

RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



CONVIVIENDO CON LA RADIACIÓN



▲ **Entrevista:**

Juan José Peña

Presidente del Comité Organizador del Congreso Conjunto SEFM-SEPR 2013

- ▲ **Frecuencia de dicéntricos en niños y adolescentes ucranianos de zonas cercanas a Chernobyl 20 años después del accidente de la central nuclear**
- ▲ **Protección Radiológica Operacional en centros veterinarios**
- ▲ **Incertidumbres en las evaluaciones dosimétricas de la gestión de NORM en repositorios de residuos convencionales**
- ▲ **El Proyecto de Foro de la Industria Nuclear Española para elaborar un material didáctico interactivo sobre Protección Radiológica**

Directora
Ángeles Sánchez

Coordinador
Borja Bravo

Comité de Redacción

Teresa Durán
Cristina Garrido
Rosa Gilarranz
José Gutiérrez
Sofía Luque
Alegria Montoro
Matilde Pelegrí
Javier Pifarré
José Ribera
Borja Rosell
Inmaculada Sierra
M^a Luisa Tormo
María Ángeles Trillo
Fernando Usera

Coordinador de la página electrónica
Juan Carlos Mora

Comité Científico

Presidente: José Gutiérrez
Ignacio Hernando
Xavier Ortega
Teresa Ortiz
Eduardo Sollet
Alejandro Úbeda

Realización, Publicidad y Edición:

SENDA EDITORIAL, S.A.

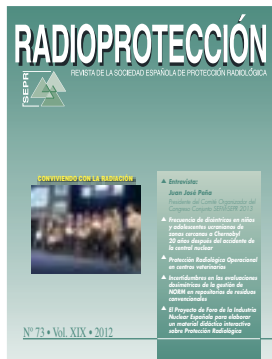
Directora: Matilde Pelegrí

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

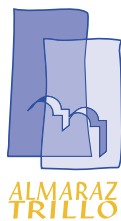
La revista de la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA es una publicación técnica y plural que puede coincidir con las opiniones de los que en ella colaboran, aunque no las comparta necesariamente.



S U M A R I O

- Editorial **3**
- Entrevista **4**
Juan José PEÑA
Presidente del Comité Organizador del Congreso Conjunto SEFM-SEPR. Cáceres 2013
- Colaboraciones **12**
 - Frecuencia de dicéntricos en niños y adolescentes ucranianos de zonas cercanas a Chernobyl 20 años después del accidente de la central nuclear
A. Montoro, N. Sebastià, C. Candela, J. F. Barquinero, J. M. Soriano, M. Almonacid, V. Sahuquillo, O. Alonso, J. Cervera, E. Such, M^a Á. Silla, C. Arnal, J. I. Villaescusa 12
 - Protección Radiológica Operacional en centros veterinarios
Eva Cerdón, Alicia Vigil y Anna Coll 18
 - Incertidumbres en las evaluaciones dosimétricas de la gestión de NORM en repositorios de residuos convencionales
J. C. Mora y B. Robles 22
 - El Proyecto de Foro de la Industria Nuclear Española para elaborar un material didáctico interactivo sobre Protección Radiológica
A. Real, T. De la Cruz, L. Girona, L. Montesinos y P. Sánchez 29
- Nota Técnica **35**
 - Teléfonos móviles y Tasa de Absorción Específica
M^a Á. Trillo y A. Úbeda 35
- Noticias **39**
 - de la SEPR 39
 - de España 39
 - del Mundo 42
- Proyectos de Investigación **45**
- Publicaciones **46**
- Convocatorias y Cursos **48**

Socios colaboradores de la SEPR



Editorial

Como siempre el último trimestre del año nos llega con la sensación de que todavía hay muchos proyectos que concluir, y que aparecen otros nuevos en nuestro futuro, casi sin darnos tregua. Eso significa que la Protección Radiológica sigue manteniendo retos que los profesionales de la misma debemos resolver, en situaciones de rutina y también en accidentes o incidentes, en relación a las exposiciones ocupacionales, las del público y también en las exposiciones médicas.

Uno de los aspectos que más preocupan socialmente son los daños que pueden aparecer como consecuencia de vivir en zonas que se han visto afectadas en un accidente, como en el caso de Chernobyl. Esta preocupación se incrementa si los posibles afectados son niños, por eso disponer del estudio de frecuencia de dicéntricos en niños y adolescentes nos aporta una importante información para evaluar otros casos similares.

La Directiva Europea 96/29 obligó a considerar las implicaciones radiológicas sobre las industrias NORM y sus materiales residuales. Las posibles vías de gestión deben de garantizar el cumplimiento de los criterios radiológicos establecidos, y por tanto se debe de disponer de la información dosimétrica asociada. Conocer las incertidumbres en las evaluaciones dosimétricas va a mejorar el proceso de justificación de las diferentes vías.

Un ámbito no muy presente en nuestra revista son las exposiciones ocupacionales en el sector veterinario, y cómo la introducción de nuevos sistemas de adquisición y registro de la imagen les pueden afectar.

Un gran reto en Protección Radiológica es difundir información que sea comprensible para el público, en general muy alejado de los sectores profesionales, y este reto es aún mayor para el sector nuclear. Muchas veces la información en materia de Protección Radiológica es dispar, tanto en nivel como en contenido, por ello en este reto se deben comprometer no solo las Sociedades profesionales, sino también la propia industria y la investigación.

Las radiaciones no ionizantes van tomando cada día más notoriedad sobre todo por el gran incremento que se está produciendo en el uso de dispositivos de telefonía móvil e inalámbrica. La normativa aplicable debe de garantizar que la exposición de los usuarios no supera los niveles considerados potencialmente dañinos para la salud.

Esperamos que este número de RADIOPROTECCIÓN os sea de interés por la diversidad de temas que os ofrece y por el gran nivel de todos los artículos, y os animamos a colaborar haciéndonos partícipes de vuestros resultados en los estudios que en la actualidad estáis desarrollando.

MARISA ESPAÑA
Presidenta de la SEPR



Junta Directiva

Presidenta: M^a Luisa España
Vicepresidente: Eduardo Gallego
Secretaría General: Beatriz Robles
Tesorero: Alejandro Úbeda
Vocales: Óscar González, Borja Rosell, Carmen Rueda, Pedro Ruiz y Rosario Salas

Comisión de Actividades Científicas

Presidente: Eduardo Gallego
Secretaría: Isabel Villanueva
Vocales: Josep Baró, Pío Carmena, Carlos Enríquez, Rosa Gilarranz, Margarita Herranz, Carmen Rueda, Pedro Ruiz, Ángeles Sánchez y Alejandro Úbeda

Comisión de Publicaciones

Presidente: Borja Rosell
Secretaría: Angeles Sánchez
Vocales: Juan Carlos Mora, José Gutiérrez

Comisión de Asuntos Económicos y Financieros

Presidente: Alejandro Úbeda
Vicepresidente: Eduardo Gallego
Vocales: Pío Carmena, Cristina Correa, Beatriz Robles, Rosario Salas y Carmen Vallejo

Comisión de Asuntos Institucionales

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

Secretaría Técnica

Isla de Saipán, 47
28035 Madrid
Tel.: 91 373 47 50
Fax: 91 316 91 77
Correo electrónico: secretaria@sepr.es

JUAN JOSÉ PEÑA

Presidente del Comité Organizador del III Congreso Conjunto SEFM-SEPR. Cáceres 2013

LA SEDE

Cáceres será la ciudad anfitriona del III Congreso Conjunto de las Sociedades de Física Médica y de Protección Radiológica, el próximo año 2013.

¿Cuáles son los motivos que han llevado a la elección de esta ciudad?

Hace ya algunos años, en 1987, organizamos en Badajoz el VI Congreso Nacional de la SEFM, pero Extremadura no había acogido ningún Congreso Nacional de la SEPR. Por eso, nos pareció oportuno y pertinente ofrecer la ciudad de Cáceres como sede para la celebración de nuestro próximo III Congreso Conjunto SEFM-SEPR.

