guadarrama

El área de la Sierra de Guadarrama, en el Norte de la provincial de Madrid, fué objeto de otra campaña de medida regional. En el primer estudio nacional se observó un elevado porcentaje de casas con niveles de radón en interior superiores a 200 y 400 Bq m^{-3} , que son los niveles de acción recomendados por la Unión Europea para viviendas de nueva construcción y ya construidas, respectivamente [17]. Dado el predominio de suelos graníticos en esta zona y el considerable aumento de la población (la población desde el año 1990 hasta 2000 aumentó de 500000 a 1500000 habitantes) se inició en 2002 un estudio de radón que todavía sigue en marcha.

Las medidas realizadas hasta ahora muestran que un 14 % de las viviendas tienen concentraciones de radón por encima de 400 Bq m^{-3} y un 30 % superiores a 200 Bq m^{-3} . La media geométrica de la concentración de radón en la Sierra de Guadarrama es de 180 Bq m^{-3} lo que supone un valor cuatro veces superior al promedio nacional.



Villar de la Yegua

Quizá la zona de alto nivel de radiación más importante de España se encuentra entorno al pueblo de Villar de la Yegua en la provincial de Salamanca. En este pueblo se encontró la mayor concentración de radón, 25,000 Bq m⁻³ en el interior de una vivienda, y la evaluación de la dosis de radiación recibida por Fuentes naturales ha arrojado valores superiores a los 40 mSv al año. Las sucesivas series de medidas realizadas desde 1988 hasta ahora confirman a Villar de la Yegua como zona de alto nivel de radón [18]. La media geométrica de la concentración de este gas en interiores es de 818 Bq m⁻³, 18.2 veces mayor que el promedio nacional. Por otro lado, los porcentajes de casas con concentraciones por encima 400 y 1000 Bq m⁻³, son del 75 % y 25 % respectivamente.

Lo anteriormente expuesto indica claramente la necesidad de realizar estudios epidemiológicos acerca de los efectos que sobre la salud de los habitantes de esta zona tiene la exposición a las fuentes naturales de radiación.

CONCLUSIONES

Los resultados de las campañas de medida presentadas constituyen una base de datos de gran utilidad para el desarrollo de estudios específicos de aquellas zonas en las que se han encontrado los niveles de radón más elevados. Del desarrollo de estos proyectos puede obtenerse un conocimiento más detallado de las principales fuentes de radón en las viviendas, que permita no sólo diagnosticar con precisión la necesidad de aplicación de medidas de remedio, sino también decidir cual de las posibles actuaciones es la más adecuada en cada caso.

Recientemente el CSN ha establecido por vez primera criterios acerca de los niveles de acción de radón en viviendas y edificios de larga permanencia del público. En edificios ya construidos el nivel de intervención para iniciar medidas de remedio, es el recomendado por la Unión Europea de 400 Bq m⁻³ de concentración media anual de radón. Se contempla también la posibilidad de iniciar medidas de remedio sencillas y económicas a partir de concentraciones medias anuales de 200 Bq m⁻³. Con respecto a los edificios de nueva construcción, en los que es más sencilla y efectiva la introducción de medidas de remedio, se aplicará como nivel de intervención el valor que se incorpore en el Código Técnico de la Edificación. Una vez incorporado dicho valor, éste será aplicable a todos los edificios, sean viviendas o lugares de trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Quindós Poncela, L.S. Radón "un gas radioactivo de origen natural en su casa". Ed. CSN y Serv públicos de la Universidad de Cantabria, Madrid, 1995.
- [2] Lubin J.H, Boice J.D, Edling C, Hornung R.W, Howe G, Kunz E. Radon and lung cancer risk: a joint analysis of 11 underground miner studies. In: Public Health Services and National Institute of Health (Eds)NIH
- [3] Darby S. Residential radon, smoking and lung cancer. *Radiat Res* 2005; 163(6):696.
- [4] Brand K.P, Zielinski J.M, Krewski D. Residential radon in Canada: an uncertainty analysis of population and individual lung cancer risk. *Risk Anal* 2005; 25(2):253-69.
- [5] Zielinski J.M, Carr Z, Krewski D, Repaholi M World Health Organization's International Radon Project. *J Toxicol Environ Health A*. 2006; 69(7):759-69.
- [6] Field R.W, Krewski D, Lubin J.H, Zielinski J.M, Alavanja M, Catalan V.S, Klotz J.B, Letourneau E.G, Lynch C.F, Lyon J.L, Sandler D.P, Schoenberg J.B, Steck D.J, Stolwijk J.A, Weinberg C, Wilcox H.B.An overview of the North American case-control studies of residential radon and lung cancer. *J Toxicol Environ A*. 2006; 69(7):599-631.
- [7] Darby S, Hill D, Aivinen A, Barros-Dios J.M, Bausson H. Residential radon and lung cancer-detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scan J Work, Environ and Health*. 2006;32(Suppl 1):1-84.
- [8] Barros-Dios J.M, Barreiro M.A, Ruanova-Ravina A., Figueiras A. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: a population-based case-control study. *Am J Epidemiol* 2002; 156:548-55.
- [9] Samet JM. Residential radon and lung cancer: end of the story? *J Toxicol Environ A*. 2006; 69(7):527-31.
- [10] ICRP(International Commission on radiological protection). Lung cancer risk from indoor exposures to radon daughters. ICRP Publication 50, annals of the ICRP 17(1), Pergamon Press, Oxford, 1987.
- [11] L. S. Quindós, P. L. Fernández and J. Soto, National survey on indoor radon in Spain, *Env. Int.* 17 (1991) 449-453
- [12] E. Suarez, J. A. Fernández, Project MARN: Natural Gamma Radiation Map. *Revista de la Sociedad Nuclear Española* (1997) 58-65
- [13] L. S. Quindós, et al., Natural gamma radiation map (MARN) and indoor radon levels in Spain. *Env. Int.* 29 (2004) 1091-1096
- [14] J. Miles, C. Howarth, Memorandum: Validation scheme for laboratories making measurements of radon in dwellings: 2000 revision. National Radiological Protection Board. NRPB-M1140. (2000). Chilton, Didcot, Oxfordshire OX11 0RQ.
- [15] L. S. Quindós, et al., Natural radiation exposure in the vicinity of Spanish nuclear power stations, *Health Phys.* 85(5) (2003) 594-598
- [16] L. S. Quindós, et al., Population dose in the vicinity of old Spanish uranium mines, *Sci. of the Tot. Env.* 329 (2004) 283-288
- [17] European Union. Council Directive 90/143/EC of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon. (1990). Official Journal of the European Communities
- [18] International Commission on Radiological Protection. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65 (1994) Oxford: Pergamon Press.

Evaluación radiológica ocupacional y distribución de radionucleidos en una planta de ácido fosfórico

J.P. Bolívar¹ y R. García-Tenorio²

¹Grupo Física de las Radiaciones y Medio Ambiente. Universidad de Huelva

²Grupo Física Nuclear Aplicada. Universidad de Sevilla

RESUMEN

En el marco de un proyecto I+D sobre el control de la exposición debido a la radiación natural en diversas industrias NORM del sur de España, se ha realizado tanto una evaluación detallada del impacto radiológico ocupacional en una planta dedicada a la producción de ácido fosfórico a partir del tratamiento de roca fosfática como un estudio del comportamiento de los diferentes radionucleidos involucrados en el mencionado proceso de producción.

Se ha concluido que la dosis efectiva susceptible de ser recibida por los trabajadores que desarrollan sus labores en dicha planta es claramente inferior a 1 mSv/año. Y se ha demostrado que la vía dominante de exposición ocupacional es la vía por irradiación externa, asociada a la existencia de una fuente de contaminación radiactiva permanente en diversas zonas de la planta. Esta fuente de contaminación se corresponde con la presencia de costras e incrustaciones, en equipos y tuberías, así como con la presencia de fangos en los depósitos de ácido fosfórico, caracterizándose estos materiales por sus altas concentraciones de ²²⁶Ra. Por otra parte, la concentración de ²²²Rn en el interior de la instalación analizada no supera los 100 Bq/m³, por lo que no constituye ningún problema radiológico.

INTRODUCCIÓN

Las industrias dedicadas a la producción de ácido fosfórico utilizan como materia prima grandes cantidades de roca fosfática (RF) que, dependiendo de su origen geológico, pueden presentar elevadas concentraciones de radionucleidos naturales de las series del U y/o Th. Por este motivo, este tipo de industrias se encuentran entre las catalogadas como típicas industrias NORM [1]. En ellas, atendiendo al Real Decreto 783/2001 sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes, es necesario estudiar y determinar los posibles incrementos en la exposición

de los trabajadores y del público en general que no puedan considerarse despreciables desde el punto de vista de la protección radiológica. A la vista de los resultados obtenidos en estos estudios, el Consejo de Seguridad Nuclear, como organismo regulador, definirá si la industria analizada deberá poseer dispositivos adecuados de vigilancia de las exposiciones, e incluso, si es necesario, establecerá la aplicación de acciones correctoras destinadas a reducir las exposiciones y/o la aplicación de medidas de protección radiológica.

Desde hace 40 años, en las cercanías de la ciudad de Huelva, existe un

ABSTRACT

On the frame of a research project devoted to the control of the exposures due to natural radiation in several NORM industries located at the South of Spain, a detailed occupational radiological assessment in a plant dedicated to the production of phosphoric acid has been performed. In addition, the behaviour along the mentioned process of the different radionuclides involved has been analysed.

It has been concluded that the effective dose which can be received by the workers of the plant is clearly below 1 mSv/year. And it has been demonstrated that the main route of occupational exposure corresponds to the external radiation due mainly to the permanent presence of a radioactive contamination source in different zones of the plant. This contamination source is associated to the presence of scales in the inner surfaces of pipes and equipments as well as to the presence of sludges in the phosphoric acid storage tanks, which in both cases contain elevated concentrations of ²²⁶Ra. Moreover, the ²²²Rn concentrations inside the plant do not overpass 100 Bq/m³, which not constitutes a radiological problem.

gran complejo químico industrial que incluye, entre otras industrias químicas, varias plantas dedicadas a la producción de P₂O₅. Estas plantas son en la actualidad las mayores productoras de P₂O₅ en la Unión Europea, consumiendo anualmente 2x10⁹ kg de roca fosfática.

Históricamente, la atención desde el punto de vista radiológico y radioecológico en estas plantas se ha focalizado en los efectos medioambientales asociados a la gestión del residuo generado por ellas; el fosfoyeso (FY) [2,3,4]. Pero, por el contrario, existía un cierto desconocimiento tanto sobre el posible impacto radiológico de esta



actividad industrial sobre los trabajadores, así como sobre el comportamiento de los radionucleidos involucrados a lo largo del proceso industrial.

Tratando de cubrir estos últimos aspectos, los grupos de investigación "Física de las Radiaciones y Medio Ambiente" (U. Huelva) y "Física Nuclear Aplicada" (U. Sevilla) han llevado a cabo conjuntamente durante el periodo 2004-2007 un proyecto de I+D financiado por el CSN, en el marco de su plan de acción sobre el control de la exposición debida la radiación natural, cuyo objetivo ha sido realizar una evaluación detallada del posible incremento de la exposición recibida por los trabajadores o los miembros del público en relación con la producción de P_2O_5 en las plantas onubenses y con la gestión de las grandes cantidades de FY almacenados en los alrededores.

Las principales conclusiones obtenidas en la evaluación radiológica realizada en relación con la gestión de los FY generados, han sido publicadas recientemente a nivel nacional [5]. Con este artículo, cubrimos la segunda componente de la investigación realizada, detallando los principales resultados y conclusiones obtenidos en el estudio sobre el comportamiento de los diversos radionucleidos naturales a lo largo

del proceso industrial, así como en la evaluación realizada sobre el impacto radiológico recibido por los trabajadores que realizan su labor en el interior de las plantas

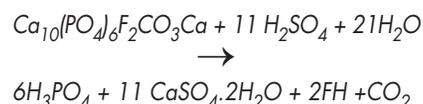
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO FOSFÓRICO EN LA PLANTA ANALIZADA

En el complejo químico onubense se localizan 5 plantas de producción de P_2O_5 . Al aplicar dichas plantas un proceso de producción prácticamente idéntico, se escogió una de ellas como representativa para la realización de los estudios radiométricos y dosimétricos. Resumimos a continuación el proceso de producción en dicha planta, para una mejor comprensión de los resultados y conclusiones obtenidos.

El proceso de producción de ácido fosfórico se realiza a través de la denominada "vía húmeda", la cual se fundamenta en la disolución de roca fosfática utilizando H_2SO_4 al 60%. Dicho proceso consta de cuatro etapas principales (ver figura 1): molienda, reacción/digestión, filtración/lavado y concentración.

El fosfato roca comercial es inicialmente almacenado en silos, desde donde es transportado a la zona de

molienda. En dicha zona, mediante procesos mecánicos, se ajusta el tamaño de grano del mineral para optimizar el posterior ataque ácido en la etapa de reacción. El mineral, una vez molido es llevado a un separador donde se selecciona la fracción del mineral con un tamaño de grano apropiado para entrar en el proceso de reacción (0-2 mm de diámetro de partícula), desde el cual es conducido a un reactor formado por 7 compartimentos donde se le hace reaccionar con H_2SO_4 60%, siguiendo la siguiente reacción exotérmica:



En dicha reacción se forma una pulpa conteniendo en forma líquida el denominado ácido fosfórico de producción (27% en P_2O_5) y en forma sólida al fosfoyeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Para mejorar el rendimiento de esta reacción la pulpa es continuamente agitada circulando entre los compartimentos del reactor.

El fosfoyeso generado en la etapa de reacción es posteriormente separado del ácido fosfórico en la etapa de filtración. Este proceso es realizado mediante vacío utilizando un sistema formado por varias unidades de filtración. En primer lugar, la mayoría del ácido fosfórico es succionado para posteriormente someter al fosfoyeso resultante a una serie de lavados con el objetivo de recuperar el P_2O_5 remanente en el FY. Cada unidad de filtración, de acero inoxidable, tiene una tela sintética colocada en su base (resistente a ácidos fuertes) actuando como filtro.

El fosfoyeso ya totalmente lavado es bombeado a la zona de almacenamiento, mientras que el ácido fosfórico es

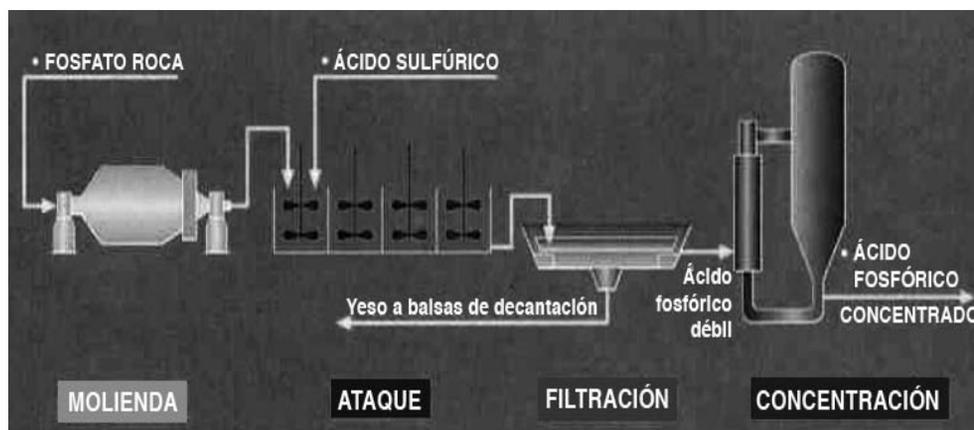


Figura 1: Esquema de las cuatro etapas principales del proceso industrial de producción de ácido fosfórico.

enviado a la etapa final de concentración. Concretamente, el ácido de producción es en primer lugar enviado a un depósito decantador, con el fin de eliminar impurezas, y posteriormente es concentrado por evaporación. En este último proceso, el contenido en P_2O_5 alcanza el 54% (ácido fosfórico comercial).