Además, Cáceres es ciudad Patrimonio de la Humanidad, con mucha historia y cultura. Por lo tanto, es un lugar muy atractivo para trabajar, y también para disfrutar de su entorno y hacer turismo cuando finalice el Congreso.

¿Qué aspectos considera especialmente destacados del Complejo San Francisco, donde tendrá lugar el Congreso?

El motivo fundamental es que ofrece unas instalaciones modernas y unas dependencias muy acogedoras en un entorno cargado de belleza. Hay que subrayar que el Complejo Cultural San Francisco es un antiguo convento que data del siglo XV. El complejo arquitectónico se estructura alrededor de cuatro claustros y una impresionante iglesia que hoy alberga el auditorio, lugar donde se realizarán las conferencias plenarias de nuestro Congreso.

Los cuatro claustros están preparados para acoger exposiciones y stands, pero en nuestro caso los dejaremos prácticamente libres para poder disfrutar y pasear sin agobios por el interior del Complejo, situando las exposiciones en una carpa anexa al mismo, donde



se ubicarán los stands de las empresas colaboradoras y algún que otro punto de degustación gastronómica.

Finalmente, es interesante añadir que el Complejo Cultural San Francisco está dotado de la tecnología más avanzada para la celebración de este tipo de eventos, y cuenta con un amplio aparcamiento para coches y autobuses.

¿Cuál está siendo la respuesta de las autoridades locales en el proceso de organización?

Hemos recibido el respaldo institucional del presidente de la Junta de Extremadura, de varios consejeros de la

Comunidad Autónoma, del presidente de la Asamblea de Extremadura, del rector y del presidente del Consejo Social de la Universidad, de la alcaldesa de Cáceres y del presidente de la Diputación de Cáceres, todos ellos miembros del Comité de Honor.

Deseo destacar muy especialmente el papel que está jugando en la organización del Congreso la Diputación Provincial de Cáceres, que preside Laureano León Rodríguez, porque desde el primer momento que hablamos con él para solicitar las instalaciones del Complejo Cultural San Francisco, tuvo claro que para la ciudad de Cáceres un evento



de estas características solo tiene repercusiones positivas.

Vaya mi gratitud para todas las autoridades por su colaboración, agradecimiento que deseo hacer extensivo, en particular, al personal del Complejo Cultural San Francisco con los que mantenemos contactos permanentes y del Ayuntamiento que preside Elena Nevado del Campo.

LA ORGANIZACIÓN

El próximo Congreso es el tercero que desarrollan conjuntamente ambas sociedades. ¿Cómo se han estructurado los Comités responsables de la organización?

Los Comités de Organización y Científico se han estructurado siguiendo las indicaciones de las Juntas Directivas de ambas Sociedades. En el Comité de Organización se ha incluido a todo el personal que trabaja en Extremadura en los campos de la Física Médica y de la Protección Radiológica (propuesta realizada por mí), a todos los profesionales sugeridos por las Juntas Directivas de las dos sociedades y a los propuestos por los vicepresidentes Manuel Fernández Bordes y Leopoldo Arranz.

En el Comité Científico están los profesionales sugeridos tanto por las Jun-

tas Directivas de nuestras sociedades como por los copresidentes Pío Carmona y Francisco Sánchez Doblado.

¿Cuáles han sido las lecciones aprendidas de las ediciones anteriores que permitirán mejorar este tercer encuentro?

Es una pregunta muy difícil de responder. Y creo que tiene diversos flancos. Un congreso puede ser exitoso desde el punto de vista científico y profesional y no serlo desde la perspectiva de los resultados económicos. O serlo en ambos aspectos o en ninguno de ellos.

Creo que el I Congreso, realizado en Alicante y presidido por Bartolomé Ballester cubrió mejor los dos flancos referidos anteriormente que el II Congreso organizado en Sevilla. Me atrevo a añadir que el I Congreso es muy difícil de mejorar, especialmente en los resultados económicos.

En todo caso, no tengo ninguna duda de que los compañeros que asumieron la organización de los dos congresos anteriores hicieron todo lo posible por alcanzar la excelencia. Igual nos pasa a nosotros, que tenemos el reto de organizar el III Congreso Conjunto en una época caracterizada por una crisis económica que lo invade casi

todo, pero que afortunadamente no ha hecho excesiva mella en nuestra ilusión de conseguir una organización óptima.

¿Cuáles son las principales ventajas de la organización conjunta?

En mi opinión, la fundamental es la de compartir experiencias profesionales en un entorno caracterizado por la existencia de relaciones personales de afecto entre muchos de los participantes.

No podemos olvidar que existe una historia común compartida, porque muchas de las personas que asisten a nuestros congresos conjuntos son socios de ambas Sociedades científicas y, si bien es cierto que existen aspectos de la física médica de poca relevancia para la protección radiológica o a la inversa, también lo es que para la mayoría de los profesionales que nos dedicamos a la física médica o a la protección radiológica es muy positivo el intercambio de información en un ambiente cultural donde se insiste en los aspectos de la seguridad y de la calidad en el uso de las radiaciones.

Otra ventaja muy importante es que la organización de los congresos conjuntos permite optimizar los recursos económicos que obtienen por separado ambas Sociedades.

EL PROGRAMA CIENTÍFICO

El programa científico constituye el eje central del Congreso. Si bien es cierto que aún es pronto presentar los detalles, sí podemos avanzar las líneas estratégicas y el trabajo que se está realizando. En este sentido, ¿cómo se aborda el reto de conjugar en un único congreso los intereses científicos de los miembros de ambas sociedades?

Precisamente el programa que está elaborando el Comité Científico, con el apoyo del Comité Organizador, tiene como objetivo fundamental estructurar todas las actividades de forma que se de respuesta a los intereses comunes y a los intereses específicos que puedan tener los miembros de ambas sociedades. En mi opinión, éste es un reto que se ha superado.

Desde el punto de vista de organización, estamos trabajando en la distribución equilibrada de conferencias plenarias y semiplenarias, de mesas redondas y debates relacionados con los aspectos que más interesan a nuestros socios, en paralelo con la oferta de nuevos cursos muy demandados.

En relación con este apartado, he de señalar el excelente trabajo realizado por los miembros del Comité Científico, coordinados por Pío Carmena y Francisco Sánchez Doblado.

¿Pueden avanzarse las principales novedades de esta edición?

Con relación a los aspectos estrictamente organizativos, puede señalarse como principal novedad la propia estructura del programa científico, que es equilibrado, consensado y ambicioso; la elección de conferencias de actualidad, y la persistencia en seguir ofreciendo a los participantes un marco donde sea posible compaginar los avances técnicos con la cultura y los afectos.

Ahora bien, este Congreso se enfrenta a una situación radicalmente nueva como es la crisis. Por ello, creo que lo más novedoso será comprobar a finales de junio de 2013 hasta qué punto la respuesta de los socios y de ambas sociedades permitirán organizar futuras reuniones científicas con los formatos que hasta ahora hemos venido utilizando. La crisis económica es la componente más novedosa que subyace en la edición de nuestro próximo Congreso.

¿Cómo se estructura el Programa Científico?

Existen programadas cuatro conferencias plenarias de interés para todos los congresistas. La primera, de naturaleza humanística, será impartida el martes durante la inauguración del Congreso, y está previsto que aborde *el arte mudéjar en Extremadura y España*. La de clausura, el viernes, versará sobre *los grandes retos de la protección en los usos actuales de las radiaciones*. Además, se pronunciarán dos conferencias, una el miércoles sobre la

protección radiológica del paciente en los tratamientos modernos de radioterapia, y otra el jueves sobre *estado del plan de acción tras el accidente de Fukushima*.

Se desarrollarán también seis conferencias semiplenarias, que coinciden con otra semiplenaria, con temáticas específicas de interés para cada Sociedad. Los temas son: *método de Gestión de Riesgos, Hadronterapia: fundamentos, presente y futuro, aplicabilidad y límite de los detectores en la clínica, el futuro almacén de combustible gastado ATC, cultura de la seguridad radiológica y participación de la sociedad e infrarrojo como radiación fuertemente ionizante. Láser para aceleradores*.

En cuanto a mesas redondas, serán cuatro de hora y media de duración cada una: *la información dosimétrica y de riesgos a pacientes, familiares, voluntarios y población, nueva Directiva Comunitaria, presente y futuro de la especialidad de Radiofísica Hospitalaria. Máster de Física Médica y actuaciones de PR en las centrales nucleares españolas derivadas del accidente de Fukushima y las pruebas de resistencia*.

Además, se desarrollarán cuatro debates: *formación continuada on line en Protección Radiológica: presente y futuro, IMRT directa-inversa, exposiciones médico-legales (imágenes no médicas) y dosimetría individualizada para pacientes en diagnóstico*”.

Los cursos serán de dos tipos: cursos pre-congreso, de tres horas de duración, que tendrán lugar antes de la inauguración, y los cursos de refresco, de una hora de duración, antes de las conferencias plenarias del Congreso.

¿Podemos adelantar los nombres de los ponentes invitados?

Es precipitado adelantar nombres, aunque se han hecho ya muchos contactos previos. En gran medida, la composición final de las personalidades que asistan al Congreso dependerá de las exigencias económicas que implique su participación.

EL CONGRESO COMO PUNTO DE ENCUENTRO

Además del Programa Científico, que constituye el eje principal, el Congreso es también el punto de encuentro de los profesionales. ¿Qué actividades está proponiendo la organización para fomentar estos encuentros?

Estamos trabajando en la organización de un seminario conjunto de la SEFM con la AAPM (*American Association of Physicists in Medicine*), previo al inicio del Congreso el martes 18, que será coordinado por la Dra. Cari Borrás. En cuanto a los temas, pretendemos abordar aspectos de interés para los profesionales de ambas Sociedades.

¿Cuál es el Programa Social previsto?

El Comité Organizador está trabajando en los detalles de este programa. Están previstas varias actividades, como la visita guiada a la parte monumental de la ciudad, un viaje por el Tajo, la visita a Monfragüe, o una degustación de quesos de la tierra.

En los próximos meses informaremos con más detalle sobre este programa, en el que tenemos como objetivo que los asistentes conozcan mejor la ciudad de Cáceres, así como los lugares más emblemáticos de sus alrededores y de la cultura tradicional extremeña. Estoy seguro de que muchos de los congresistas conocerán aspectos de esta tierra que les sorprenderán gratamente.

EL RETO DE LA CRISIS

Los organismos relacionados con la física médica y con la protección radiológica han apoyado tradicionalmente este Congreso. Sin embargo, la actual situación de crisis parece afectar a todas las instancias, tanto públicas como privadas. ¿Cómo está afectando la crisis a la organización del Congreso?

La situación es, en efecto, muy complicada. Manuel Fernández Bordes, como vicepresidente de asuntos económicos, está haciendo un trabajo encomiable en la búsqueda de apoyos económicos, que prometen llegar a base de insistencia pero en cantidades



muy reducidas respecto a las aportaciones de congresos anteriores.

Las instituciones están respondiendo con mucho apoyo moral la mayoría de ellas, pero con cifras muy escasas. Especialmente significativa es la aportación de la Diputación Provincial de Cáceres al cedernos gratuitamente las instalaciones del Complejo Cultural San Francisco como sede del Congreso.

En cuanto a la presencia de las empresas en la Exposición Comercial, el vicepresidente de asuntos económicos está recabando también ayudas de muchas empresas relacionadas con la física médica con bastante éxito, dentro del panorama actual. Sin embargo, nos queda una labor intensa con las empresas e instituciones más relacionadas con la protección radiológica, las que empezaremos en breve a solicitar la ayuda que necesitamos.

En cualquier caso, debemos asumir que cuando fallan los ingresos la única manera de cuadrar las cuentas es la de reducir gastos. De ahí lo delicado de la situación.

LA PARTICIPACIÓN

Cuando faltan aún ocho meses para la celebración del Congreso, ¿qué previsiones tiene la Organización sobre la asistencia?, ¿qué iniciativas se impulsarán para promover la participación de los jóvenes en Cáceres?

En este momento, avanzar una cifra de congresistas es una incógnita, pero consideramos la participación de aproximadamente 500 personas. Precisamente uno de los objetivos que la Organización se ha marcado desde el primer momento es promover la participación de los jóvenes en el III Congreso de la SEFM-SEPR.

Consideramos que es fundamental que los profesionales más jóvenes se involucren y participen al máximo en esta iniciativa, potenciando las sinergias con profesionales más maduros y que aprovechen este punto de encuentro como una oportunidad excelente para crecer tanto profesional como personalmente.

Para alcanzar este objetivo utilizaremos las nuevas tecnologías combina-

CURSOS PRE-CONGRESO

- "La responsabilidad legal del Jefe de PR"
- "Registro automático de dosis en radiología digital"
- "dosimetría en radioterapia en condiciones de no referencia"
- "verificación y planificación con Monte Carlo de tratamientos complejos"
- "Limitaciones actuales y perspectiva de los planificadores comerciales"

CURSOS DE REFRESCO

- "Hipofraccionamiento: justificación radiobiológica"
- "Peritajes en Protección Radiológica"
- "Consideraciones prácticas para la medida y cálculo de dosis en SBRT"
- "Métodos de postprocesado de la imagen médica"
- "Evaluaciones de riesgos de efectos biológicos en el embrión o feto"
- "Tecnología híbrida: PET-RM-TPS"
- "Aplicación de códigos para la evaluación del impacto radiológico en público y medioambiente"
- "FFF (Flatening Filter Free) ¿Por qué?"
- "Control del movimiento respiratorio en Radioterapia"
- "Determinación de las dosis en TC Cone Beam"
- "Protección Radiológica y gestión de residuos NORM"
- "Cómo se escribe y presenta un trabajo científico"

das con los métodos tradicionales:

1. A través de Facebook y Twitter mantendremos informados de las novedades que se produzcan en el Congreso, para que todos los profesionales tengan información actualizada, ágil y útil.
2. Estamos desarrollando una aplicación para Iphone, Ipad y demás soportes, donde proporcionaremos un acceso rápido y preciso a toda la información de interés del Congreso, buscando brindar la máxima comodidad al usuario.

Esperamos que la presencia de los jóvenes venga también muy apoyada desde las instituciones o empresas donde trabajan, dado que su participación estimula su carrera profesional y da una buena imagen de sus centros de trabajo.

Además de atraer a jóvenes profesionales, estamos planificando una campaña de comunicación con el objetivo de acercarnos más a la población. Desarrollaremos una campaña en prensa y radio durante los meses previos al Congreso, y finalizaremos con una *Jornada de Puertas Abiertas* el último día del Congreso, con el objetivo de atraer a colegios, institutos y público en general.

Como presidente del Comité Organizador, le invitamos a transmitir un mensaje a todos los socios de la SEPR para que asistan al tercer Congreso conjunto.

La hermosa ciudad de Cáceres ha sido gratamente elegida para ser la sede del tercer congreso conjunto de las Sociedades Nacionales de Física Médica y de Protección Radiológica y gracias al esfuerzo de muchas empresas, instituciones y personas tendremos el honor de recibiros como cualificados especialistas y buenos amigos.

En el Congreso intentaremos combinar los aspectos científicos y profesionales, contenidos en un excelente Programa Técnico, con algunos detalles característicos de la hospitalidad extremeña. Así pues, os animamos a participar.

Esperamos vuestro apoyo en estos momentos de tanta incertidumbre y será un placer el poder atenderos y contar con vuestras contribuciones científicas y profesionales en los campos de la Protección Radiológica y de la Física Médica.

Por nuestra parte vamos a poner toda nuestra ilusión, empeño y afecto en lograr que vuestra estancia sea grata y enriquecedora.

CÁCERES 2013

18-21 DE JUNIO DE 2013
Complejo Cultural San Francisco



El Tercer Congreso Nacional de la Sociedad Española de Física Médica (SEFM) y de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) será una nueva ocasión para que todos los profesionales implicados en la física y en la protección contra las radiaciones en las áreas de la medicina, de la industria, de la investigación, de la docencia y de su control normativo, presenten sus reflexiones y trabajos más recientes.

Con esta perspectiva se podrán tratar todos los temas científicos que, sin duda, favorecerán los intercambios de experiencias así como las interacciones entre las diferentes disciplinas.