El transporte del fosfoyeso a las balsas de apilamiento, situadas en las cercanías de las plantas, se realiza mediante su bombeo con agua dulce, en suspensión al 20%. El agua de bombeo sigue un circuito cerrado de tal forma que una vez decantado en las balsas el FY transportado, el agua retorna a la planta para el bombeo de nuevas cantidades de este residuo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En las plantas de producción de P_2O_5 de Huelva, se suele tratar como materia prima roca fosfática sedimentaria procedente de Marruecos. Dicha roca presenta la particularidad de contener elevadas concentraciones de U, con todos sus descendientes en equilibrio secular, mientras que, por el contrario, las concentraciones de actividad que contiene de los radionucleidos de la serie del Th son muy inferiores. Sólo esporádicamente se trata en dichas plantas roca fosfática ígnea procedente de Kola (antigua Unión Soviética) la cual presenta una concentración de actividad de U y descendientes un orden de magnitud inferior y unas concentraciones de actividad de los radionucleidos de la serie del Th algo superiores a las presentes en la roca marroquí.

El procesado de rocas fosfáticas con un contenido en radionucleidos naturales tan diferente, indujo a la realización de los estudios radiométricos y dosimétricos por duplicado. En primer lugar se realizaron esos estudios cuando se procesaba roca marroquí, y pos-

teriormente cuando se trataba roca de Kola. Ello ha permitido: a) analizar las posibles correlaciones en diversas zonas de la planta entre la cantidad de radionucleidos naturales fluyendo por el proceso y las tasas de exposiciones externas y b) obtener información sobre el comportamiento de los radionucleidos involucrados.

Así, se procedió en primer lugar, y mientras se procesaba cada tipo de roca, a la toma de una serie de muestras representativas en cada una de las etapas del proceso. En dichas muestras, se determinaron las actividades de ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th y ^{210}Po mediante espectrometría alfa [6], mientras que otros radionucleidos, entre ellos ^{226}Ra y ^{228}Ra , fueron determinados mediante espectrometría gamma [7].

Por otra parte, atendiendo a las características del proceso de producción, a las actividades laborales realizadas en la planta analizada y a los radionucleidos involucrados en el proceso, se consideraron tres posibles vías de impacto radiológico sobre los trabajadores que desarrollan su labor en la planta: impacto por irradiación externa, por inhalación de material particulado existente en la atmósfera de la instalación y por inhalación de ^{222}Rn . Otras vías de impacto (ingestión y contaminación de la piel) no fueron analizadas al considerarse despreciables.

Las medidas de tasas de dosis absorbida por irradiación externa fueron realizadas utilizando un medidor Berthold LB1236 sensible a fotones en el rango energético 30 keV-1.2 MeV. Las medidas realizadas en el interior de la planta, fueron corregidas por el valor determinado con el mismo equipo en los exteriores del complejo industrial. Tomando esta última medida como valor de fondo, expondremos los resultados como los incrementos en las tasas de dosis absorbida por irradiación

externa respecto al valor de fondo de la zona.

Para la estimación de las tasas de dosis por inhalación se tomaron filtros atmosféricos en dos localizaciones: la primera de ellas en un entorno natural (que hemos utilizado como estación de fondo), ubicada a 30 km de la planta analizada y una segunda en el interior del recinto industrial de producción de P_2O_5 . En ambas localizaciones se utilizaron captadores de alto volumen TSP provistos con filtros de fibra de cuarzo. En dichos filtros se determinaron las concentraciones de ^{210}Pb y 7Be por espectrometría gamma [7] y diversos emisores alfa (isótopos de U, Th, y Ra y ^{210}Po) por espectrometría alfa [6].

Finalmente, y para evaluar la posible existencia de incrementos en las concentraciones de ^{222}Rn en algunas zonas de la planta en relación al fondo, se determinó este radionucleido aplicando dos técnicas de medida: a) determinaciones cortas en el tiempo (como máximo, diez días) utilizando detectores activos y, b) determinaciones por un tiempo continuado de 4 meses, utilizando detectores pasivos (detectores de traza CR-39).

DISTRIBUCIÓN DE RADIONUCLEIDOS EN EL PROCESO INDUSTRIAL

En la tabla 1 se muestran los resultados radiométricos correspondientes a las muestras representativas del proceso colectadas mientras se trataba roca fosfática marroquí. Del conjunto de resultados obtenidos, podemos destacar las siguientes conclusiones.

a) La roca fosfática marroquí contiene elevadas concentraciones de actividad de U, con todos sus descendientes prácticamente en equilibrio secular, lo que permite clasificar esta materia prima como material NORM. Atendiendo a estos resultados, podemos indicar



que aproximadamente 3 TBq de U y descendientes entran anualmente en las plantas de producción de P_2O_5 onubenses asociado al mineral.

b) Los resultados obtenidos en las muestras colectadas en la etapa de reacción/digestión ponen de manifiesto el fraccionamiento radiactivo que surge en el proceso de producción de P_2O_5 por la vía húmeda. En dicho proceso de digestión, el U, bastante soluble, tiende a asociarse a la fracción líquida de la pulpa, que se corresponde con el ácido fosfórico formado en la reacción, mientras que ^{226}Ra , ^{210}Pb y ^{230}Th tienden a asociarse a la fracción sólida, formada mayoritariamente por fosfoyeso (aunque esta fracción también contiene una pequeña cantidad de mineral no atacado).

c) El FY generado en la etapa de reacción, contiene una fracción significativa de U, que es parcialmente eliminada en los lavados que sufre en

la etapa de filtración. Ello es debido a que una fracción notable del U presente en la pulpa sólida antes de entrar en la etapa de filtración se encuentra asociada a trazas de P_2O_5 ocluidas entre los granos del fosfoyeso. Estas trazas son liberadas en la etapa de filtración. Por el contrario, puede observarse como las concentraciones de ^{226}Ra , ^{230}Th y ^{210}Pb permanecen inalterables en el FY tras los lavados, poniendo de manifiesto su fuerte asociación a este residuo.

d) La fuerte asociación del U al ácido fosfórico queda plasmada en los resultados obtenidos en las muestras de la etapa de concentración, que se corresponden con dos muestras de fosfórico con distinto grado de concentración. Los resultados muestran la prácticamente nula presencia de ^{226}Ra en estas muestras, una presencia muy moderada de ^{230}Th y ^{210}Pb , y elevadas concentraciones de U.

En la tabla 2 se muestran los resultados radiométricos correspondientes a las muestras colectadas cuando se trataba roca fosfática de Kola. Estas muestras fueron tomadas en los mismos puntos del proceso que las reflejadas en la tabla 1 (cuando se procesaba roca marroquí) y sus resultados permiten destacar las siguientes conclusiones:

a) El contenido en U y descendientes en la roca de Kola, es prácticamente un orden de magnitud inferior al determinado en la roca marroquí. Por el contrario, el contenido en radionucleidos de la serie del Th es un factor 3 superior, aunque no alcanza las concentraciones determinadas en la roca marroquí para U y descendientes. El contenido radiactivo global pues de la roca de Kola es claramente inferior al de la roca marroquí.

b) Se puede observar cuando se procesa roca fosfática de Kola un comportamiento de los diferentes radionucleidos naturales a lo largo del proceso muy similar al observado con la roca marroquí, obviamente con las modulaciones asociadas al inferior contenido radiactivo involucrado. Se ratifica así la tendencia del U a asociarse al P_2O_5 generado en el proceso de reacción/digestión, mientras que por el contrario los isótopos de Th, el ^{210}Pb y sobre todo los isótopos de Ra tienden a asociarse al fosfoyeso formado.

La información obtenida a partir de los estudios radiométricos, podrían en un principio llevar a esperar que en las evaluaciones radiológicas a realizar en el interior de la planta, las exposiciones a la irradiación externa fueran claramente superiores mientras se procesa roca marroquí que cuando se procesa roca de Kola. E incluso, se podrían esperar más altas exposiciones en aquellas etapas del proceso donde se encuentren presentes en magnitud apreciable los radionucleidos emisores gamma que contribuyen mayorita-

	^{238}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{228}Th
Zona de molienda					
Roca fosfática	1680 ± 100	1670 ± 80	1380 ± 70	1440 ± 100	17 ± 1
Zona de reacción/digestión					
Pulpa Líquida	1340 ± 90	425 ± 78	4.0 ± 0.4	60 ± 12	4.0 ± 0.5
Pulpa Solida	450 ± 30	750 ± 30	590 ± 25	590 ± 120	11 ± 1
22% P_2O_5	870 ± 50	95 ± 4	3.0 ± 0.4	74 ± 14	1.7 ± 0.4
Zona de filtración					
Fosfoyeso 1	650 ± 40	760 ± 40	580 ± 30	600 ± 120	9.0 ± 0.9
Fosfoyeso 2	370 ± 25	790 ± 50	640 ± 30	640 ± 120	14.3 ± 1.1
Fosfoyeso 3	360 ± 25	720 ± 40	650 ± 35	620 ± 60	7.8 ± 0.6
Fosfoyeso 4	318 ± 26	830 ± 52	670 ± 35	620 ± 60	< 2.2
Zona de concentración					
27% P_2O_5	1070 ± 110	230 ± 30	5.6 ± 0.5	78 ± 15	3.9 ± 0.5
54% P_2O_5	1830 ± 180	N.M.	7.9 ± 0.5	109 ± 14	13.2 ± 1.4

Tabla 1: Concentraciones de actividad (Bq/Kg) determinadas para radionucleidos de la serie del uranio (^{238}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb) y de la serie del torio (^{228}Th) en muestras representativas del proceso colectadas mientras se procesaba roca fosfática marroquí. La muestra fosfoyeso 1, se corresponde con el fosfoyeso separado de la pulpa líquida, tras su entrada en la etapa de filtración, mientras que las siguientes muestras de fosfoyeso se colectaron tras ser sometidas a sucesivos lavados (fosfoyeso 2 tras un primer lavado, fosfoyeso 3 tras un segundo lavado, y fosfoyeso 4 tras el lavado final, antes de ser bombeado a las balsas de almacenamiento).

riamente a esta exposición (isótopos de Ra y descendientes). No obstante, efectos de blindaje ejercidos por las propias instalaciones de la planta, la variable geometría de la fuente emisora (que cambia desde material fluyendo por tuberías a grandes depósitos, pasando por pilas de mineral) y otra serie de factores, pueden destruir las correlaciones entre los niveles de los radionucleidos involucrados y las exposiciones a la irradiación externa existentes. Así, aunque las determinaciones radiométricas pueden dar una información útil para evaluar la posible magnitud del impacto radiológico asociado al proceso, es necesario realizar una evaluación más precisa, mediante determinaciones experimentales, cuando el mineral procesado puede ser catalogado como material NORM

EVALUACIÓN RADIOLÓGICA OCUPACIONAL EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

En la tabla 3, se exponen los resultados correspondientes a los incrementos de las tasas de dosis instantáneas por irradiación externa en las diversas etapas del proceso, cuando se procesaban rocas fosfáticas originarias de Marruecos y Kola. Para cada una de las zonas de la planta se indica el rango de valores obtenidos para el incremento de la mencionada dosis instantánea. Estos resultados merecen los siguientes comentarios.

En primer lugar, podemos indicar que los incrementos en las exposiciones medidas en las zonas comunes son prácticamente nulos, lo que es explicable atendiendo a su localización y características al corresponderse con las salas de control de las etapas del proceso, con el laboratorio y con salas de descanso que están aisladas de las zonas donde se procesa la roca, ejerciendo

sus paredes un blindaje efectivo a la radiación gamma. En estas salas es donde los trabajadores se encuentran la mayor parte de su jornada laboral al estar el proceso de producción bastante automatizado.

En la zona de almacenamiento de la roca fosfática y de su molienda se midieron dosis instantáneas bajas o muy moderadas cuando se trataba roca originaria de Marruecos. Los valores más altos se obtuvieron en las cercanías del silo donde se acumulaba la roca. Igualmente, se midieron incrementos muy moderados en la zona de reacción, con independencia de que roca fuera tratada, lo que, teniendo en cuenta que el contenido radiactivo en el interior de los reactores es elevado cuando se trata roca marroquí, indica que los compartimentos del reactor ejercen un efectivo blindaje a la radiación gamma.

Valores superiores a los hasta ahora citados se encontraron tanto en la zona de almacenamiento de ácidos como en la zona de concentración (hasta 0.50 $\mu\text{Sv/h}$). Ello, en un principio, podría parecer sorprendente pues el ácido fosfórico que se almacena o se concentra en estas zonas, no posee prácticamente emisores gamma (las concentraciones de ^{226}Ra y descendientes son muy pequeñas, ver tablas 1 y 2). No obstante, los resultados obtenidos en estas dos áreas son explicable si tenemos en consideración que asociado al almacenamiento de los ácidos de producción y reciclaje es posible observar la formación y acumulación de fangos bien en el fondo de los depósitos, bien flotando en su superficie. Estos fangos están formados por pequeñas partículas de fosfoyeso, material orgánico, o partículas precipitadas contenidas en el P_2O_5 para los que el sistema de filtración no es efectivo, que decantan y/o precipitan en los depósitos de almacenamiento. Estos fangos se observan también en la

	^{238}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{228}Th
Zona de molienda					
Roca fosfática	72 \pm 5	89 \pm 9	69 \pm 4	51 \pm 8	91 \pm 5
Zona de reacción/digestión					
Pulpa líquida	174 \pm 12	38 \pm 4	0.95 \pm 0.01	12.2 \pm 1.3	25.4 \pm 1.2
Pulpa sólida	83 \pm 7	67 \pm 7	43.8 \pm 2.3	56 \pm 9	32.4 \pm 1.9
22% P_2O_5	159 \pm 10	24 \pm 3	< 0.62	< 100	28.1 \pm 1.5
Zona de filtración					
Fosfoyeso 1	142 \pm 9	118 \pm 7	44.2 \pm 2.4	50 \pm 7	33.3 \pm 1.9
Fosfoyeso 2	49 \pm 3	43 \pm 3	42.8 \pm 2.2	40 \pm 8	18.4 \pm 1.1
Fosfoyeso 3	38 \pm 3	44 \pm 4	45.8 \pm 2.2	< 153	21.1 \pm 1.3
Fosfoyeso 4	-	45.0 \pm 2.2	39.8 \pm 2.2	69 \pm 10	19.6 \pm 1.1
Zona de concentración					
27% P_2O_5	101 \pm 13	29.1 \pm 2.8	< 1.7	< 109	8.0 \pm 0.6

Tabla II: Concentraciones de actividad (Bq/Kg) determinadas para radionucleidos de la serie del uranio (^{238}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb) y de la serie del torio (^{228}Th) en muestras representativas del proceso colectadas mientras se procesaba roca fosfática de Kola. La muestra fosfoyeso 1, se corresponde con el fosfoyeso separado de la pulpa líquida, tras su entrada en la etapa de filtración, mientras que las siguientes muestras de fosfoyeso se colectaron tras ser sometidas a sucesivos lavados (fosfoyeso 2 tras un primer lavado, fosfoyeso 3 tras un segundo lavado, y fosfoyeso 4 tras el lavado final, antes de ser bombeado a las balsas de almacenamiento).



zona de concentración, donde incluso el ácido es sometido a un proceso de decantación inducido antes de entrar en el intercambiador de calor, y tienen la particularidad de tener un alto contenido radiactivo, especialmente de emisores gamma. En la tabla 4 se muestran los resultados correspondientes a fangos colectados en las zonas mencionadas, observándose las altas concentraciones de actividad de los radionucleidos de la serie del uranio, especialmente de ^{226}Ra .