Cursos, exosición técnica, conferencias plenarias y medas redondas, completarán las ponencias presentadas de forma oral o en forma de póster.

TEMAS

Todos los profesionales están invitados a remitir sus resúmenes a la Secretaría del Congreso, de acuerdo con las normas recogidas en la página web:

www.sefmseprextremadura2013.es

La propuesta inicial de áreas temáticas que se plantea es la siguiente:

- Radiobiología.
- Detección y medida de las radiaciones: metrología y dosimetría.
- Educación y formación.
- Reglamentación y normativa.
- Aspectos sociales y éticos del uso de radiaciones.
- Radiaciones no ionizantes.
- Situaciones de exposición existente.
- Situaciones de exposición planificada: centrales nucleares y actividades del ciclo de combustible; aplicaciones industriales (radiografía industrial, transporte, seguridad física); instalaciones de investigación.
- Radiobiología.
- Residuos radiactivos, desmantelamiento y clausura de instalaciones.
- Situaciones de exposición en emergencias.
- Protección radiológica del público y del medioambiente.
- Radioterapia.
- Medicina nuclear.
- Imagen médica: radiodiagnóstico e intervencionismo médico.
- Biofísica.
- Técnicas de modelado y simulación.

Un desglose adicional de estas áreas temáticas puede encontrarse en la página web del Congreso. La planificación de las sesiones temáticas en las que finalmente se estructure el programa científico se realizará en función de las ponencias presentadas.



PROGRAMA

MARTES 18 DE JUNIO

Tarde Registro de participantes
Cursos de actualización
Cóctel de recepción

MIÉRCOLES 19 DE JUNIO

Mañana Cursos de actualización
Sesión de apertura
Conferencia plenaria
Sesiones temáticas

Tarde Sesiones temáticas
Asamblea General SEFM

Noche Acto social

JUEVES 20 DE JUNIO

Mañana Cursos de actualización
Sesiones temáticas

Tarde Sesiones temáticas
Asamblea General SEPR

Noche Reunión de Sociedades

VIERNES 21 DE JUNIO

Mañana Cursos de actualización
Sesiones temáticas
Conferencia plenaria
Clausura del Congreso

La exposición de las ponencias podrá ser por presentación oral o póster a juicio del comité científico del Congreso. Más información en:

www.sfmseprextremadura2013.es

Habrà un àrea informàtica para acceder a los pósteres electrónicos que estará ubicada en la exposición técnica abierta durante el Congreso.

Las pausas-café tendrán lugar en el área de exposición técnica para favorecer los intercambios entre profesionales.

Complejo Cultural San Francisco

Centro de Congresos y Exposiciones

Ronda de San Francisco s/n

10002 Cáceres

www.brocense.com

Con el patrocinio de la Excm.



CUOTAS DE INSCRIPCIÓN

Los precios de estas cuotas incluyen el IVA

	Antes del 15 de mayo 2013	Después del 15 de mayo 2013
Socios (1)	300 €	400 €
Residentes y becarios (2)	200 €	225 €
No socios	600 €	700 €
Acompañantes	150 €	200 €
Empresas colaboradoras (3)	350 €	400 €

(1) Socios de la SEFM, SEPR, EFOMP e IRPA

(2) Se exigen certificaciones

(3) Cuota reducida

IMPORTANTE PARA LOS AUTORES

LAS PERSONAS QUE DESEEN PRESENTAR UNA COMUNICACIÓN ORAL O PÓSTER, DEBERÁN TENER EN CUENTA LAS NORMAS DE PUBLICACIÓN Y LOS TEMAS DETALLADOS EN LA PÁGINA WEB DEL CONGRESO.

LA **FECHA LÍMITE** DE PRESENTACIÓN DE LAS PONENCIAS SERÁ EL **31 DE ENERO DE 2013**. PARA QUE SE ACEPTE UN TRABAJO **AL MENOS UNO DE LOS AUTORES** DEBERÁ ESTAR **INSCRITO** EN EL CONGRESO.



5ª CONFERENCIA INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN Y FORMACIÓN EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

VIENA, AUSTRIA - 13-15 DE MARZO DE 2013

Flemings Hotel Wien Westbahnhof (Viena)



Con el fin de seguir construyendo sobre lo que se ha logrado hasta ahora, el Laboratorio de Seibersdorf y la Sociedad Nuclear Europea está organizando la 5ª conferencia internacional sobre la educación y la formación en protección radiológica, ETRAP2013.

La conferencia pretende abordar la mayor audiencia potencial, que cubre los responsables políticos, el sector médico, técnicos en rayos X industriales, expertos en norma, el sector de la ingeniería, la industria no nuclear, los investigadores de ciencias sociales, expertos en seguridad, expertos en protección radiológica, los responsables de protección radiológica, los médicos expertos en física, los reguladores y las autoridades. Además, se pretende reforzar los contactos entre las diferentes organizaciones, individuos y redes que se ocupan de las políticas de educación y formación en protección radiológica. Se prestará también especial atención a atraer e invitar a los jóvenes profesionales para asegurar la transferencia de conocimientos y ayudar a construir el futuro de la protección radiológica.

COMITÉ ORGANIZADOR:

Presidente de la Conferencia General:

Martina Schwaiger,

Director General de Laboratorios
Seibersdorf

Presidente: Michèle Coeck, SCK • CEN

Miembros:

- Alfred Hefner, Laboratorios Seibersdorf
- Eduardo Gallego, UPM y IRPA
- Augustin Janssens, DG de Energía
- John Wheatley, OIEA
- Marcel Schouwenburg, Univ. Tecnológica de Delft y EUTERP
- Annemarie Schmitt-Hanning, BFS
- Richard Paynter, HPA
- Olvido Guzmán, Herca
- Dragan Kubelka, Oficina para Radiológica y Seguridad Nuclear de Croacia
- Gilles Genard, Tractebel Engineering
- Carmelo Caruana, Efomp

ÁREAS CIENTÍFICAS

Las contribuciones serán especialmente bien recibidas en los siguientes temas relacionados con la educación y la formación en protección radiológica:

- Armonización de la terminología y definiciones, taxonomías, las descripciones de los resultados de aprendizaje, la comparación de ECVET/MEC/ECTS y otros sistemas de acreditación de la formación profesional continua.
- Eficiencia y eficacia de la capacitación.
- Aspectos reglamentarios, procesos de acreditación y certificación, (inter) nacional de infraestructura para E & T, el desarrollo de las estrategias nacionales.
- Colaboraciones y redes (inter) nacionales.
- Necesidades de formación específicas: médico, nuclear, industrial, NORM.
- Herramientas y recursos, métodos de entrega, instrumentos modernos de aprendizaje.
- Mecanismos para actualizar de manera sistemática cursos de E y F.
- Retroalimentación de la experiencia, incluyendo los incidentes y accidentes, protección contra las radiaciones en E & T.
- Evolución en los contenidos formativos, introducción de los aspectos éticos, la comunicación, ...
- Atraer la participación de las jóvenes generaciones.
- Educación pública, información sobre efectos de la radiación y protección radiológica.

Organizado por:



Apoyado por:



La página web de la SEPR

Se están produciendo en la página web de la SEPR algunos cambios que merecen la atención de los socios.

Por una parte, como muchos de nosotros hemos sufrido, el cambio de servidor en el que se aloja nuestra web provocó que el sistema de envío de correos electrónicos de forma masiva a los socios dejara de funcionar debidamente. Para subsanar este problema probamos distintos métodos hasta encontrar uno que fuera satisfactorio. En estos momentos el sistema está funcionando correctamente, pero a cambio hemos debido inhabilitar el sistema que permitía suscribirse o darse de baja en cada uno de los mensajes del foro de forma independiente.

Por ello, en estos momentos, solo existen dos opciones. O bien recibir siempre aviso de todos los mensajes del foro, con las molestias que eso puede conllevar, o por el contrario dejar de recibirlos. Para dejar de recibir estos mensajes que la web envía automáticamente, solo se debe escribir un correo desde la cuenta que quiere deshabilitarse dirigido a webmaster@sepr.es indicando en el asunto "deshabilitar foro". En el caso de querer volver a recibir los mensajes se seguirá el mismo procedimiento indicando en el asunto "habilitar foro".

Como las listas de correos asociadas al foro o al boletín de noticias son independientes, el deshabilitarse de dicha lista no conlleva dejar de recibir los boletines de noticias. En caso de querer deshabilitar los mensajes generados por dicho boletín se seguirá el mismo procedimiento, indicando "deshabilitar boletín" o "habilitar boletín" según se desee.



Figura 2.- Sección Empleo de www.sepr.es

De momento, debido principalmente a las dificultades presupuestarias de la Sociedad, el cambio producido únicamente ha consistido en designar responsable del mantenimiento y desarrollo de esta sección a Alegría Montoro, del Hospital la Fe de Valencia. Alegría, por tanto, ha tomado la responsabilidad de realizar búsquedas periódicas de empleos que tengan relación con las actividades de la Sociedad, añadiendo los datos a la sección y, por supuesto, agradeceríamos que si tuvierais noticias de cualquier posición que pudiera ser de interés para aquellos socios en búsqueda de empleo, enviarais los datos a montoro_ale@gva.es. En un futuro, esperamos que no muy lejano, se llevará a cabo una reestructuración en profundidad de la sección.

Por último, y no menos importante, se realizó una reorganización del apartado de *Descargables* (gracias a Cristina Garrido, Ángeles Sánchez y Pedro Ruiz) con la que consideramos que se localizan de una forma mucho más sencilla todos los documentos en ella contenida.



Figura 3.- Sección Descargables de www.sepr.es



Figura 1.- Foro de socios de www.sepr.es

En segundo lugar se está comenzando a desarrollar un cambio que esperamos sea de utilidad para los socios. Este cambio consiste en dejar de considerar la sección de *Empleo* de la web una sección en la que los socios pueden anunciar sus ofertas de empleo, para pasar a ser un lugar de búsqueda de empleo.

Esperamos sinceramente que el esfuerzo que todo el Comité de Redacción realiza sea de utilidad para todos los socios.

Juan Carlos Mora
Coordinador web de la SEPR

Frecuencia de dicéntricos en niños y adolescentes ucranianos de zonas cercanas a Chernobyl 20 años después del accidente de la central nuclear

Alegría Montoro¹, Natividad Sebastià², Cristian Candela¹, Joan Francesc Barquineró³, José Miguel Soriano², Miguel Almonacid†, Vicenta Sahuquillo¹, Óscar Alonso¹, José Cervera⁴, Esperanza Such⁴, M^a Ángeles Silla⁴, Clara Arnal⁵, Juan Ignacio Villaescusa¹

¹Servicio de Protección Radiológica, Hospital Universitario y Politécnico La Fe.

²Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública, Universidad de Valencia.

³Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire (IRSN).France.

⁴Servicio de Hematología, Hospital Universitario y Politécnico La Fe.

⁵Fundación Juntos por la Vida. Valencia.

†19/09/2011 In memoriam Dr. Almonacid; incluimos algunas imágenes ilustrando su labor en Chernobyl.

RESUMEN

En este trabajo se realizó un estudio de la frecuencia de dicéntricos en sangre periférica de 55 niños y adolescentes Ucranianos de las zonas afectadas por el accidente de Chernobyl, con el fin de evaluar la posible existencia de daño en los cromosomas debido a la radiación, y de estimar la dosis absorbida mediante dosimetría biológica. Un total de 36 cromosomas dicéntricos encontrados en un total de 53477 células analizadas reflejaron una baja frecuencia de dicéntricos (inferior al límite basal). De los resultados se puede concluir que, dentro de los límites de detección de la técnica utilizada, no se ha detectado ninguna sobre-exposición en estos niños a la radiación.

ABSTRACT

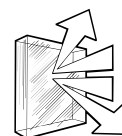
In this work, frequency of dicentric chromosomes in the peripheral blood of 55 children and teenagers from Ukrainian areas affected by the Chernobyl accident are studied, in order to assess the possible existence of chromosomal damage due to radiation, and to estimate absorbed dose through biological dosimetry. A total of 36 dicentric chromosomes found in 53477 analyzed cells reflected a low dicentric frequency (below the baseline limit). From these results, it can be concluded that, within the detection limits of the used technique, no overexposure to radiation was detected in these children.

INTRODUCCIÓN

En abril de 1986, una explosión en la central nuclear de Chernobyl (Rusia) expuso a la población de países cercanos a una serie de elementos radiactivos tales como el yodo (¹³¹I), el cesio (¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs) y el estroncio (⁹⁰Sr), así como a una amplia gama de isótopos de vida corta. Desde entonces, los residentes en estas áreas han estado expuestos a la radiación, principalmente a través de las siguientes vías [1]: a) nube inicial de radiación, b) inhalación de material radiactivo, c) radionúclidos depositados en el suelo, y d) consumo de comida y bebida contaminada. Esta exposición se ha producido de forma continuada con el tiempo. De hecho,

grandes territorios de la antigua Unión Soviética (Ucrania y Bielorrusia, principalmente) todavía están contaminados y, según estudios publicados [2], un número importante de personas está sujeta a una exposición crónica de bajas dosis de radiación que aún puede contribuir a daños en el genoma humano. Los estudios citogenéticos mostraron que, incluso en las zonas que fueron consideradas como no contaminadas, sí lo fueron con radionúclidos a unos niveles capaces de aumentar el daño en el genoma.

En 2008, Stepanova y col. [3] indicaron que había una falta de estudios analíticos completos en los que la dosis absorbida y los riesgos se estimaran a nivel individual. Una manera de obtener dicha información acerca de la dosis



Central nuclear de Chernobyl (año 2008). © Rigorberto Llopis.

de radiación absorbida consiste en cuantificar los efectos citogenéticos con el ensayo de dicéntricos, utilizando linfocitos de la sangre. Aún, hoy en día, ésta es la técnica más utilizada. Se fundamenta en la cuantificación de dicéntricos, alteraciones cromosómicas inducidas por la radiación en nuestro organismo. La frecuencia de estas alteraciones se relaciona con la dosis absorbida según un modelo lineal-cuadrático [4]. Se ha observado que la tasa de estas aberraciones en la sangre disminuye con el tiempo de una forma casi exponencial después de la irradiación [4,5], con una semivida de tres años aproximadamente. Por lo tanto, cabe esperar que esta técnica permita estimar la dosis absorbida en los últimos 3-5 años.

Anteriores trabajos han mostrado que la contaminación interna todavía estaba presente 10 años después del accidente [2, 6-9]. Este es un hecho preocupante, principalmente en los niños. Así, se ha observado que el ^{90}Sr se incorpora en el esqueleto de los niños en tasas de cuatro a seis veces



Nuestros compañeros junto al director y trabajadoras del hospital de Ivankiv. © Rigorberto Llopis.



El Dr. Almonacid realizando el reconocimiento médico a uno de los niños residentes en la zona. © Rigorberto Llopis.

superiores que en los adultos [10]. En cuanto a estudios de aberraciones cromosómicas se ha encontrado que la tasa de éstas una década después era de hasta cuatro veces mayor en niños expuestos que en los de control [2, 6-9]. Además, Pilinskaya y col. [11] establecieron que el nivel más alto de aberraciones cromosómicas se encontraba en los niños que vivían en un territorio con un nivel máximo de exposición. Se obtuvieron resultados similares por el grupo de Bochkov y col. [12], que observó que la presencia de aberraciones cromosómicas en los linfocitos se incrementaba en un 53% en los niños que vivían en zonas contaminadas, y sugirió que la presencia de estos cambios a largo plazo en los linfocitos de los niños podría deberse a un mecanismo de reparación cromosómica alterado. Tras todos estos hallazgos, los genotoxicólogos han mostrado un interés creciente en la realización de estudios a niños, con el fin de esclarecer si son más susceptibles a la exposición ambiental que los adultos [2]. Resulta también de interés establecer si, todavía hoy en día están presentes las alteraciones cromosómicas en niños nacidos tras el accidente.