Los resultados radiométricos de los fangos incluso explican el hecho de que se obtengan relativamente altas dosis instantáneas cuando se procesaba roca de Kola. Ello es debido a su presencia continua en los depósitos y en las superficies internas de las tuberías, que sólo se limpian, durante operaciones de mantenimiento, en contadas ocasiones al año (fangos formados mientras se procesa roca marroquí permanecen en depósitos y tuberías cuando se procesa roca de Kola). Las medidas en las zonas de almacenamiento y concentración de ácidos realizadas cuando se procesaba roca de Kola estaban así afectadas por lo que podemos denominar "efectos de memoria", como resultado del procesado previo

de roca marroquí (recuérdese que la roca de Kola se procesa sólo esporádicamente en la planta, mientras que la roca marroquí es procesada la mayor parte del tiempo).

Los valores más altos de dosis instantáneas en toda la planta fueron obtenidos en la zona de filtración. Ahora bien, hay que destacar que las medidas en dicha zona se pueden dividir en dos grandes grupos (diferenciados en la tabla 3). Algunas de las medidas fueron realizadas sobre el sistema de filtración (filtros horizontales con una extensión de 69 m^2), zona con muy bajo factor de ocupación, mientras que las restantes se realizaron en el perímetro de los filtros. Los valores más altos fueron medidos sobre los filtros por la no existencia de blindajes entre el material siendo filtrado y el punto de medida, mientras que se observó una clara disminución en las medidas en el perímetro debido a la atenuación de la radiación ejercida por las paredes laterales del sistema de filtración.

Las dosis instantáneas medidas sobre los filtros (a 1 m) son claramente más altas que las esperables. Baste para ello indicar, por comparación, que las dosis instantáneas determinadas a 1 m

sobre una superficie extensa de fosfoyeso (material presente en la zona de filtración), difícilmente sobrepasa los $0.3\text{ }\mu\text{Sv/h}$ [8]. Consecuentemente, debe existir en la zona de filtración una fuente adicional de radiación gamma que sea la principal contribuyente a la irradiación externa, la cual debe estar presente con independencia de la roca fosfática procesada, al no observarse una clara disminución en las exposiciones medidas cuando se trata roca de Kola. Esta fuente adicional, puede asociarse a la presencia en algunas partes de los equipos de filtración de una contaminación radiactiva permanente, enriquecida especialmente en isótopos de radio. La presencia verificada de costras enriquecidas en radio en las paredes y tuberías del sistema de filtración, la presencia de altos niveles de radio en las telas de filtración utilizadas en la separación de los fosfoyesos, etc., contribuyen notablemente a las altas dosis instantáneas medidas en la zona. Simplemente como botón de muestra en la tabla 5 recopilamos los resultados obtenidos en la caracterización radiométrica de algunas de estas costras y telas, que presentan muy elevadas concentraciones de ^{226}Ra .

Zona de la planta	Dosis instantáneas ($\mu\text{Sv/h}$). Roca Marruecos	Dosis instantáneas ($\mu\text{Sv/h}$). Roca Kola
Zona almacenamiento roca y molienda	0.04 - 0.37	-
Zona almacenamiento ácidos	0.04 - 0.50	0.14 - 0.41
Zona de Concentración	0.06 - 0.32	-
Zonas comunes	N.D. - 0.04	N.D. - 0.05
Zona de Digestión/Reacción	N.D. - 0.10	N.D. - 0.10
Zona de Filtración (sobre filtros)	0.45 - 1.37	0.30 - 1.0
Zona filtración (alrededor filtros)	0.10 - 0.17	0.11 - 0.17

Tabla 3: Intervalos para los incrementos sobre el fondo de las dosis instantáneas por irradiación externa ($\mu\text{Sv/h}$) determinados en las diversas zonas de la planta de producción de ácido fosfórico estudiada. Se presentaban los resultados obtenidos cuando en la planta se procesaba roca de Marruecos (columna central) y cuando se procesaba roca de Kola (columna derecha).

	²³⁸U	²³⁰Th	²²⁶Ra	²¹⁰Pb	²²⁸Th
Fango fondo depósito ácidos	1230 ± 70	2000 ± 150	4300 ± 220	1900 ± 90	32 ± 3
Fango flotando en el ácido almacenado	910 ± 60	910 ± 25	1310 ± 70	1420 ± 160	10 ± 1

Tabla 4: Concentraciones de actividad (Bq/Kg) en fangos colectados en el área de almacenamiento de ácidos.

Podemos concluir que en la mayoría de las áreas analizadas una fracción considerable de las dosis instantáneas por irradiación externa es producida por la existencia de una fuente contaminación radiactiva permanente en tuberías, depósitos y sistemas de filtración en la planta.

Ahora bien, en este estadio, es importante indicar que las relativamente altas exposiciones externas medidas en algunas zonas de la planta, no se traducen en elevadas dosis externas efectivas. Y ello es debido a que los factores ocupacionales en dichas zonas son muy bajos. Baste, como ejemplo indicar que la zona de filtración, en la que se midieron las exposiciones más elevadas, se encuentra prácticamente automatizada y la presencia de operadores no es requerida, salvo para realizar labores de mantenimiento.

Bajo condiciones normales de trabajo, las dosis efectivas por irradiación externa susceptibles de ser recibidas por los trabajadores en la planta es claramente inferior a 1 mSv/año, límite para el público. A esta conclusión hemos llegado suponiendo dos trabajadores tipo en la planta: el primero de ellos realiza sus labores fundamentalmente en la zonas de almacenamiento (500 h/a), molienda (500 h/a), reacción (400 h/a), y en las zonas comunes (600 h/a), mientras que el segundo realiza sus labores en las zonas de reacción (400 h/a), filtración sobre los filtros (100

h/a), filtración alrededor de los filtros (500 h/a), concentración (400 h/a) y en las zonas comunes (600 h/a). Por otra parte, y tomando una postura conservativa, se ha considerado para cada una de las zonas el valor máximo de la tasa de dosis absorbida determinada en su interior. Los valores obtenidos para las dosis efectivas por irradiación, incluso en situaciones tan extremas, se encuentran en el rango de 0.3 a 0.4 mSv/año para los dos trabajadores tipo.

La dosis efectiva comprometida que recibe por otra parte un trabajador a jornada completa por la inhalación de aerosoles generados en la planta es claramente inferior a la dosis efectiva por irradiación externa. El estudio detallado sobre las implicaciones radiológicas asociadas a la inhalación en la planta analizada puede encontrarse en [9]. Aquí simplemente indicaremos que en el interior de la planta se produce una clara resuspensión de material inhalable, con una concentración de material particulado en aire en los fil-

tros muy superior a la determinada en la estación de fondo. Ese exceso de material resuspendido presenta concentraciones másicas de los radionucleidos de la serie del uranio compatibles con las presentes en la roca fosfática tratada en la planta, lo que es explicable al ser los procesos de almacenamiento de la roca y molienda los únicos susceptibles de generar material resuspendido (los demás procesos son húmedos). Se ha estimado un incremento máximo de alrededor de 0.25 mBq/m³ en las concentraciones volumétricas de actividad de U y descendientes inhaladas por el personal de la factoría, lo que conlleva una dosis efectiva comprometida adicional inferior a 50 µSv/año.

Finalmente indicaremos que los niveles de concentración de ²²²Rn determinados tanto con detectores activos como pasivos, son bastante bajos (generalmente inferiores a 100 Bq/m³) y bastante homogéneos a lo largo de todas las zonas de la planta. Estos resultados no son sorprendentes pues este tipo de plantas

	²³⁸U	²²⁶Ra	²¹⁰Pb	²²⁸Th
Telas filtros	290 ± 60	3340 ± 130	2330 ± 110	48 ± 8
Filtros de mangas	570 ± 80	2110 ± 90	1030 ± 70	28 ± 7
Costras tuberías	980 ± 40	1410 ± 60	2030 ± 160	17 ± 2

Tabla 5: Concentraciones de actividad (Bq/kg) en costras, filtros y telas colectadas en la zona de filtración de la planta analizada.

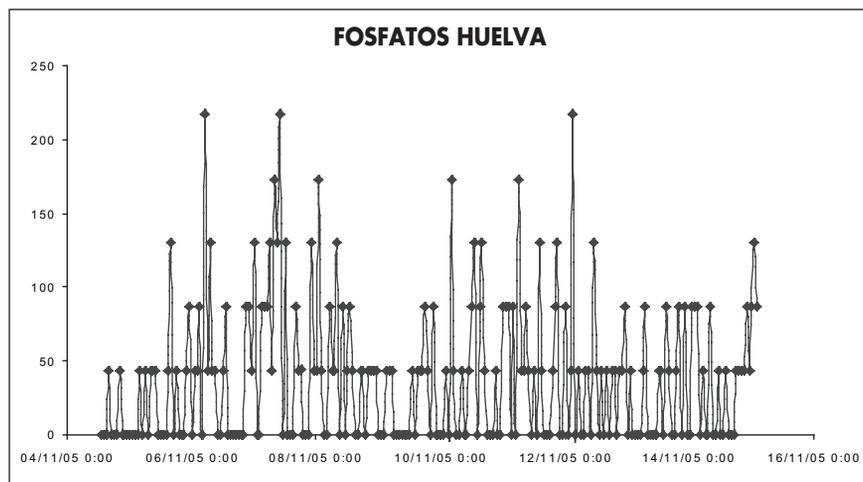


Figura 2: Niveles de concentración de ^{222}Rn (Bq/m^3) en el interior de la planta analizada.

se encuentran suficientemente ventiladas. Ello nos permite descartar el ^{222}Rn como posible problema desde el punto de vista radiológico asociado al desarrollo de esta actividad industrial. En la figura 2, y simplemente como ejemplo, mostramos los resultados obtenidos en continuo por un detector activo, situado en la sala de control de las zonas de ataque y filtración de la planta. En dicha figura puede observarse que en algunos intervalos temporales las concentraciones de ^{222}Rn no superan los límites de detección de estos detectores ($30\text{-}40 \text{ Bq}/\text{m}^3$), mientras que su valor medio para los 10 días de medida es del orden de $50 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Los valores puntuales máximos observados, no superan por otra parte los $150 \text{ Bq}/\text{m}^3$, valor bastante alejado de los valores límites que la UE o la IAEA fijan como umbral para la adopción de medidas de intervención.

CONCLUSIONES

Una detallada evaluación radiológica ocupacional en una planta de producción de ácido fosfórico situada en Huelva, ha permitido concluir que el incremento en la dosis efectiva susceptible de ser recibida por los

trabajadores debido a las actividades que realizan en ella es claramente inferior a $1 \text{ mSv}/\text{año}$. Las medidas de las dosis instantáneas por irradiación externa han mostrado la existencia de diversas zonas en la planta donde las exposiciones podían alcanzar o superar ligeramente $1 \mu\text{Sv}/\text{h}$, pero dichas zonas están caracterizadas por unos factores de ocupación muy bajos al estar los procesos automatizados. Por otra parte, las dosis efectivas comprometidas por inhalación recibidas por los trabajadores son moderadas ($50 \mu\text{Sv}/\text{año}$) y el ^{222}Rn no constituye un problema radiológico pues sus concentraciones en el interior de la planta son inferiores a $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$.

Los mapas dosimétricos por irradiación externa realizados cuando se procesaban rocas fosfáticas con un muy diferente contenido radiactivo, han puesto de manifiesto la existencia de una fuente de contaminación radiactiva permanente en la planta, enriquecida fundamentalmente en ^{226}Ra , debida a la presencia de costras fangos e incrustaciones en tuberías, depósitos y equipos de la planta. Son las labores de eliminación de estas fuentes de contaminación (durante el

mantenimiento de la planta), las que se tienen que realizar con precaución para evitar exposiciones significativas de los trabajadores, sobre todo por inhalación.

REFERENCIAS

- [1] IAEA, *Assessing the need for Radiation Protection Measures in work involving minerals and raw materials*, IAEA Safety Reports series no 49, IAEA, Viena, 2007
- [2] Bolívar J.P., García-León M., García-Tenorio R. *Enhancement of natural radioactivity in soils and salt-marshes surrounding a non-nuclear industrial complex*. Applied Radiation Isotopes 46: 714-718, 1995
- [3] Bolívar J.P., García-Tenorio R., Vaca F. *Radioecological study of an estuarine system located in the South of Spain*. Water Research 34: 2941-2950, 2000.
- [4] Periañez R. *Measuring and modelling temporal trends of Ra-226 in waters of an estuary affected by the phosphate industry*. Marine Environmental Research 60: 35-49, 2005
- [5] Bolívar J.P., García-Tenorio R., Martín-Matarranz J.L. *Evaluación radiológica del apilamiento de fosfoyesos de las marismas del Tinto (Huelva)*. Alfa-Revista de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica 1:39-45, 2008
- [6] Sanmiguel E.G., Bolívar J.P., García-Tenorio R., Martín J.E.. *Th-230/Th-232 activity ratios as chronological marker complementing Pb-210 dating in an estuarine system affected by industrial releases*. Environmental Pollution 112: 361-368, 2001.
- [7] Sanmiguel E.G., Bolívar J.P., García-Tenorio R. *Vertical distribution of Th-isotope ratios Ra-226 and Cs-137 in sediment cores from an estuary affected by anthropogenic releases*. Science of the Total Environment 318: 143-157, 2004.
- [8] Más J.L., Bolívar J.P., García-Tenorio R., Aguado J.L., Sanmiguel E.G., González J. *A dosimetric model for determining the effectiveness of soil covers for phosphogypsum waste piles*. Health Physics 80: 34-40, 2001
- [9] Bolívar J.P., Terán T., Sanmiguel E.G., García-Tenorio R. *Radiactividad natural en aerosoles en una industria NORM: implicaciones radiológicas*. Radioprotección 53, vol XIV 328-331, 2007.

Materiales NORM en las centrales térmicas de carbón

A. Baeza¹, D. Cancio², J.A. Corbacho¹, J.C. Mora², B. Robles²

¹Laboratorio de Radiactividad Ambiental (LAUREX). Universidad de Extremadura

²Unidad de Protección Radiológica del Público y del Medio Ambiente. CIEMAT

RESUMEN

Las centrales térmicas de carbón se encuentran incluidas en las denominadas industrias NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials). Los radionucleidos naturales presentes en los carbones se concentran en las cenizas y las escorias en el proceso de la combustión, pudiendo producir un aumento de su contenido radiactivo. Para realizar el estudio del impacto radiológico producido por el funcionamiento de estas instalaciones es necesario estimar el término fuente y definir adecuadamente los escenarios de exposición para los trabajadores y para el público, basándose en los datos obtenidos en las campañas de medida y en la modelización. En este trabajo se presentan las estrategias desarrolladas con objeto de evaluar el impacto radiológico asociado a estas instalaciones así como algunos resultados característicos obtenidos.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la definición del OIEA [1], las industrias NORM son aquellas en las que, debido a la actividad que en ellas se lleva a cabo, puede incrementarse significativamente la exposición a las radiaciones ionizantes, tanto a los propios trabajadores, como a las poblaciones de su entorno. Las centrales térmicas de carbón se pueden considerar como industrias NORM, ya que los combustibles fósiles que utilizan, dependiendo principalmente del tipo de formación geológica de su yacimiento, contienen concentraciones variables de radionucleidos naturales de las series del uranio y del torio, así como ⁴⁰K.