Existen programas por medio de los cuales algunos de estos niños ucranianos son acogidos por familias europeas en sus hogares durante el periodo estival y navideño. En nuestro país, desde 1995, se llevan a cabo programas de acogida a través de Organizaciones No Gubernamentales (ONG). Como parte de esta acción, a través de la ONG *Juntos por la Vida*, alrededor de 200 niños son acogidos todos los años en familias valencianas.

El objetivo de este trabajo, por petición de la ONG española y el Ministerio de Salud de Ucrania, fue evaluar la frecuencia de dicéntricos en estos niños con el fin de estudiar la posible persistencia de daño cromosómico debido a los niveles actuales de radiación en zonas afectadas por el accidente de Chernobyl.

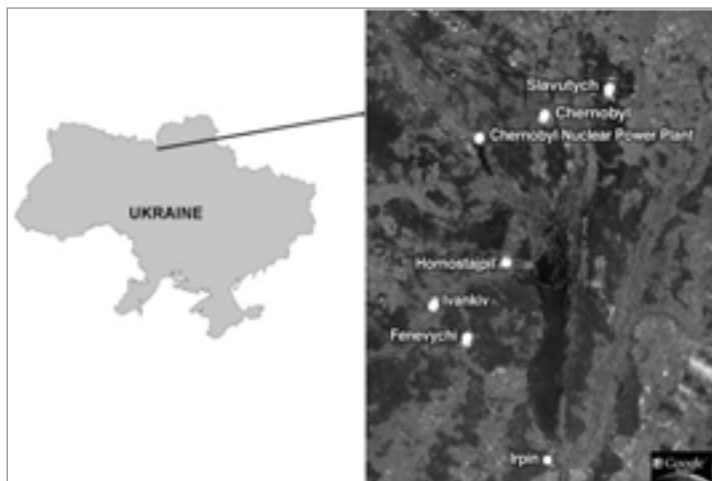


Figura 1. Localización en el mapa de los sujetos de estudio (fuente: Google Earth).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo con la ayuda de la ONG *Juntos por la Vida* durante el año 2007-2008, en 55 niños, adolescentes y jóvenes ucranianos (29 niños y 26 niñas) de padres expuestos a la radiación tras el accidente de Chernobyl, con una edad media (\pm desviación estándar) de $11,0 \pm 4,7$ años. Los sujetos estudiados residían en áreas muy cercanas (<100 -150 km) a la región afectada por el accidente, y en algunos casos en la zona de exclusión de 30 km. La Figura 1 muestra un mapa con la procedencia de los sujetos estudiados y en la Figura 2 se representa un histograma con el número de niños en función de su edad y ciudad de origen. El protocolo de actuación fue aprobado

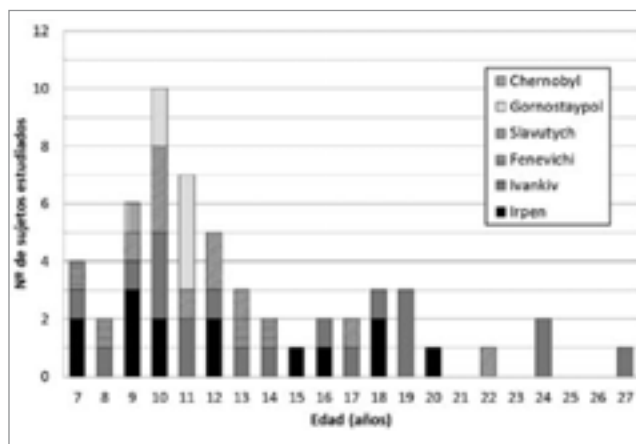


Figura 2. Histograma representativo del número de sujetos estudiados en función de sus edades y ciudades de procedencia.

por el Comité Ético del Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia, y cada padre/madre/tutor dio su consentimiento informado después de que el estudio hubiese sido plenamente explicado.

Condiciones de cultivo y evaluación citogenética: para cuantificar la frecuencia de dicéntricos son necesarias muestras de sangre periférica. Éstas fueron recogidas en tubos vacutainer estériles con heparina de litio como anticoagulante. El análisis se llevó a cabo mezclando 0,75 ml de sangre con 5 ml de medio de cultivo PB-Max Karyotiping, incubándose 48 horas a 37°C. Dos horas antes de finalizar el tiempo de cultivo estipulado se añadieron 150 μ L de Colcemid® para detener las divisiones celulares. Las células fueron entonces tratadas con una solución hipotónica con el fin de romper las membranas nucleares y permitir que los cromosomas se extiendan. Finalmente, se fijaron con una solución de Carnoy (metanol/ácido acético). La tinción que se llevó a cabo con el fin de visualizar las metafases en el microscopio fue la de bandas-C [13].

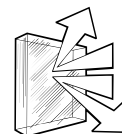
Todas las metafases con anomalías cromosómicas fueron revisadas independientemente por dos investigadores. Las anomalías cromosómicas analizadas fueron cromosomas dicéntricos (dic) (ver Figura 3) y anillos (r), ambos considerados solo cuando el fragmento acéntrico correspondiente estaba presente. El número de células analizadas fue de entre 500 y 1000 por niño. Para ello se utilizó el software Ikaros (Metasystem Group Inc., Boston, MA).

A partir de la frecuencia de dicéntricos encontrada se estima la dosis absorbida a partir de una curva de calibración [14] que relaciona ambos parámetros de acuerdo con:

$$Y = C + \alpha \cdot D + \beta \cdot D^2$$



Cartel informativo sobre el nivel de radiación en la entrada de la central nuclear de Chernobyl. © Rigorberto Llopis.



siendo Y la frecuencia de dicéntricos, C la frecuencia basal, D la dosis absorbida, y α y β los parámetros de ajuste. De acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) [4], el límite de detección que se puede alcanzar con esta técnica es de 0,1-0,2 Gy.

Origen	Sexo	Edad media	Incidencia	Y_{dic}
Irpín	H	14 ± 5	4/9	0,0020 ± 0,0014 (2/4)
	M	10 ± 2	2/5	0,0010 ± 0,0010 (2/2)
Ivankiv	H	15 ± 6	5/9	0,0010 ± 0,0010 (3/5)
				0,0015 ± 0,0011 (1/5)
	M	15 ± 6	8/11	0,0019 ± 0,0014 (1/5)
				0,0010 ± 0,0010 (7/8)
Fenevichi	H	10 ± 3	1/4	0,0016 ± 0,0010 (1/8)
	M	-	-	0,0020 ± 0,0014 (1/1)
Slavutysh	H	15 ± 6	1/3	0,0010 ± 0,0010 (1/1)
				0,0010 ± 0,0010 (2/3)
	M	12 ± 3	3/7	0,0013 ± 0,0009 (1/3)
Hornostajpil	H	11 ± 0	2/4	0,0010 ± 0,0010 (1/2)
				0,0020 ± 0,0014 (1/2)
	M	10 ± 0	1/2	0,0020 ± 0,0014 (1/1)
Chernobyl	H	-	-	-
	M	9 ± 0	-	-
Global		12 ± 5	27/55	0,0007 ± 0,0001

Tabla 1. Resultados del estudio citogenético a los niños y adolescentes ucranianos, ordenados por ciudad de origen. Se proporciona la edad media (\pm desviación estándar), la incidencia (fracción de sujetos con dicéntricos) y la frecuencia de dicéntricos Y_{dic} (\pm desviación estándar). Entre paréntesis se muestra la fracción de sujetos con la frecuencia de dicéntricos que aparece arriba de ésta.