La formación del carbón requiere de una serie de pasos en los que se van evacuando diversas sustancias (agua, metano y dióxido de carbono), produciéndose paulatinamente un enriquecimiento en carbono. A medida que la temperatu-

ra y la presión aumentan, la turba se transforma sucesivamente, primero en lignito, después en carbón bituminoso y finalmente en antracita. Los distintos tipos de carbones se caracterizan por el grado de carbono que contienen, por su contenido en cenizas o materia inorgánica no combustible, por su grado de humedad y por el contenido en materiales volátiles. Algunos metales pesados y los antes citados radionucleidos, están a menudo asociados a la presencia de materiales sulfurados en el carbón. En la tabla I se muestran algunos ejemplos de las concentraciones típicas de radionucleidos naturales existentes en carbones procedentes de diferentes partes del mundo.

FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UNA CENTRAL TÉRMICA DE CARBÓN

Para producir en una central térmica de carbón 1GWa eléctrico es necesari-

ABSTRACT

The coal-fired power stations are included in the so-called NORM industries (Naturally Occurring Radioactive Materials). The natural radionuclides present in the coals are concentrated in the fly and bottom ashes during the combustion process, and can lead to increased radioactive content. To make the study of the radiological impact produced by the operation of these facilities, it is necessary to estimate the source term properly and define the exposure scenarios for workers and the public. This paper presents the strategies developed to assess the radiological impact associated with these facilities as well as some of the results obtained.

rio quemar unos $3 \cdot 10^9$ kg de carbón [1] habiéndose observado consumos de entre $3 \cdot 10^9$ kg a $5 \cdot 10^9$ kg anuales en las instalaciones estudiadas en el proyecto debido a los diversos rendimientos de los combustibles utilizados. Esto significa que estas instalaciones consumen grandes cantidades de combustible en periodos de tiempo relativamente pequeños, para lo que deben disponer de zonas especialmente habilitadas, denominadas parques de combustible (foto 1), con el fin de acumular grandes cantidades de carbón. A estos llega el carbón por muy diversos medios de transporte, como se muestra en la figura 1. Su procedencia puede ser muy variada, dependiendo tanto de las reglas del mercado internacional de carbón, como de la capacidad que tengan las calderas de cada central, para quemar diferentes tipos de combustibles fósiles. Desde estos parques



de carbón, mediante maquinaria específica o apiladoras y con la ayuda de palas mecánicas, se prepara la mezcla de consumo.

Dicha mezcla, normalmente se introduce en tolvas con palas mecánicas, desde donde se transporta mediante cintas hasta los molinos de pulverizado y desde estos se arrastra con una corriente de aire precalentado a través de los quemadores hasta la caldera. La temperatura de combustión de la mezcla depende del diseño de cada caldera, pero puede ser de hasta unos 1700° C. En el proceso de combustión, la mayor parte de la sustancia mineral del carbón se funde, formando una ceniza vitrificada. La parte más pesada de las cenizas cae al fondo de la caldera en forma de ceniza gruesa o escoria, que es retirada, ya sea por vía húmeda o seca, y depositada en zonas habilitadas al efecto, tales como balsas artificiales, escombreras o minas. Una utilización posible de estos subproductos es su incorporación a diferentes materiales de construcción. Por su parte, las cenizas más ligeras o volantes, junto con los gases de combustión calientes y los compuestos minerales volátiles, pasan a través de la caldera hasta los preci-

pitados electrostáticos, en donde se retienen la práctica totalidad de las cenizas volantes, con eficiencias de retención superiores al 99,5% en las centrales térmicas modernas, mediante la aplicación de diferencias de potencial del orden de 70 kV. En algunas instalaciones, las cenizas volantes son depositadas en balsas acondicionadas al efecto, aunque actualmente suelen almacenarse en silos para su posterior venta a industrias cementeras para la fabricación de materiales de construcción. Finalmente, los gases de combustión son directamente evacuados a la atmósfera. Sin embargo, en aquellas centrales térmicas donde se utilizan combustibles con altos contenidos de azufre, los gases de combustión son conducidos, previamente a su evacuación, a un sistema de desulfuración, donde mediante un aporte de piedra caliza y agua, se obtiene como subproducto yeso, quedando los gases de combustión muy eficientemente desulfurados. Como puede verse en la tabla I, los diversos tipos de carbón poseen diferentes concentraciones de ^{40}K , ^{238}U y ^{232}Th y de sus descendientes radiactivos. Los radionucleidos presentes en las sustancias minerales no combustibles del carbón se reparten

entre las escorias y las cenizas volantes, con la excepción de los gases y los presentes en los minerales volatilizados, que se incorporan directamente a los gases de combustión. En las grandes centrales térmicas, la proporción entre escorias y cenizas volantes producidas es aproximadamente de un 20% y un 80% en peso respectivamente [1]. Debido principalmente a la eliminación del componente orgánico del carbón al transformarse este en CO_2 , sus actividades específicas están directamente relacionadas con las existentes en los carbones de donde proceden, aumentando aproximadamente en un orden de magnitud con respecto a la de éstos últimos. Por consiguiente, las concentraciones radiactivas en las cenizas y en las escorias de las centrales térmicas de carbón pueden ser un orden de magnitud mayor que las concentraciones normalmente existentes en la corteza terrestre. El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) [2] aporta los siguientes valores como media aritmética de las concentraciones de cenizas volantes, expresados en Bq kg⁻¹: 256 para el ^{40}K , 200 para el ^{238}U , 240 para el ^{226}Ra , 930 para el ^{210}Pb , 1700 para el ^{210}Po 70 para el ^{232}Th , 110 para el ^{228}Th y 130 para el ^{228}Ra , indicando que se produce un enriquecimiento de un factor 3 para el ^{210}Pb y de 5 para el ^{210}Po , con respecto a los otros elementos de su serie. Esto se debe probablemente a la volatilización de estos dos elementos durante la combustión y a una condensación posterior de los dos radionucleidos sobre las partículas de cenizas volantes más finas en algún punto de la trayectoria ascendente de los gases.

Las actividades de los radionucleidos naturales descargados a la atmósfera por una central eléctrica de carbón (foto 2), por unidad de energía generada,



Foto 1: Parque de carbones de una central térmica de carbón.

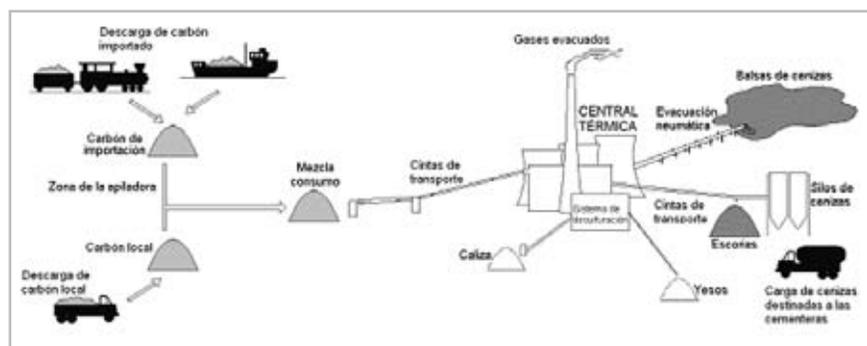


Figura 1: Esquema de funcionamiento de una central térmica de carbón típica.

dependen de varios factores tales como la actividad específica del carbón utilizado, su contenido en cenizas, la temperatura de combustión y la eficacia de los sistemas de filtrado.

ESTIMACIONES DE LOS TÉRMINOS FUENTE Y LAS ESTRATEGIAS DE MEDIDA Y MODELIZACIÓN

Partiendo de la anterior descripción del funcionamiento de una central térmica de carbón calificable de estándar, se pueden identificar el término fuente, los principales escenarios y las vías de exposición asociadas a los mismos, tanto para los trabajadores como para los grupos de población potencialmente afectados.

Escenarios y vías de irradiación

El primer escenario está constituido por las liberaciones gaseosas efectuadas a la atmósfera, dado que algunos radionucleidos, como el ^{210}Pb y ^{210}Po , son vaporizados durante la combustión del carbón, pudiendo al menos parte de dichas actividades ser emitidas, como materia condensada en las cenizas volantes, a través de las chimeneas de la central. Las vías de exposición asociadas a este término fuente atmosférico son la inhalación y la irradiación externa por inmersión en la nube, así como la inhalación, la ingestión y la

irradiación externa consecuencia de la actividad depositada sobre el suelo.

Otro escenario lo constituye, por una parte, el almacenamiento en pilas de los carbones recibidos y el tránsito y acumulación de este combustible por distintos puntos de la central térmica. Por otra parte la acumulación de cenizas volantes y de escorias en las zonas habilitadas para este fin, generalmente zonas de acopio húmedas o secas adyacentes. La implicación radiológica de estas acumulaciones de productos y/o de subproductos normalmente se circunscribe a dichas zonas y a sus entornos más o menos inmediatos, ya que hasta estos pueden llegar las partículas más finas de los materiales que han sido resuspendidas a la atmósfera.

Las vías de exposición asociadas son: la irradiación externa de los materiales almacenados y, la inhalación tanto de las partículas resuspendidas, como del radón y sus descendientes.

Otro escenario posible aparecería por el hecho de una posible lixiviación de los radionucleidos presentes en las acumulaciones de materiales procedentes de la combustión (cenizas y escorias). Afortunadamente, el potencial de lixiviación de los radionucleidos presentes en las cenizas es muy bajo dada la forma química en la que están presentes. Así, Bojanowski y colaboradores [3] han estimado que, bajo soluciones neutras o alcalinas, la lixiviación de U y Ra es inferior al 1% de los radionucleidos contenidos en las cenizas. Por otro lado, Tracy y Prantl [4] han estimado que la lixiviación de radionucleidos en las aguas que están en contacto con cenizas volantes durante varios meses es del orden de un 0,002% por mes. De forma que es poco probable que este tipo de transferencias puedan suponer problemas radiológicos significativos, salvo en situaciones muy singulares.

Por último debería de considerarse la utilización de las cenizas y escorias,



Foto 2: Vista de una central térmica e carbón.



producidas en este tipo de instalaciones, para la fabricación de materiales de construcción, lo que podría implicar un potencial incremento de la dosis tanto por irradiación externa, como por la inhalación del radón exhalado y de sus descendientes, en los trabajadores implicados en esa fabricación y en conjuntos de población que pueden incluso estar muy distantes de donde se originaron las cenizas. Por ese motivo sería necesario llevar a cabo un estudio detallado de las industrias que fabrican estos materiales y evaluar el posible impacto a sus trabajadores.

A partir de los escenarios de exposición identificados, se pueden definir dos grupos de individuos susceptibles de ser afectados por los mismos. Por un lado, la población en general que vive en el entorno de la instalación, donde las principales vías de exposición proceden de los radionucleidos asociados a las cenizas resuspendidas desde las zonas de acopio de los residuos sólidos así como de las emisiones de cenizas volantes por chimenea, que pueden incrementar la exposición por su inhalación, por su depósito en los suelos o por su incorporación a la cadena alimenticia. Por otro lado, los trabajadores de la central, para los que pueden identificarse cuatro vías de exposición: a) la inhalación de partículas resuspendidas en las zonas de trabajo, b) la irradiación externa procedente de las pilas de materiales, c) la inhalación de radón en recintos cerrados que contengan grandes acumulaciones de carbones o materiales residuales y, finalmente d) la exposición a las incrustaciones de algunos radionucleidos de punto de ebullición bajo que se producen en el interior de las calderas.

Estrategia de muestreo y medidas

Una vez delimitados los diferentes escenarios y sus vías de exposición

asociadas, es necesario diseñar una estrategia para la toma de muestras y la realización de medidas in situ, con el fin de caracterizar radiologicamente las zonas implicadas:

a) Los niveles de concentración de actividad (As) de los radionucleidos naturales, ^{40}K , ^{238}U y ^{232}Th y sus descendientes radiactivos aportados por el desarrollo de la citada actividad en cada uno de los materiales utilizados o generados;

b) Los valores puntuales de tasa de dosis equivalente ambiental ($H^*(10)$) en todas esas localizaciones.

A partir de las medidas de As en los materiales muestreados y de $H^*(10)$ en los puntos seleccionados, se pueden calcular las correspondientes componentes de la dosis efectiva total (E_T) recibida por los trabajadores y los miembros de los grupos críticos (o la persona representativa según las nuevas recomendaciones de la ICRP) definidos. Para ello se utilizan parámetros, a ser posible específicos de cada localización, tanto obtenidos de la bibliografía como aportados por cada instalación. Normalmente es necesario además complementar estas medidas con los valores que se obtienen utilizando distintos modelos. Estos modelos se escogen de forma que sean lo más realistas posibles. De este modo, se calcula E_T para cada grupo como [5]:

$$E_T = H_p(d) + \sum_j e(g)_{j,\text{ing}} \cdot I_{j,\text{ing}} + \sum_j e(g)_{j,\text{inh}} \cdot I_{j,\text{inh}}$$

Donde $H_p(d)$ es la dosis personal recibida a una profundidad d, que debe estimarse a partir de las medidas de $H^*(10)$, de los valores medidos de A_s o de modelizaciones realizadas al efecto; $e(g)_{j,\text{ing}}$ y $e(g)_{j,\text{inh}}$ son la dosis efectiva comprometida por unidad de cada radioisótopo ingerido o inhalado respectivamente; $I_{j,\text{ing}}$ e $I_{j,\text{inh}}$ son la

cantidad de radioisótopo ingerida e inhalada respectivamente.

El conocimiento preciso de los niveles de actividad de los radionucleidos ^{40}K , ^{238}U y ^{232}Th contenidos en los combustibles y subproductos generados en cada central térmica se determina a partir de muestras representativas de dichos materiales y de su posterior medida en el laboratorio, mediante técnicas de espectrometría alfa y gamma. Por otro lado, para evaluar la concentración de estos radionucleidos en el aire, en las zonas que previsiblemente experimentan un mayor impacto por la resuspensión de las partículas más finas, deben realizarse captaciones de aerosoles mediante equipos in situ que, en un periodo de tiempo razonable, permitan tomar muestras representativas de las zonas consideradas. Existe una dificultad añadida en la determinación de la actividad depositada en los suelos como consecuencia del funcionamiento de la central térmica sometida a estudio, ya que en las muestras que se recogen y analizan, se encuentra acumulada una actividad natural, normalmente pequeña, que es debida a dicho depósito, en materiales que poseen contenidos de concentración de actividad, constituyentes del fondo natural, cuya variabilidad es del mismo orden que este depósito adicional.

Por último, para evaluar la componente de dosis debida a la irradiación externa desde los distintos materiales, en aquellos puntos donde existen acumulaciones de estos y que además son accesibles a las personas, se utilizan monitores de tasa de dosis portátiles que miden $H^*(10)$, que permiten obtener valores representativos.