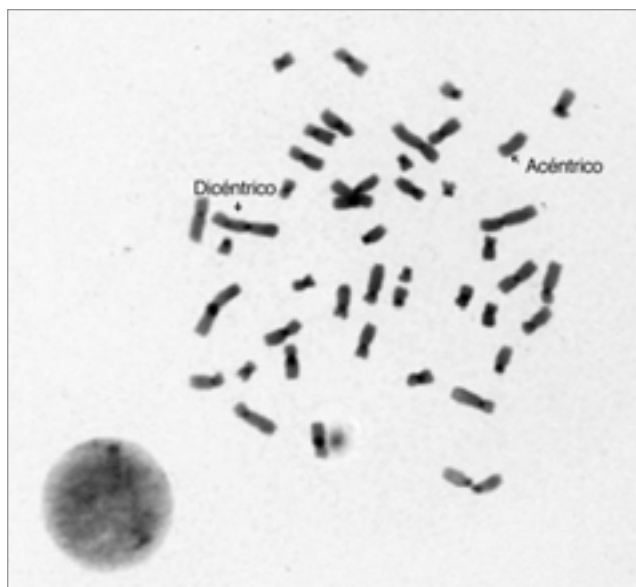


Figura 3. La imagen muestra un linfocito de la sangre (fase de la división celular: metafase) de uno de estos niños teñido con la técnica de Bandas C. A la izquierda se observa un núcleo aún sin dividir y a su derecha aparecen los cromosomas. Las zonas más oscuras corresponden a los centrómeros. Se identifica un dicéntrico y su correspondiente acéntrico.

Mediante el software Cabas [15] se obtuvieron los valores de dosis absorbida, los cuales fueron agrupados por origen y sexo de los sujetos estudiados.

RESULTADOS

Tras el análisis de 53.447 metafases, en la Tabla I se muestran los resultados del estudio citogenético llevado a cabo en los 55 sujetos, incluyendo el origen, sexo, edad media, incidencia y frecuencia de cromosomas dicéntricos. También se calculó la media aritmética de la frecuencia de dicéntricos y la dosis absorbida colectiva de todo el grupo. En nuestro estudio, se obtuvo una frecuencia media de dicéntricos en los sujetos estudiados de 0,0007 (7 por cada 10.000 células). Este valor se encuentra dentro del rango de la frecuencia basal (entre 0,0005 y 0,0010) fijado por la OIEA [4]. Para la estimación de la dosis, los coeficientes de la curva establecidos por Montoro y col. [14] fueron: $C = (0,07 \pm 0,08) \times 10^{-2}$, $\alpha = (4,23 \pm 0,84) \times 10^{-2}$ y $\beta = (4,46 \pm 0,48) \times 10^{-2}$. Los resultados de dosimetría biológica, donde se considera que la persona o personas han estado expuestas cuando el límite inferior del intervalo de confianza es superior a 0 Gy, indicaron que la dosis colectiva estimada era consistente con 0 Gy. Es decir, no se estimó ninguna dosis absorbida.



Situación actual de abandono en que se encuentra la ciudad de Pripjat tras la catástrofe de Chernobyl. © Rigorberto Llopis.

DISCUSIÓN

El valor más alto en la frecuencia de dicéntricos fue de 0,002, el cual solo se obtuvo en los individuos estudiados procedentes de Irpin, Fenevychi y Hornostajpil. Estas ciudades (Figura 1), en comparación con otras, se encuentran cerca del embalse de Kiev, que recibe el agua del río Pripjat (río que se encuentra cerca del reactor de Chernobyl), pudiendo ser ésta la relación causa-efecto. Según las referencias bibliográficas, durante los últimos años se ha detectado contaminación radiactiva en peces [16] y agua [17] de esta zona.

En la Figura 4 se muestran los datos de frecuencia de dicéntricos encontrados en los niños expuestos a radiaciones ionizantes tras el accidente de Chernobyl, obtenidos por diferentes autores y resumidos por Fucic y col. [2]. En esta figura vemos que la frecuencia de dicéntricos encontrada por Pilinskaya y col. [11] y por Barale y col. [6] supera el límite basal, no siendo consistentes con los resultados aquí obtenidos. Este hecho puede deberse a que en el caso de Pilinskaya el estudio corresponde a niños expuestos al accidente, que justifica el mayor número de aberraciones provocadas por la radiación. En el caso de Barale, el análisis se realiza a dos grupos de niños de la ciudad de Gomel (Ucrania), unos afectados por cáncer de tiroides y otros no (F y G de la Figura 4, respectivamente). Se observa el incremento en los niños afectados en relación al grupo control.

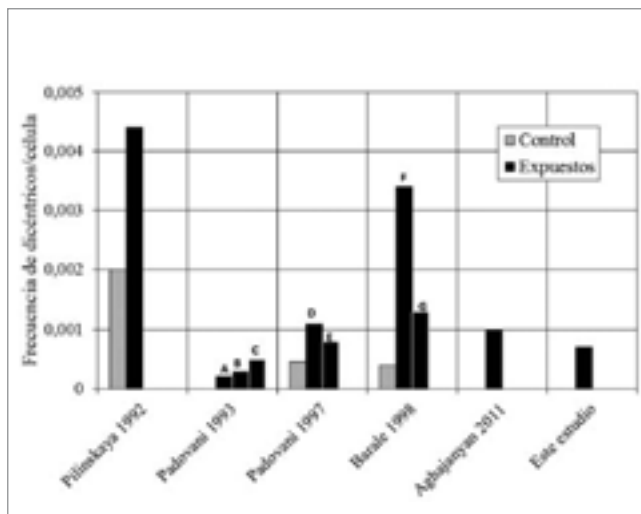
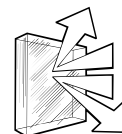


Figura 4. Frecuencia de dicéntricos en niños de origen cercano al lugar del accidente nuclear, tal y como se reflejan en diferentes artículos. Las diferentes letras (A-G) corresponden a diferentes grupos estudiados dentro de un mismo artículo.

Por otro lado, los resultados obtenidos en este trabajo son consistentes con los estudios realizados por Padovani y col. [7,8] y Aghajanyan y col. [18]. En un primer trabajo, el grupo de Padovani estudió tres grupos de niños de diferentes zonas de Bielorrusia (A, B y C, de la Figura 4), todas ellas situadas a más de 200 km del lugar del accidente. Posteriormente, en 1997 [8], realizan un estudio similar a dos grupos de niños de dos regiones diferentes de Rusia (D y E, en la Figura 4). Todos ellos habían nacido ya en el momento del accidente, pero muestran una frecuencia de dicéntricos inferior a la basal. En el caso del estudio de 2011 del grupo de Aghajanyan [18], las frecuencias de dicéntricos de hijos de liquidadores se encuentran también dentro de la frecuencia basal.



CONCLUSIONES

Los datos de nuestro análisis citogenético indican que el grupo de sujetos estudiado que vive en los alrededores de Chernobyl, y que a excepción de un caso aún no había nacido en el momento del accidente, no tiene en general una mayor frecuencia de dicéntricos en comparación con lo habitual en la población no expuesta. Asimismo, mediante dosimetría biológica se ha estimado una dosis colectiva nula. No obstante, esto no descarta que nuevos estudios sobre otros biomarcadores genéticos diferentes puedan mostrar otro tipo de alteraciones genéticas.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada en parte por el Hospital Universitario Politécnico La Fe de Valencia, el Consejo de Seguridad Nuclear (2696/SRO) y por el Laboratorio farmacéutico IBA Molecular Spain, S.A.

Los autores expresan su agradecimiento a Marisa Navarro, enfermera del Servicio de Protección Radiológica del Hospital de la Fe por todo su trabajo y apoyo. También a Tatiana Sviridenko y su familia, Lidia Ponomar, Larisa Kulyk, el personal médico del Hospital de Ivankiv y el Departamento Regional de Salud de Kiev, así como la ayuda de la ONG Fundación *Juntos por la Vida*.