Para calcular la dosis efectiva, con la que comparar las dosis de referencia aplicables en cada caso, es necesario complementar las medidas realizadas en las campañas de medida, con valores de concentración de actividad o de

H*(10) calculados a partir de modelos dosimétricos. En cualquier caso, tanto los parámetros como las hipótesis utilizadas en los modelos, deben ajustarse lo máximo posible a situaciones reales, evitando así obtener resultados demasiado conservadores. Hay que prestar especial atención a aquellos casos en los que la contribución es del mismo orden que la variabilidad de los resultados del fondo medido y aquellos en los que no es posible realizar medidas en las mismas condiciones en las que se encuentran los miembros de los grupos evaluados. También es necesario tener presente la utilización de elementos de protección individual.

Cuando se realizan evaluaciones de una forma no conservadora, es además necesario estimar, o al menos discutir, las incertidumbres asociadas a los resultados, como consecuencia de las incertidumbres asociadas a las medidas y a los valores obtenidos mediante la utilización de modelos, sin olvidar la propia variabilidad del fondo natural.

EL PROYECTO “ESTUDIO DEL IMPACTO RADIOLÓGICO DE LAS CENTRALES TÉRMICAS DE CARBÓN SOBRE SUS ENTORNOS”

Actualmente, un grupo de investigación integrado por miembros de la Unidad de Protección Radiológica del Público y del Medio Ambiente del CIEMAT y del Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Extremadura, gracias a la financiación aportada por el Consejo de Seguridad Nuclear y la colaboración de ENDESA Generación, están desarrollando el Proyecto de Investigación titulado “Estudio del impacto radiológico de las Centrales de Carbón sobre sus entornos”.

La amplitud del citado proyecto se ha centrado en las cuatro mayores centrales térmicas de carbón, de entre las aproximadamente 50 existentes en Es-

paña - As Pontes, Almeria, Compostilla y Teruel - cuya localización se muestra en la figura 2, ya que en ellas se dan simultáneamente una serie de circunstancias propicias. En primer lugar, su elevada potencia instalada y por lo tanto, la gran cantidad de carbones que utilizan y cenizas que producen. En segundo lugar, los enclaves en los que se sitúan, ya que estos presentan distintas características climáticas, que pueden condicionar la dinámica de los radionucleidos evacuados. En tercer lugar, las diferentes procedencias y características de los carbones utilizados en cada una de ellas, que en principio podrían poseer distintos contenidos radiactivos. Por último, las diferentes fechas de puesta en funcionamiento de cada una de ellas, lo cual puede condicionar, al menos en parte, sus modos de operación y de generación y tratamiento de sus residuos.

Para la ejecución del proyecto en cada una de las cuatro centrales térmicas seleccionadas, se identificaron cuatro etapas: a) Recopilación de la documentación técnica relativa a la

instalación; b) Toma de muestras; c) Determinaciones analíticas; d) Evaluación del impacto radiológico que se produce en cada uno de los escenarios de exposición representativos.

La etapa inicial de recogida de documentación, permitió la identificación, sobre el esquema general de funcionamiento, de las peculiaridades de cada instalación, intentando acotar aquellos puntos o procesos donde existe un mayor riesgo potencial de que se incremente significativamente la dosis de radiación, por alguna de las vías de exposición antes enunciadas. La ejecución minuciosa de esta etapa es absolutamente necesaria para asegurar la validez de las siguientes. En esta etapa fue muy útil el intercambio de información con los responsables de operación, de seguridad e higiene de los trabajadores y del área medioambiental de cada planta.

El estudio de la documentación permite además, definir las tareas que realizan los operarios y las condiciones en que se realizan estos trabajos, datos necesarios para poder realizar la evaluación de la dosis efectiva que

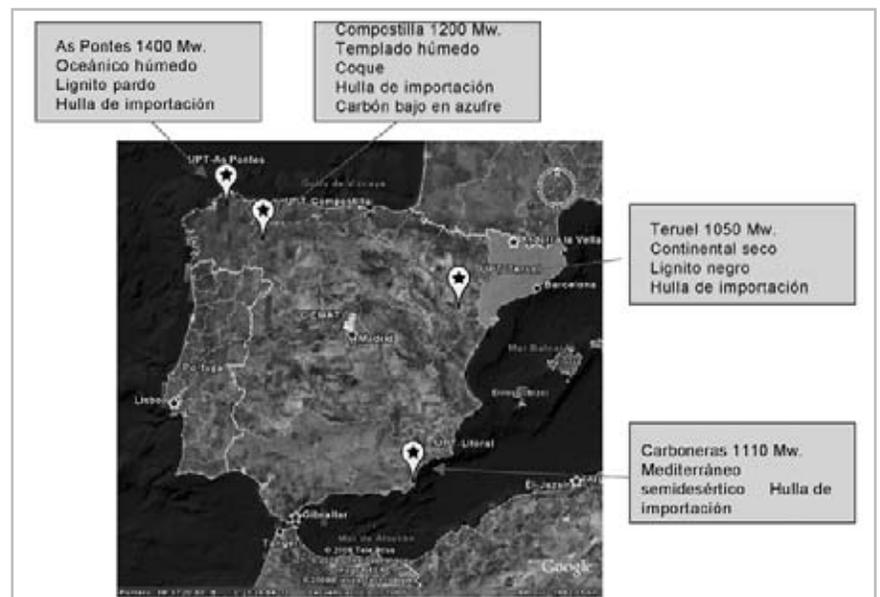


Figura 2: Situación de las cuatro centrales térmicas estudiadas, potencia instalada, climatología y tipos de combustible utilizados.



reciben los trabajadores de la forma más realista posible.

Una vez delimitada la amplitud del muestreo, este se efectuó en cada instalación, al menos en dos instantes diferentes de la ejecución del proyecto, coincidiendo éstos con estaciones climáticas diferentes, como verano e invierno, con el fin de conocer experimentalmente la influencia que esas condiciones meteorológicas tienen sobre la dinámica de los radionucleidos en cada instalación y en su entorno. Por otra parte, de esta forma es posible comprobar la constancia temporal o no del modo de operación de cada central y la homogeneidad o heterogeneidad de los carbones utilizados.

Campañas de muestreo y medida

En las campañas de toma de muestras, se recogieron tanto muestras representativas de los principales materiales utilizados o generados: carbones, cenizas y escorias, como de los principales medios receptores de los radionucleidos: aerosoles, suelos, aguas y alimentos. Para los aerosoles, se complementan las muestras recolectadas por el equipo del proyecto, con las aportadas por las respectivas centrales, correspondientes a sus programas de vigilancia de emisión de contaminantes no radiactivos. Así mismo, se realizó un muestreo exhaustivo de $H^*(10)$ en las zonas donde el impacto radiactivo previsible es mayor, tanto dentro del perímetro de cada central como en puntos representativos de su entorno.

El trabajo de preparación de muestras, de separación radioquímica de los radioelementos de interés y de análisis de su contenido radiactivo en el laboratorio, no tiene para el presente estudio ninguna peculiaridad que lo di-

ferencie del que debe llevarse a cabo para la obtención de experimental de los niveles de actividad que permitan valorar el impacto radiológico medioambiental de otro tipo de instalación. Tan sólo merece la pena señalar dos aspectos. En primer lugar que, dado que los principales radionucleidos de interés son emisores alfa - gamma, con frecuencia debe recurrirse a la espectrometría alfa, para determinar, con suficiente precisión, su concentración en los diferentes tipos de muestras analizadas, con lo que ello supone de trabajo de laboratorio para obtener las correspondientes medidas, con la calidad necesaria para realizar las espectrometrías. En segundo lugar, la dificultad que entraña el interpretar algunos de los resultados, dado que las emisiones producidas desde las centrales corresponden a radioelementos naturales que se incorporan a entornos que ya poseen concentraciones apreciables de dichos radioisótopos naturales.

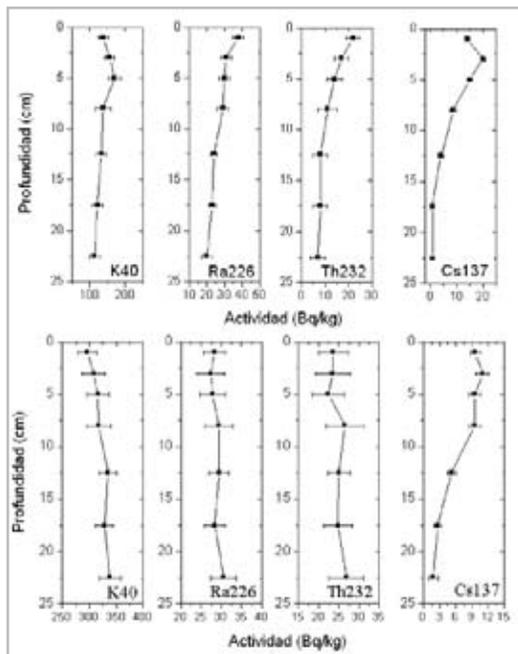


Figura 3: Niveles de actividad de ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{137}Cs en muestras de perfiles de suelo recogidas en el entorno de una de las centrales térmicas estudiadas.

Un ejemplo ilustrativo de dicha dificultad se produce al intentar evaluar el depósito radiactivo producido por el funcionamiento de una determinada central térmica sobre los suelos de su entorno, ya que poseen esos mismos elementos radiactivos. La figura 3 ilustra un método utilizado para valorar el depósito. En ella se muestra la evolución con la profundidad de los niveles de actividad presentes en dos suelos recolectados en las proximidades de una de las centrales estudiadas, para los radionucleidos: ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{137}Cs . De todos ellos, sólo el último, el ^{137}Cs , es un radionucleido artificial, de hecho, el que su actividad presente una evolución cuasiexponencial decreciente con la profundidad, implica que dichos suelos han permanecido imperturbados desde al menos los años 1950 a 1960, momento en que se produjo preferentemente el depósito de dicho radioelemento. Para este tipo de suelos no perturbados, la distribución con la profundidad de los otros tres radionucleidos naturales antes citados, debe en principio ser constante como puede verse en el suelo mostrado en la parte inferior de la figura 3, ya que dicha actividad es proporcional a las características geológicas de los respectivos suelos, que no se modificaron para el caso que nos ocupa. Sin embargo, el hecho de que se detecte una evolución también cuasiexponencial con la profundidad para alguno de ellos, como puede observarse en la parte superior de la citada figura, es indicativo de que se ha producido un aporte exógeno de dichos radionucleidos naturales. Una estimación del depósito integrado producido puede obtenerse a partir de la diferencia entre los niveles detectados y las actividades cuasi constantes existentes a las mayores profundidades.

RANGOS Y MEDIAS DE CONCENTRACIÓN MEDIA (Bq/kg) DE RADIONUCLEIDOS HALLADAS EN DIFERENTES TIPOS DE CARBÓN								
País	²³⁸ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th	²²⁸ Ra	⁴⁰ K
Australia	8.5-4.7	21-68	19-24	20-33	16-28	11-69	11-64	23-140
Brasil	72	-	72	72	-	62	62	-
Egipto	59	-	26	-	-	8	8	-
Alemania	-	-	10-145	-	-	10-63	-	10-700
Alemania	-	-	1-58	-	-	1-58	-	4-220
Alemania	-	-	10	-	-	8	-	22
Grecia	<390	-	44-206	59-205	-	-	9-41	-
Hungría	<480	-	-	-	-	12-97	-	30-384
Polonia	<159	-	-	-	-	<123	-	<785
Italia	23	-	-	-	-	18	-	218
Rumanía	<415	-	<557	<510	<580	<170	-	-
R.U.	7-19	8-25	7-22	-	-	7-19	-	55-314
EE.UU.	6-7	-	9-59	12-77	3-52	3-21	-	-

Tabla I: Concentraciones de radionucleidos en carbones de diversas procedencias [1].

	⁴⁰ K (Bq/kg)	²²⁶ Ra (Bq/kg)	²³² Th (Bq/kg)	²¹⁰ Po (Bq/kg)
Carbón local	90-325	50-70	20-30	NM
Carbón importado	<100	20-30	15-30	14-90
Mezcla consumo	50-100	20-60	15-30	14-90
Cenizas volantes	150-1150	80-190	70-110	260-960
Escorias	140-1100	65-150	50-100	10-60
Carbón media mundial [5]	140-840	17-60	11-64	-
Cenizas volantes [6-9]	16-758	140-1500	47-150	-

Tabla II: Rangos de niveles de actividad hallados en los combustibles y subproductos analizados hasta el momento en las cuatro centrales térmicas incluidas en el proyecto junto con niveles de actividad promedio y/o rangos hallados en la bibliografía.

Por último, a partir de los datos obtenidos en las etapas anteriores y de la aplicación de los correspondientes modelos, es posible realizar la evaluación de la dosis efectiva que recibe cada grupo crítico en los escenarios considerados representativos.

ALGUNOS RESULTADOS CARACTERÍSTICOS

A modo de ejemplo, se citan algunos niveles de concentración de actividad medidos en los carbones utilizados en las centrales térmicas objeto del estudio, así como los de las cenizas volantes y escorias, producidas duran-

te la operación de las mismas. De esta forma, podremos enmarcar dentro del contexto mundial (tabla I) las características de los combustibles utilizados. Estos resultados quedan resumidos en la tabla II, donde además, se muestran los rangos de niveles de actividad en cenizas volantes hallados por diferentes autores en otras instalaciones.

Por otro lado, los factores de enriquecimiento encontrados en las cenizas y escorias, cuyos rangos mostramos en la tabla III, dependen por un lado del contenido mineral del combustible y del diseño de la caldera. Así por ejemplo, el informe NRPB [10] indica que,

en aquellos carbones cuyos contenidos en cenizas alcancen un 20%, pueden llegar a obtenerse enriquecimientos de un factor 5 en las cenizas volantes. Este valor es razonable y ha sido obtenido también en las muestras medidas en las centrales estudiadas, siendo de hecho este factor de enriquecimiento inversamente proporcional al contenido de materia no combustible que posee el carbón. Así, en los combustibles con contenidos porcentuales de cenizas minerales bajos, como la hulla de importación de buena calidad utilizada en una de las centrales, con contenidos de esta materia de un 15% en promedio, el factor de enriquecimiento medio medido para el ²²⁶Ra, ⁴⁰K y ²³²Th en las cenizas volantes es de un 6.1. En otra instalación en la que se emplea una mezcla de combustibles, en los que se obtienen contenidos en materia mineral superior al 20% se obtienen factores de enriquecimiento de estos radionucleidos de 4.6 en promedio para las cenizas volantes.

Se observa, además, que existe un enriquecimiento diferente de las escorias frente a las cenizas, asociado a factores como la combustión incompleta y/



BIBLIOGRAFÍA

- [1]- Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation. Technical Reports Series No 419. International Atomic Energy Agency. Viena. 2003
- [2]- Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York. 1993.
- [3]- Bojanowski, R. Piekos and Paslawska, S. leachability of radionuclides from fly ash and phosphogypsum. *Nukleonika*, 43; 505-520, 1998
- [4]- B. L. Tracy and F. A. Prantl. Radiological Impact of Coal-fired Power Generation. *J. Environ. Radioactivity*, 2; 145-160, 1985
- [5]- Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de radiación. Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997). Agencia De Energía Nuclear De La Organización De Cooperación Y Desarrollo Económico, Organismo Internacional De Energía Atómica, Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación, Organización Internacional Del Trabajo, Organización Mundial De La Salud Y Organización Panamericana De La Salud.
- [6]- Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York. 2000
- [7]- G.A.Ayçık and A. Ercan. Radioactivity measurements of coals and ashes from coal fired power plants in the southwestern part of Turkey. *J.Environ.Radioactivity*, 35; 23-35, 1997
- [8]- K. Bunz, H. Hötzl, G. Rosner and R. Winkler. Spatial distribution of radionuclides in soil around a coal fired power plant: Pb210, Po210, Ra226, Th232, K40 emitted with the fly ash and Cs137 from the worldwide weapon testing fallout. *Sci. Total. Environ.*, 38; 15-31, 1984
- [9]- Papastefanaou C. Radiological impact from atmospheric releases of 226Ra from coal fired power plants. *J.Environ.Radioactivity*, 32; 105-114, 1996
- [10]- Bem H., Wiczorkowska P: and M. Budzanowski., Evaluation of technologically enhanced natural radiation near the coal-red power plants in the Lodz region of Poland. *J. Environmental Radioactivity*, 61, 191-201, 2002.
- [11]- National Radiological Protection Board. Radiological impact on the UK population of industries which use or produce materials containing enhanced levels of naturally occurring radionuclides. NRPB-R327. Chilton 2001
- [12]- Karangelos, D.J., Petropoulos N.P., Anagnostakis, M.J., Hinis E.P., and Simopoulos S.E. Radiological characteristics and investigation of the radioactive equilibrium in the ashes produced in lignite fired power plants *J.Environ.Radioactivity*, 77; 233-246, 2004.

	Factores de enriquecimiento			
	40K	226Ra	232Th	210Po
Mezcla-Cenizas	3.2-8.0	2.8-8.2	2.7-8.8	5-18
Mezcla-Escorias	2.5-6.5	2.5-7.5	2.7-7.6	0.2-2
Mezcla-Cenizas [1,9,11]	3-50	3-15	1-10	3-200

Tabla III: Rangos de factores de enriquecimiento obtenidos a partir de los análisis de las muestras de combustible, cenizas y escorias recogidas en cada una de las centrales térmicas estudiadas y extraídos de la bibliografía.

o el particionado de radionucleidos entre las escorias y las cenizas [11]. De hecho, se aprecia un enriquecimiento adicional de ^{210}Po en las cenizas volantes (que puede alcanzar enriquecimientos de un factor 18 con respecto a la concentración en los carbones) y un empobrecimiento de este radioisótopo en las escorias (de hasta un factor 7 con respecto a los carbones). Cabe destacar que los factores de enriquecimiento encontrados son similares a los reportados en la bibliografía.

Se ha observado, del mismo modo, un enriquecimiento apreciable de este radioisótopo, el ^{210}Po , en el material residual obtenido en las desulfuradoras, yeso, con respecto al medido en el material utilizado, caliza. El enriquecimiento producido supera un factor 36.

En cuanto a las dosis efectivas evaluadas se han obtenido para los trabajadores valores máximos de $68 \mu\text{Sv a}^{-1}$ en las tareas realizadas durante la operación normal y de hasta $292 \mu\text{Sv}$ (este valor calculado de forma conservadora) en las tareas periódicas de mantenimiento, realizadas cada 2 o 3 años de forma planificada.

En los escenarios escogidos para el público la mayor dosis efectiva calculada ha sido de $4.5 \mu\text{Sv a}^{-1}$, correspondiendo estos niveles de dosis a las zonas adyacentes a las centrales en las que se acumulan cenizas y escorias. En cuanto a los vertidos de cenizas volantes realizados por chimenea en ningún caso estudiado supuso dosis efectivas superiores a los $0.17 \mu\text{Sv a}^{-1}$.

CONCLUSIONES

En general los valores medidos en las centrales estudiadas se encuentran en los rangos documentados en otros estudios.

En cuanto a las dosis efectivas recibidas tanto por los trabajadores como por los miembros del público siempre se encontraron por debajo de los niveles de referencia propuestos para materiales NORM.

Indicar que solo en determinadas ocasiones, el enriquecimiento de algunos radioisótopos producido en la combustión podría plantear un problema en cuanto a la gestión de los residuos producidos, pero en ningún caso plantea un riesgo radiológico en las condiciones actuales.

Dadas las bajas concentraciones medidas en el desarrollo del proyecto y la dilución que se produce en la fabricación de los cementos y hormigones, no se espera que la reutilización de las cenizas volantes en la producción de cementos sea una vía significativa de incremento de la irradiación para la población. Sin embargo podría ser de interés el estudio de la exposición que podría producir la manipulación de estas cenizas que se utilizan en las industrias cementeras.

AGRADECIMIENTOS

Al programa de I+D del Consejo de Seguridad Nuclear, por la financiación proporcionada al proyecto "Estudio del impacto radiológico de las Centrales de Carbón sobre sus entornos". A ENDESA, por las facilidades dadas para el desarrollo efectivo del mismo.

Jornada sobre Comunicación y Riesgo Radiológico

El próximo 11 de noviembre, la Sociedad Española de Protección Radiológica, en colaboración con el Consejo de Seguridad Nuclear, ENRESA, UNESA y ENUSA, celebrará un primer taller que ayude a conocer las herramientas para una mejora de la comunicación del riesgo radiológico.

De los estudios realizados sobre percepción del riesgo radiológico se concluye que la gestión de una situación o de una actividad de riesgo aceptable no ha suscitado entre la población la adhesión esperada. El riesgo no tiene el mismo sentido para todos y la definición de "aceptabilidad" dependerá del contexto de la situación considerada. Los expertos en materia de protección radiológica explican las diferencias que hay entre su percepción y la del público. Cuando se pretende comunicar con el público en situaciones de alta sensibilidad, es necesario dar una información bien elaborada, bien estructurada y, sobre todo, bien transmitida.

Toda la información de estas jornadas la podéis encontrar en la Web de la SEPR en su sección de Convocatorias SEPR.

Comité de Redacción

El CSN y la Generalitat firman un protocolo de notificación e intercambio de información de sucesos en instalaciones y actividades nucleares y radiactivas y en emergencias radiológicas

La secretaria general del CSN, Purificación Gutiérrez, y el secretario general de Departamento de Interior, Relaciones Institucionales y Participación de la Generalitat, Joan Boada, han firmado un protocolo en relación con sucesos en instalaciones y actividades nucleares y radiactivas y en situaciones de emergencia radiológica.

El protocolo se enmarca en el convenio de colaboración entre ambas instituciones, y en el Acuerdo de Encomienda suscrito por el

CSN y la Generalitat (vigente desde 1985), que atribuye a la Generalitat, entre otras funciones, la gestión de la vigilancia radiológica ambiental en el exterior de las instalaciones.

El objetivo básico del protocolo es establecer los mecanismos de intercambio de información entre la Generalitat de Cataluña y el CSN en lo relativo a sucesos en las instalaciones y actividades nucleares y radiactivas de Cataluña, así como en situaciones de emergencia radiológica, por lo que la sala de emergencias (SALEM) del CSN notificará al Centro de Emergencias de Cataluña (CECAT) de manera inmediata sobre cualquier suceso que tenga lugar en las instalaciones y actividades ubicadas en Cataluña.

Dicho protocolo será también de aplicación en situaciones de accidentes que pudieran ocurrir en Cataluña tanto en los transportes de mercancías peligrosas de clase VII (sustancias nucleares o radiactivas), como en los sucedidos en instalaciones industriales convencionales que no utilizan materiales nucleares ni radiactivos, pero que, excepcionalmente e inadvertidamente, puedan usar, manipular o procesar este tipo de sustancias.

Comité de Redacción

Tesis Doctoral

Respuesta Celular a Dosis Subtérmicas de Corrientes eléctricas de 0,57 MHz

Con fecha 19-06-08 María Luisa Hernández Bule defendió en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid su Tesis Doctoral, titulada: Respuesta Celular a Dosis Subtérmicas de Corrientes Eléctricas de 0,57 MHz. La Tesis, que ha sido dirigida por Alejandro Úbeda, Jefe de Sección del Servicio de Investigación- Bioelectromagnética del Hospital Ramón y Cajal, trata sobre los mecanismos de acción de las corrientes usadas en la terapia electrotérmica TERC. Se trata de una técnica no invasiva que se viene utilizando con éxito para el tratamiento de lesiones de hueso, músculo, tendón y piel. Esta terapia emplea corrientes eléctricas de entre 0,45 MHz y 0,6 MHz para calentar los tejidos profundos blanco del tratamiento. Debido a que esta terapia se ha mostrado más efectiva que otros tratamientos electrotérmicos, diversos trabajos habían propuesto la

existencia de un efecto sinérgico de la corriente eléctrica TERC y la hipertermia inducida. La Dra. Hernández Bule ha investigado los efectos de



Mª Luisa Hernández Bule.

la corriente eléctrica de 0,57 MHz, aplicada a densidades subtérmicas, en cultivos de varias especies celulares de origen humano. El estudio realizado sobre células de hepatocarcinoma humano HepG2 muestra una respuesta citotóxica en una fracción significativa de la población celular. Esta citostasis parece ligada a alteraciones electro-inducidas, de origen no térmico, en los niveles de expresión y activación de proteínas de control del ciclo celular (ciclina D1, A y B1) e inhibidores del ciclo celular (p27 o p53) entre otras. Tales alteraciones inducen bloqueos o ralentización en determinadas fases de ciclo celular y, como consecuencia, una acción citostática en los cultivos tratados con TERC. Por otro lado, los estudios realizados en la línea de neuroblastoma humano NB69, con una tasa de crecimiento superior a HepG2, muestran efectos citotóxicos en una parte de su población celular, durante y después de aplicar las corrientes eléctricas TERC. Adicionalmente, los estudios en células mononucleares normales de sangre periférica obtenida de voluntarios (PBMCs), con una tasa de crecimiento nula en ausencia de mitógenos químicos, muestran que la viabilidad celular de estos cultivos no se ve alterada por el tratamiento eléctrico TERC. En conjunto, los resultados obtenidos en las condiciones experimentales ensayadas sobre células cancerosas y no cancerosas no muestran indicios de efectos adversos de la terapia, y abren la posibilidad de extender las aplicaciones del tratamiento TERC a otros ámbitos terapéuticos, como el área de la oncología.

La tesis, que fue brillantemente defendida por la autora y altamente valorada por el tribunal, recibió la máxima calificación. Desde este Comité de Redacción felicitamos a la nueva doctora por su logro y le animamos a continuar sus trabajos de investigación en

una disciplina que se enfoca simultáneamente en la PR del paciente y en el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas.

Comité de Redacción

Xavier Ortega, Defensor Universitario de la Universidad Politécnica de Cataluña

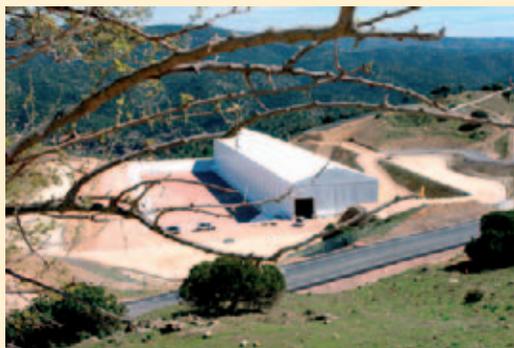
Xavier Ortega Aramburu, Catedrático de Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) ha sido nombrado, el 1 de septiembre de 2008, "Síndic de greuges" (Defensor universitario) de la UPC. Xavier Ortega fue presidente de la SEPR de 1998 a 2000 y actualmente es vocal de la Comisión institucional de la Sociedad. La misión fundamental de su nuevo cargo consiste en recibir las quejas y observaciones que se formulen sobre el funcionamiento de la Universidad para proponer posibles vías de solución y fórmulas de conciliación y de acuerdo sobre los problemas planteados, así como proponer iniciativas de mejora sobre los servicios que presta la Universidad. Compaginará esta nueva responsabilidad con sus actividades de investigación en el Instituto de Técnicas Energéticas de la UPC, en calidad de profesor emérito.



*Merce Ginyaume
Instituto de Técnicas Energéticas. UPC*

El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio autoriza la puesta en marcha de la instalación complementaria para residuos radiactivos de muy baja actividad

El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio comunicó a Enresa, el pasado 23 de julio, la concesión de la autorización de la puesta en marcha de la instalación complementaria para el almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja actividad



Almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja actividad. Cortesía de Enresa.

de El Cabril, con fecha de 21 de julio, tras el informe favorable del Consejo de Seguridad Nuclear.

Enresa finalizó a principios de este año la construcción de la primera estructura de la instalación complementaria de El Cabril para residuos radiactivos de muy baja actividad, procedentes de incidentes en acerías –como los sucedidos en Acerinox o Siderúrgica Sevillana en 1998 y 2001- o del desmantelamiento de centrales nucleares, entre otros.

Esta estructura para residuos de muy baja actividad, es la primera de un total de cuatro que se construirán de forma gradual y que proporcionarán a El Cabril la capacidad suficiente para almacenar los residuos radiactivos de baja y media actividad que se generen en España.

La entrada en funcionamiento de esta estructura supone uno de los logros más importantes de Enresa que da respuesta a diversas

resoluciones parlamentarias destinadas a que España dispusiera, al igual que otros países, de una instalación específica para este tipo de residuos, de escasa contaminación radiológica, de forma que no supusiera una pérdida del valor estratégico de las estructuras de almacenamiento disponibles para residuos de mayor actividad.

La solución que aporta Enresa a los residuos radiactivos de muy baja actividad es tecnológicamente distinta a la de los residuos de baja y media actividad, ya que,

debido a las características de estos materiales, las barreras de hormigón son innecesarias. La nueva estructura que entrará en funcionamiento próximamente tiene una capacidad de 33.000 metros cúbicos, y para su operación Enresa dispone de un edificio específico para la manipulación y acondicionamiento de este tipo de residuos, denominado "edificio tecnológico". El diseño prevé una durabilidad y eficacia de las barreras de aislamiento de estos materiales superior a los 60 años que es el tiempo que se requiere para que la radiactividad decaiga a niveles del fondo natural.

La instalación para residuos radiactivos de muy baja actividad aportará una capacidad total de 130.000 metros cúbicos, pero la radiactividad total a almacenar es tan pequeña que no ha supuesto la modificación del inventario radiológico autorizado para El Cabril.

Comité de redacción

NOTICIAS del MUNDO

JORNADAS «La dosimetría individual de los trabajadores y de los pacientes»

París, 27 y 28 de mayo de 2008

Las jornadas, organizadas por la Sociedad Francesa de Protección Radiológica (Sección de Protección Técnica), tenían como propósito hacer una puesta en común sobre el estado del arte en cuanto a la utilización de las diferentes técnicas de dosimetría en Francia y Europa, así como presentar las próximas tendencias en esta disciplina.

- Las jornadas se desarrollaron a lo largo de seis sesiones, distribuidas de acuerdo a los siguientes grupos temáticos:
- – Balance de las exposiciones y aspectos reglamentarios.
- – Dosimetría de los trabajadores: ejemplos de aplicación.
- – La modelización: una herramienta de progreso.
- – Dos motores de evolución: las recomendaciones y el retorno de la experiencia.
- – Desarrollos en el ámbito médico.
- – Perspectivas.
- Durante las diferentes presentaciones, los participantes recibieron los elementos de información necesarios para el desarrollo y

optimización de las prácticas de prevención y protección implantadas en las instalaciones. Para ello, se abordaron las diferentes facetas de la dosimetría individual, tanto la dosimetría interna como la dosimetría externa, de los trabajadores y del paciente.

Asimismo, se presentaron las próximas tendencias en dosimetría, de entre las cuales, algunas se derivan de la propia evolución de las técnicas y de las aplicaciones nucleares, y otras responden de forma más general al aumento de la inquietud social por lograr un mejor control de las exposiciones, siendo el de la radioterapia el caso más claro.

A las jornadas asistieron profesionales de diversos sectores, lo que permitió crear un foro donde compartir experiencias y analizar las soluciones implantadas en otros ámbitos de la protección radiológica.

*M^º Luisa Tormo de las Heras
Consejo de Seguridad Nuclear*

EURADOS: presente y futuro

EURADOS (European Radiation Dosimetry Group, www.eurados.org) ha dado un paso adelante para su afianzamiento legal y consolidación científica como "network" europeo de laboratorios de dosimetría de radiaciones ionizantes, al convertirse en una asociación sin ánimo de lucro, registrada en el Registro de Sociedades de Alemania. El acto de fundación de "EURADOS e.V." tuvo lugar durante la Reunión Anual que se celebró en París el pasado mes de Enero de 2008, donde también se aprobó la nueva Constitución que va a regir a partir de ahora esta organización dirigida por Helmut Schuhmacher, del PTB (Braunschweig, Alemania) que es el Presidente actual y promotor de esta iniciativa legal.

EURADOS consta en la actualidad de más de 50 "Voting members" (laboratorios) y más de 200 miembros asociados (personas) pertenecientes a la Unión Europea, Suiza y países del Centro y Este de nuestro continente. Instituciones europeas (más de 15 en este momento) aportan una cuota anual a modo de "sponsor", que garantiza un presupuesto estable e independiente para llevar a cabo las actividades propuestas. El objetivo principal de EURADOS es promover la investigación, el desarrollo y la cooperación europea

- en el campo de la dosimetría de radiaciones ionizantes. Para ello se cuenta con grupos de trabajo que garantizan el desarrollo tecnológico y su implementación práctica en rutina.
- Otras actividades también prioritarias de EURADOS son la organización de reuniones y workshops científicos, cursos de formación y actualización, e intercomparaciones internacionales. Las áreas de trabajo de EURADOS incluyen además la protección radiológica, la dosimetría retrospectiva, la vigilancia radiológica ambiental, la radiobiología, la terapia con radiaciones y la radiología de diagnóstico e intervencionista.

- Es importante el mensaje de estabilidad de presente y futuro que se quiere dar desde EURADOS, en este momento en que ha finalizado la Acción Coordinada CONRAD (Coordinated Network for Radiation Dosimetry), del 6º Programa Marco de la Unión Europea, que subvencionaba económicamente gran parte de las actividades asociadas a los grupos de trabajo. En la actualidad se promueve la continuidad de actividades fundamentales para los laboratorios como es la organización periódica de intercomparaciones, necesarias en los procesos de acreditación que los servicios de dosimetría personal externa e interna están llevando a cabo de forma generalizada en toda Europa. Así, está en marcha el ejercicio de intercomparación "EURADOS Intercomparison 2008 for whole body dosimeters", que concierne a dosímetros personales que estiman Hp(10) y/o Hp(0.07) y que se utilizan de forma rutinaria en la vigilancia individual de trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. Más de 50 laboratorios se encuentran actualmente participando en este ejercicio en el que se irradiarán 20 dosímetros por participante con diferentes, y a priori desconocidas, calidades de radiación fotónica (30 keV – 1,3 MeV), valores de dosis (0,2 mSv – 1 Sv) y ángulos de incidencia ($\pm 60^\circ$). La participación en la Intercomparación requiere el pago de una cuota (1250€ en esta ocasión) calculada únicamente en base a la sostenibilidad de la actividad. Al final del ejercicio, los participantes recibirán un Certificado de Participación emitido por EURADOS y podrán asistir a la reunión para la presentación y discusión de resultados que se celebrará en el PTB en Enero de 2009, coincidiendo con la próxima Reunión Anual de EURADOS. Es intención de la organización que esta actividad se realice de forma continuada, variando el alcance

- en cada ejercicio: dosímetros localizados, campos mixtos neutron-gamma, etc.

- Por otra parte, se va a organizar desde el Grupo de Trabajo WG7-Dosimetría Interna que coordina el CIEMAT, un curso avanzado sobre metodologías de cálculo de dosis por exposición interna. Se trata de la acción "EURADOS/IAEA Regional Training Course on Advanced Methods for Internal Dose Assessment. Application of IDEAS Guidelines and dissemination of CONRAD internal dosimetry results". El curso se celebrará en la Universidad de Praga del 2 al 6 de Febrero de 2009, organizado conjuntamente por EURADOS e IAEA. Un total de 40 alumnos podrán participar en este evento, 20 de ellos patrocinados por IAEA. El objetivo es la aplicación de las Guías IDEAS para un cálculo armonizado de las dosis por exposición interna, mediante clases teóricas, ejemplos, ejercicios y uso de distintos programas de cálculo para la realización de los casos prácticos. Así mismo se impartirán una serie de seminarios para presentar los resultados obtenidos por el grupo "WVP5-Coordination of Research on Internal dosimetry" del Proyecto CONRAD recién finalizado. Es posible registrarse on-line desde la página web del curso (<http://www.fjfi.cvut.cz/kdaiz/amida/index.html>).

- EURADOS está preparando ya una nueva edición del Workshop sobre "Individual Monitoring" para el año 2010, siendo el organismo regulador griego GAEC el encargado de organizar este evento. Previamente se celebraron los workshops de Helsinki (IM2000) y Viena (IM2004), con gran éxito de participantes. La conferencia IM2010 tendrá lugar en Atenas del 8 al 12 de Marzo de 2010, en el "Megaron Athens International Conference Center", y considerará temas relacionados con la vigilancia individual de trabajadores expuestos que interesarán a los laboratorios y servicios de dosimetría personal tanto externa como interna. Se pondrá especial atención a los sistemas de calidad implantados y procesos de acreditación llevados a cabo en las instalaciones de dosimetría personal europeas.

- Por último, la próxima cita de la organización EURADOS es su Reunión Anual AM2009 que tendrá lugar en el PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt), Braunschweig, Alemania, del 26 al 30 de Enero de 2009. Como es habitual en este tipo de eventos, el programa será denso y consistirá

en las reuniones de los grupos de trabajo de EURADOS, un workshop científico sobre "Cosmic Radiation and Aircrew Exposure", la 3ª edición de la Winter School esta vez sobre "Low-dose Radiation Effects", la reunión final para presentación de los resultados de la "Intercomparison 2008 on whole body dosimeters", la Asamblea General de EURADOS y la reunión del Council (órgano que dirige y gestiona la organización). El primer anuncio de este evento está ya disponible en la página web de EURADOS. Todos los lectores de la revista Radioprotección serán bienvenidos.

M^{re} Antonia López
CIEMAT

Red internacional de Protección Radiológica

El 15 de marzo de 2002 se crea la Lista de interés: "Radioproteccion" con 11 personas de 11 países de América Latina con el objetivo de intercambiar información sobre diversos temas de seguridad y protección radiológica. Esta Lista fue creada en yahoo.com.

El primer mes tuvo 117 miembros y al finalizar el año 2002 tuvo 179 miembros y 315 mensaje enviados. Este incremento permanente se puede apreciar en la tabla 1.

Año	Miembros	Mensajes
2002	179	315
2003	65	359
2004	93	297
2005	64	267
2006	117	461
2007	208	350
TOTAL	726	2049

Tabla 1. Número de miembros y mensajes

Actualmente esta Lista de Interés o Red cuenta con mas 800 miembros que en su mayor parte son especialistas en protección radiológica de 28 países, principalmente de América Latina: Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

También hay miembros de: Austria, Canadá, España, Estados Unidos de Norteamérica, Francia, Israel, Italia, Portugal, Reino Unido y Suecia.

Los especialistas trabajan en organismos reguladores, comisiones de energía atómica, universidades y entidades donde se hace uso de las radiaciones ionizantes en la industria, medicina e investigación.

Mediante esta red se han distribuido más de 2200 mensajes con anuncios de congresos, cursos, talleres y actividades nacionales e internacionales sobre protección radiológica y temas afines. Además, se han difundido artículos técnicos y noticias de la especialidad. También se han intercambiado opiniones técnicas y comentarios promoviendo así la comunicación y colaboración entre sus integrantes.

Los detalles de esta red se encuentran en: <http://espanol.groups.yahoo.com/group/Radioproteccion/>

En esta red se han tratado diversos temas como por ejemplo: Embarazo e irradiación médica, respuesta a emergencias, exposición ocupacional, responsabilidades en protección radiológica, lecciones aprendidas de exposiciones accidentales, aspectos de cultura de seguridad, fuentes huérfanas, diagnóstico y tratamiento de daños por radiación, Física Médica, regulaciones, etc.

En la red nació la idea de definir un día para celebrar la protección radiológica, el cual se celebra desde hace 2 años cada 15 de abril.

Esta red esta conformada por especialistas que intercambian mensajes sobre temas específicos de interés común en seguridad y protección radiológica mediante el correo electrónico. Al enviar un mensaje por correo electrónico, éste es enviado a todos los miembros de la red de manera simultánea. Su fin es lograr la participación de varias personas en discusiones sobre temas específicos y lograr la distribución de informaciones a todo el grupo. Se emplea la red como una fuente más de información. Al recibir los mensajes, las personas pueden responder con opiniones o sugerencias a todo el grupo o responder en privado al autor del mensaje si la respuesta no es de interés para los demás miembros de la red.

La red permite: formular preguntas a cientos de personas simultáneamente, recibir los mensajes directamente en el buzón y enviarlos o leerlos en cualquier momento, formarse

una opinión del estado de la especialidad, acceder a la información formal e informal, establecer vínculos con especialistas de diversas nacionalidades y en los temas de interés, enriquecerse de ideas y críticas con colegas reconocidos, o disfrutar de un estatus de igualdad entre emisores y receptores.

Los miembros de la red pueden intercambiar archivos (texto, imágenes, programas, boletines, etc.), conocer las actividades desarrolladas por otras instituciones, cooperar, compartir recursos, consultar dudas e intercambiar experiencias. Es una forma de comunicación muy dinámica.

El moderador tiene a su cargo el mantenimiento, la buena marcha de la red, la incorporación de nuevos integrantes y la aprobación de mensajes.

Esta red es la continuación de las actividades de difusión realizadas en América Latina mediante el Boletín "Protección Radiológica" del cual se distribuyeron 65000 ejemplares impresos en 40 países durante 10 años (1991 – 2001) gracias al apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y de la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Además, en junio de 1998 se crea la web: www.arcalx.org.pe la cual posteriormente cambia de nombre a: www.radioproteccion.org.pe, la cual tuvo mas de 10 000 visitas hasta su desactivación en septiembre de 2003.

Ambas actividades fueron realizadas en el marco de un Proyecto ARCAL (Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe) bajo la conducción del Coordinador del Proyecto ARCAL/OIEA de Perú, con el fin de establecer una mayor comunicación entre los especialistas de la región y dar a conocer las actividades que se desarrollaron especialmente en la región latinoamericana.

Actualmente se esta actualizando la web: www.radioproteccion.org donde se espera mostrar las actividades de protección radiológica y temas afines que se desarrollan en la región y en el mundo, así como actividades de la Federación de Radioprotección de América Latina y el Caribe (FRALC) y de sus Sociedades afiliadas y también incluir documentos técnicos, noticias de interés, difundir las páginas web de instituciones relacionadas con el tema, etc.

La red esta abierta para todos los especialistas en protección radiológica de América Latina y de otros continentes que requieran tener

un canal de comunicación en idioma español, aunque también se pueden enviar mensajes en portugués e inglés, para mejorar el intercambio de experiencias y temas de interés a fin de ayudar a resolver problemas técnicos y mantenerse actualizado.

Los interesados solicitan su inscripción escribiendo al moderador: medina@radioproteccion.org o enviando un mensaje en blanco a: Radioproteccion-subscribe@gruposyahoo.com. Cada vez que se incorpora un miembro se presenta ante los demás indicando su nombre completo, institución donde trabaja, país y de ser posible menciona los temas de interés en protección radiológica.

*Eduardo Medina Gironzini
Coordinador de la Red "Radioproteccion"*

Reunión del Comité Científico de Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR)

El Comité celebró su 56º período de sesiones en Viena desde el 10 al 18 de Julio de 2008. La reunión ha sido importante ya que se aprobaron varios documentos que serán publicados como Informe UNSCEAR 2008. Esta publicación posiblemente se edite durante 2009 pese a que otras anteriores se han demorado en exceso debido a restricciones económicas.

Desde su creación por parte de la Asamblea General de Naciones Unidas en 1955 el mandato del Comité ha sido realizar estudios amplios de las fuentes de radiación ionizante y los efectos de las mismas para los seres humanos y el medio ambiente.

Los estudios del Comité constituyen el fundamento científico para las decisiones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y para las normas de protección radiológica tanto internacionales como nacionales. Como es conocido esas normas tienen gran importancia ya que de ellas se derivan a su vez importantes decisiones e instrumentos de tipo legal y de regulación para las numerosas aplicaciones de las radiaciones y los radionucleidos en la industria, la medicina y la investigación.

• Durante la reunión se aprobaron los documentos desarrollados en los últimos 6 años sobre las siguientes áreas de interés:

• Exposición de los trabajadores y del público debida a todas las fuentes.

• Evaluación de los accidentes ocurridos con radiaciones ionizantes.

• Exposición de la población en las aplicaciones médicas de diagnóstico y terapia

• Evaluación de las exposiciones y efectos del accidente de Chernobyl.

• Evaluación de los efectos de las radiaciones ionizantes en la fauna y flora del medio ambiente.

• Es de destacar que por primera vez han sido invitados varios países no miembros a participar como observadores científicos.

• Este ha sido el caso de España que ha formulado también su interés en formar parte del Comité. Con esa representación asistieron a las sesiones el profesor Eliseo Vañó y David Cancio.

Comité de Redacción

Symposium europeo ISOE

Turku 24-27 junio 2008

• Durante el último año y medio he tenido el inmenso placer de formar parte del comité organizador del simposio europeo del ISOE que tendría lugar en el 2008 en Turku (Finlandia). Durante dos reuniones, en Paris y Helsinki, respectivamente, se discutieron los temas más importantes que debían plantearse en dicho evento además de seleccionar las presentaciones más interesantes para el acto.

• Finalmente, durante finales del mes de junio pasado se celebró dicho simposio que tuvo un primer día "no oficial" dedicado a la reunión bianual entre jefes y responsables de protección radiológica de las distintas centrales europeas y técnicos de los diferentes organismos reguladores. Las conclusiones de dichas reuniones se presentaron al finalizar el simposio y fueron, por parte de las instalaciones nucleares, la preocupación del control de la contaminación (tanto superficial como ambiental), los comportamientos y los aspectos de factores humanos en relación a las actuaciones del personal dentro de zona controlada, y la comunicación de incidencias, tanto de manera horizontal como vertical, además de la comunicación a organismos reguladores y público en general.

• El miércoles 25 comenzó de forma oficial el simposio, con un especial recuerdo de Caroline Schieber, actual coordinadora de CEPN-ISOE en Paris, al ya retirado Christian Lefaure, antiguo coordinador y alma mater de este evento, que tras 6 ediciones, celebraba su décimo aniversario. Durante la apertura también hubo intervenciones de diferentes responsables de TVO y FORTUM, empresas propietarias de las centrales nucleares finesas, así como de STUK, el organismo reguladores finés.

• La primera sesión de presentaciones orales estuvo dedicada a los futuros desafíos en el campo de la protección radiológica, destacando la revisión de estándares básicos de seguridad que está llevando a cabo la Unión Europea y los aspectos relacionados con la protección radiológica en el nuevo reactor EPR, así como los avances de EPRI en el campo de la protección radiológica y ALARA.

La segunda sesión plantea un tema que será de total interés de cara al futuro y que cada día está más presente dentro de nuestro trabajo diario: el ámbito de la cultura de seguridad y los factores humanos. Se realizaron 5 presentaciones que estuvieron centradas básicamente en los procesos de formación y entrenamiento en los técnicos ayudantes y



técnicos expertos en protección radiológica. Una de estas presentaciones fue premiada como la más interesante del simposio, concretamente la realizada por Virva Nilsson, de la central de Forsmark (Suecia), focalizada en la educación y entrenamiento de los técnicos de protección radiológica en Suecia.

Tras un interesante debate surgido por las preguntas realizadas por los asistentes referentes a esta sesión, comenzó la tercera parte de presentaciones que tenía como tema a presentar la reducción y gestión del término fuente, donde destacaron las presentaciones de EPRI centrada en sus desarrollos para reducción del término fuente y la de EDF, en la que se relacionaba la evolución de las dosis colectivas en las plantas francesas en relación a las buenas prácticas relacionadas con la reducción del término fuente.

Tras el merecido almuerzo, comenzó la cuarta sesión, titulada "gestión de contaminación y desmantelamiento", con una presentación realizada por A. Rodríguez (ENRESA), acerca de la aplicación del principio ALARA en el desmantelamiento de instalaciones nucleares. Seguidamente se realizaron diferentes presentaciones muy interesantes, relacionadas con experiencia operativa en desmantelamiento o en operaciones con materiales muy contaminados o irradiados, destacando los procesos de descontaminación en circuitos contaminados en la central de Barsebäck (Alemania) y las estrategias de descontaminación en las centrales Dukovany y Temelín, de la República Checa. Esta sesión concluyó con una muy interesante presentación acerca del programa EVEREST, realizado por EDF en la central nuclear de Golfech (Francia), que aborda la experiencia del acceso sin protecciones contra la contaminación al interior de zona controlada, que produjo un interesante debate en el seno del auditorio. El primer día del simposio finalizó con una amena cena medieval con todos los asistentes al evento, que se celebró en el pintoresco castillo de Turku.

El jueves 26 se celebraron el resto de sesiones. La primera tenía como tema principal la gestión de la protección radiológica y ALARA, destacando una presentación del CEPN acerca del benchmarking realizado durante los últimos años por diferentes centrales europeas. Asimismo, tuve el honor de realizar una presentación en relación a la filosofía ALARA en la central nuclear de Almaraz.

La siguiente sesión fue probablemente la más interesante de todas, a pesar de que los 15 minutos que los ponentes tenían para plantear sus argumentos eran en ocasiones insuficientes. Dicha sesión se basaba en la experiencia operativa en determinados trabajos en las centrales, destacando las presentaciones de mis colegas Francisco González Tardiú en relación a la exposición no planificada durante la extracción del interno inferior en CN Ascó y los aspectos ALARA en la sustitución de los CRDM realizada en CN Cofrentes, brillantemente explicada por Ramiro Fragío, a pesar de la complejidad y extensión del tema.

La última sesión de presentaciones fue en relación a las medidas en el campo de la protección radiológica, que se centró fundamentalmente en la introducción de dosímetros personales electrónicos como dosímetros oficiales en diferentes instalaciones, tanto en Alemania como en la República Checa.

Finalmente, se realizó una sesión de conclusiones, en las que se anunciaron la mejor presentación del evento, así como del mejor poster, realizado por A. Ritter, que tenía como objetivo las consecuencias radiológicas del aumento de potencia en la central de Leibstadt (Alemania). También se plantearon las conclusiones de la reunión de jefes de protección radiológica y de los organismos reguladores, así como el anuncio del lugar donde se celebrará el próximo simposium europeo del ISOE, que tendrá lugar en Sizewell (Reino Unido). La mañana siguiente se dedicó a la visita de la construcción del EPR en Olkiluoto y los almacenamientos de residuos de ONKALO y VJ.

Finalmente me gustaría dar las gracias a Fernando González y Beatriz Gómez-Argüello por darme la oportunidad de participar en la organización de dicho evento, así como a Guy Renn, Caroline Schieber y Lucie D'Ascenzo, por la ayuda inestimable durante todo este tiempo. Ha sido una experiencia realmente enriquecedora y estaría encantado de volver a participar en el comité organizador, en la ponencia de algún tema o simplemente como un asistente más.

Finalmente, animo a todo el mundo a participar en este tipo de congresos y/o seminarios, ya que según mi humilde opinión, es tremendamente importante el intercambio de experiencia entre todas las centrales e instalaciones nucleares para poder mejorar nuestra gestión y nuestros procesos ya que,

como todos sabemos, el mundo de la protección radiológica no deja de ser como un pañuelo.

Borja Rosell Herrera
Jefe de Protección Radiológica y Coordinador
ALARA
Central Nuclear de Almaraz (España)

El OIEA pone en marcha un Proyecto para Desarrollar una Metodología de Registro a largo plazo de las Dosis de Radiación a los Pacientes en una Tarjeta Inteligente

La supervisión de la dosis recibida por los trabajadores profesionalmente expuestos ha sido una práctica habitual en una gran parte del mundo durante muchas décadas, lo que ha contribuido sustancialmente a reducir y optimizar la exposición a la radiación de este personal. Aunque la exposición médica de los pacientes constituye más del 95% de la exposición de la población mundial a fuentes artificiales de radiación, no hay ninguna metodología que permita mantener un registro de la exposición a largo plazo de cada paciente.

Se ha producido una cierta actividad en el desarrollo de tarjetas inteligentes para los registros médicos del paciente, y está previsto extender este concepto al registro de la exposición a la radiación del paciente en el diagnóstico y las intervenciones.

El derecho del paciente a la información sobre su exposición a la radiación es cada vez más importante, por lo que el OIEA está poniendo en marcha un proyecto sobre el desarrollo de una metodología para la tarjeta inteligente de registro de dosis del paciente. El trabajo abarcará las siguientes acciones:

1. Lograr un consenso para el registro de la exposición de los pacientes;
2. Desarrollar una metodología para registrar a largo plazo la exposición de los pacientes utilizando métodos on-line y off-line de manejo, transferencia y gestión de datos;
3. Elaborar directrices, normas, avisos, manuales y marcos normativos con respecto a las cuestiones de seguridad;
4. Desarrollar un sistema de registro acumulativo de dosis.

Comité de Redacción

PUBLICACIONES

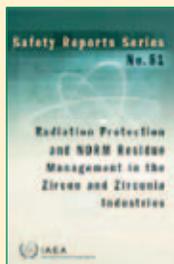
Publicaciones sobre NORM

Safety Reports Series

Radiation Protection and NORM Residue Management in the Zircon and Zirconia Industries

Safety Reports Series Nº. 51, 2007

El informe proporciona información detallada del uso industrial del circonio y el circonio y la gestión de los residuos NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials) que se presentan en los procesos que acompañan a su procesamiento, las características radiológicas de los materiales procesados y los caminos de exposición a trabajadores y a miembros del público, dando niveles de exposición y dosis efectivas anuales. Sugiere ejemplos de buena práctica con respecto a la supervisión de técnicas y medidas prácticas de reducción de dosis. Para cada proceso o uso industrial, la información disponible se utiliza como base para determinar las implicaciones reguladoras en términos de estándares para la protección contra la radiación y gestión de los residuos radioactivos.



ISBN 92-0-100607-1, Inglés. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1289_Web.pdf

Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials

Safety Reports Series Nº. 49, 2006

Cualquier explotación minera u operación de procesamiento mineral tiene el potencial de aumentar la dosis de la radiación recibida por el individuo, debido al hecho de que todos los minerales y materias primas contienen radionúclidos de origen natural terrestre. Sin embargo, solamente en un número limitado de casos justifica la introducción de medidas de protección contra la radiación. Este informe de seguridad proporciona la información en las actividades industriales relevantes, los materiales y los niveles de exposición

previstos para asistir en la identificación de actividades para las cuales es necesario un control regulador y, para tales actividades, determinar el acercamiento regulador más apropiado. El informe es de interés para los cuerpos reguladores y otras autoridades a nivel nacional implicadas en la aplicación de estándares de trabajo en actividades que impliquen exposición a las fuentes naturales; también es de interés para los operadores, los trabajadores y sus representantes, y los profesionales de salud y seguridad requeridos en tales actividades.

ISBN 92-0-107406-9, Inglés. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1257_web.pdf

Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry

Safety Reports Series No. 34, 2003

Este informe describe la puesta en práctica de la protección radiológica y las medidas de seguridad relacionadas con los residuos, que deben establecerse en la industria del petróleo y del gas con el fin de cumplir con los requerimientos de seguridad y las recomendaciones establecidas en guías de seguridad. Se incluye información detallada sobre la formación y en el control, medidas de detección, métodos de descontaminación y caracterización de residuos. Este informe va dirigido a las autoridades, a los operadores de las industrias del petróleo y gas, a las compañías de servicios, a los trabajadores y a sus representantes, a los médicos, a los responsables de la seguridad ambiental y laboral y a los responsables de seguridad.

ISBN 92-0-114003-7, Inglés. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1171_web.pdf

Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines

Safety Reports Series Nº. 33, 2003

Este informe trata del radón y torio y sus productos de decaimiento en otras industrias diferentes de las minas. Es conocido que los trabajadores en estas industrias no tienen la formación precisa en protección radiológica. Este informe proporciona información práctica y

niveles de acción en estas industrias, las técnicas de detección y las acciones precisas para reducir la exposición a radón y a sus productos derivados. Tiene la intención de ayudar a las autoridades a establecer planes específicos para controlar la exposición a radón y a torio de los trabajadores de industrias que no sean mineras.

ISBN 92-0-113903-9, Inglés. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1168_web.pdf

Technical Reports Series

Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation

Technical Reports Series Nº. 419, 2003

El objeto de este informe es aumentar el conocimiento de los residuos producidos durante el procesamiento de los materiales radiactivos naturales y su posible contaminación medioambiental. El informe analiza varios procesos y los residuos producidos, y se discuten las opciones técnicas para tratar su contaminación. Las industrias analizadas son las relacionadas con la producción de combustible, uso del agua, metales y minerales industriales.

ISBN 92-0-112503-8, Inglés. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS419_web.pdf

TECDOC Series

Regulatory and Management Approaches for the Control of Environmental Residues Containing Naturally Occurring Radioactive Material (NORM)

Proceedings of a Technical Meeting held in Vienna, 6-10 December 2004, IAEA-TECDOC-1484, 2006

Esta publicación contiene las presentaciones de la reunión técnica que tuvo lugar en Viena del 6 al 10 de diciembre de 2004 y la discusión posterior. Además, incluye de los

documentos generados en una reunión similar que realizada en el año 2002. Este documento presenta una revisión de la situación actual de la regulación y gestión de los residuos NORM en varios de los Estados Miembros.



Como conclusión de lo tratado en la reunión, se aportan una serie de recomendaciones para ser tenidas en cuenta a la hora de gestionar en el futuro este tipo de residuos.

ISBN 92-0-113305-7. Inglés. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1484_web.pdf

Technologically Enhanced Natural Radiation (TENR II)

Proceedings of an International Symposium held in Rio de Janeiro, Brazil, 12-17 September 1999, IAEA TECDOC Series N° 1271, 2002

El objetivo del simposio es sostener un foro internacional para el intercambio de información en el ámbito científico y técnico de los distintos componentes de la exposición a la radiación natural.

Inglés. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1271_prn.pdf

Naturally occurring radioactive materials (NORM IV)

Proceedings of an international conference held in Szczyrk, Poland, 17-21 May 2004, IAEA-TECDOC-1472, 2005

Aunque normalmente las fuentes de radiación natural no son objeto de regulación, algunas exposiciones a radón y a material radiactivo de origen natural (NORM) pueden necesitar ser consideradas en cuanto a como se deben aplicar los controles. Cada vez más países están regulando las exposiciones a fuentes naturales y el conjunto de datos radiológicos sobre dichas exposiciones está aumentando con rapidez. La conferencia internacional NORM IV, es la cuarta de una serie de conferencias que se iniciaron en 1997 y es la siguiente a la celebrada en Río de Janeiro en 1999 (Los resúmenes están publicados en el IAEA-TECDOC-1271). Entre los temas tratados en NORM IV se encuentran la exposición a radionucleidos de origen natural en minería y otras operaciones industriales que impliquen NORM (incluyendo impacto ambiental), estándares y regulaciones, y técnicas de medida incluyendo medidas de radón. Esta publicación pretende difundir la información más reciente sobre la exposición a fuentes naturales entre los técnicos y personal que trabaja en el tema.

ISBN 92-0-110305-0. Inglés. www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1472_web.pdf

Radiation Protection

RP 112 Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials

Radiation Protection, 112, 2000

Un grupo de trabajo del Grupo de Expertos establecido en virtud del artículo 31 del Tratado Euratom ha examinado la normativa de control en los materiales de construcción con respecto a su contenido de radionucleidos naturales. El resultado es un estudio que proporciona información sobre la radiactividad natural en los materiales de construcción y las reglamentaciones pertinentes en los Estados miembros. Esta guía ha sido aprobado por el Artículo 31 Grupo de Expertos en su reunión del 7-8 de junio de 1999 y se publica ahora con vistas a una armonización de los controles por los Estados miembros, en particular a fin de permitir la circulación de los productos de la construcción dentro de la Unión Europea. La guía será útil como documento de referencia para la Comisión Europea al considerar posibles iniciativas de reglamentación a nivel comunitario.

http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/112_en.pdf

CONVOCATORIAS

“más información en www.sepr.es”

NOVIEMBRE

• IX Radiation Physics and Protection Conference.

Del 15 al 19 de noviembre en Cairo, Egipto. Más información en la página Web: <http://www.rphysp.com>

• International Conference on Topical Issues in Nuclear Installation Safety: ensuring Safety for Sustainable Nuclear Development.

Del 17 al 21 de noviembre en Mumbai, India. Más información en la página Web: <http://www-pub.iaea.org/mtcd/meetings/Meetings2008.asp>

• Course on Radiation Physics for Nuclear Medicine.

Del 18 al 21 de noviembre en Milan, Italia. Más información en la página Web: <http://www.madeira-training.org/>

• 7th International Meeting on The Effects of Low Doses of Radiation in Biological Systems: New Perspectives on Human Exposure.

Del 27 al 29 de noviembre en Lisboa, Portugal. Más información en la página Web: <http://www.lowrad2008.itn.pt/>

ENERO

• EURADOS Annual Meeting 2009.

Del 26 al 29 de enero en Braunschweig,

Alemania. Más información en la página Web: <http://www.eurados.org/>

FEBRERO

• International Conference on the Effects of Low dose Radiation.

Del 3 al 5 de febrero en Birmigham, Reino Unido. Más información en la página Web: <http://www.ldr09.com>

• Regional Training Course on Advanced Methods for Internal Dose Assessment.

Del 6 al 9 de febrero en Praga, República Checa. Más información en la página Web: <http://www.fjfi.cvut.cz/kdaiz/amida/index.html>