REFERENCIAS

- [1]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2006.
- [2]. Fucic A., Brunborg G., Lasa R., Jezek D., Knudsen L.E., Merlo D.F. Genomic damage in children accidentally exposed to ionizing radiation: A review of the literature. *Mutat. Res.* 658: 111-23; 2008.
- [3]. Stepavova E., Karmaus W., Naboka M., Vdovenko V., Mousseau T., Shestopalov V.M., Vena J., Svendsen E., Underhill D., Pastides H. Exposure from the Chernobyl accident had adverse effects on erythrocytes, leukocytes, and platelets in children in the Narodichesky region, Ukraine: A 6-year follow-up study. *Environ. Health.* 7: 1-3; 2008.
- [4]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Biological dosimetry: chromosomal aberration analysis for dose assessment. Technical Reports Series 260, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2011.
- [5]. Lloyd D.C., Purrott R.J., Reeder E.J., The incidence of unstable chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from unirradiated and occupationally exposed people. *Mutat. Res.* 72: 523-532; 1980.
- [6]. Barale R., Gemignani F., Morizzo C., Lori A., Rossi A., Antonelli A., Di Pretoro G., Panasiuk G., Ballardini M. Cytogenetic damage in lymphocytes of healthy and thyroid tumor-affected children from the Gomel region (Belarus). *Mutat. Res.* 405: 89-95; 1998.
- [7]. Padovani L., Caporossi D., Tedeschi B., Vernole P., Nicoletti B., Mauro F. Cytogenetic study in lymphocytes from children exposed to ionizing radiation after the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* 319: 55-60; 1993.
- [8]. Padovani L., Stronati L., Mauro F., Testa A., Appolloni M., Anzie P., Caporossi D., Tedeschi B., Vernole P. Cytogenetic effects in lymphocytes from children exposed to radiation fall-out after the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* 395: 249-54; 1997.
- [9]. Vorobtsova I.E., Vorobyeva M.V., Bogomazova A.N., Yu Pukkenen A., Arkhangel'skaya T.B. Cytogenetic study of children living in St Petersburg region suffered from the Chernobyl accident. The rate of instable chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes. *Radiat. Biol. Radioecol.* 22:630-35; 1995.
- [10]. Minenko V.F., Ulanovsky A.V., Drozdovitch V.V., Shemiakina E.V., Gavrilin Y.I., Khrouch V.T., Shinkarev S.M., Voillequé P.G., Bouville A., Anspaugh L.R., Luckyanov N. Individual thyroid dose estimates for a case-control study of Chernobyl-related thyroid cancer among children of Belarus-Part II. Contributions from long-lived radionuclides and external radiation. *Health Phys.* 90: 312-27; 2006.
- [11]. Pilinskaya M.A., Shemetun A.M., Dybsky S.S., Redko D.V., Ereneyeva M.N. The cytogenetic effect in the peripheral blood lymphocytes as an indicator of the influence on a human being of Chernobyl accident factors. *Radiobiologia.* 32: 632-39; 1992.
- [12]. Bochkov P., Bedelbaeva K.A., Katosova L.D., Ambrosyev A.P. Chromosome aberrations in peripheral lymphocytes of subjects living in regions with increased radiation levels. *Reports Acad Sci Republic of Belarus.* 35: 745-8; 1991.
- [13]. Fernandes T.S., Lloyd D., Amaral A. A comparison of different cytological stains for biological dosimetry. *Int J Radiat Biol.* 84: 703-11; 2006.
- [14]. Montoro A., Almonacid M., Serrano J., Saiz M., Barquiner J.F., Barrios L., Verdú G., Pérez J., Villascusa J.I. Assessment by cytogenetic analysis of the radioprotection properties of propolis extract. *Radiat. Prot. Dosimetry.* 115: 461-4; 2005.
- [15]. Deperas J., Szluinska M., Deperas-Kaminska M., Edwards A., Lloyd D., Lindholm C., Romm H., Roy L., Moss R., Morand J., Wojcik A. CABAS: a freely available PC program for fitting calibration curves in chromosome aberration dosimetry. *Radiat Prot Dosimetry.* 124: 115-23; 2007.
- [16]. Kaglyan O.Y., Gudkov D.I., Klenus V.G., Shyroka Z.O., Nazarov O.B.. Strontium-90 in fish from the lakes of the Chernobyl exclusion zone. *Radioprotection.* 44: 945-49; 2009.
- [17]. Yablokov A.V., Nesterenko V.B., Nesterenko A.V... Atmospheric, water and soil contamination after Chernobyl. In: Yablokov AV, Nesterenko VB, Nesterenko AV, editors. 1181: Pg:223-236. Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2009.
- [18]. Aghajanyan A., Kuzmina N., Sipyagyna A., Baleva L., Suskov I.. Analysis of genomic instability in the offspring of fathers exposed to low doses of ionizing radiation. *Environ Mol Mutagen.* 45: 538-46; 2011.

Protección Radiológica Operacional en centros veterinarios

Eva Cordón, Alicia Vigil y Anna Coll
Asesoría y Control en Protección Radiológica, S.L.

RESUMEN

Actualmente, existe una tendencia hacia el uso de sistemas digitales de imagen en instalaciones de radiodiagnóstico en el ámbito veterinario. Como consecuencia, puede ocasionar un aumento en la carga de trabajo del equipo y una mayor exposición a radiaciones ionizantes por parte del operador y público.

En el presente estudio se valora la relación entre el rendimiento de los equipos veterinarios analizados y los niveles de radiación registrados en la posición del veterinario. Se consideran los delantales plomados de que se dispone los centros y su espesor, y se analiza el coeficiente de atenuación de los mismos relacionándolo con las tasas de dosis medidas en la posición del veterinario.

Con la carga máxima de trabajo, se lleva a cabo un cálculo teórico del blindaje de la barrera primaria, a 1 m de distancia del foco, con el fin de no superar los límites anuales de dosis para el público.

A la vista de los resultados obtenidos de la tasa de dosis en la posición del veterinario tras delantal, se desprende que difícilmente se superarán los límites de dosis para el trabajador expuesto, a pesar del aumento de la carga de trabajo que pueda comportar la migración hacia un sistema digital. No obstante es recomendable llevar a cabo una correcta aplicación de los criterios de optimización.

ABSTRACT

Nowadays, there is a trend towards the use of digital radiography in the veterinary field. As a consequence, there could be a workload increase in the X-ray system and a higher exposure for veterinarians and members of the public. In this study we analyze the influence of the X-ray machine output with the radiation levels at the veterinarian position.

We have considered the lead's apron that each veterinarian center has and we have related its attenuation coefficient with the dose exposure at the veterinarian position.

With the maximum workload, we have made a theoretical assessment for the primary barrier at 1 m of the X-ray focus.

Despite there is a workload increase due to the digital technologies, the studied results show that it is very unlikely to be in excess of annual dose limit for the exposed workers.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha apreciado un aumento considerable del uso de sistemas digitales de imagen en instalaciones de radiodiagnóstico en el ámbito sanitario. Si se traslada este hecho al ámbito veterinario, podría comportar un aumento en la carga de trabajo del equipo por su funcionalidad y una mayor dosis al operador y al posible público. En base a este posible aumento en la carga de trabajo, se analiza en el presente estudio la dosis recibida debido a radiaciones ionizantes en este sector, tanto por el personal que opera con el equipo como por el público.

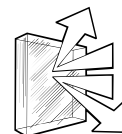
En el transcurso del 2008, Acpro, S.L., realizó los controles de calidad y niveles de radiación a 67 equipos de rayos X veterinarios ubicados en Cataluña. También se valoró el estado del sistema de imagen asociado a dichos equipos. Los controles efectuados se basaron en lo establecido en el

Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico (PECCR) [1].

A partir de los datos obtenidos en el control anual se ha llevado a cabo un estudio, cuya finalidad principal es la protección radiológica del operador y del público que pueda estar cerca del equipo en el momento de realizar exploraciones de rayos X. El análisis de los resultados se ha llevado a cabo teniendo en cuenta los diferentes factores que influyen en el diseño de la sala de radiodiagnóstico, las protecciones de las que dispone el centro y los resultados de los controles de calidad de cada uno de los centros.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha efectuado el control de los niveles de radiación en los emplazamientos de la instalación más significativos desde el punto de vista de la radioprotección. Las características



más habituales para realizar dichos disparos han sido a una tensión de 80 kV, una carga de 40 mAs (100 mA y 400 ms aprox.), colimando a un tamaño de campo de 24x30 cm² y una distancia tubo-mesa de 1 m aproximadamente (prácticamente fija en todos los equipos). También se ha verificado la radiación de fuga del equipo de rayos X efectuando disparos con los colimadores totalmente cerrados o cerrados al máximo en caso de no poder cerrarlos totalmente, y midiendo la tasa de dosis a una distancia de 1 m del tubo de rayos X en las tres direcciones principales (perpendicular, izquierda y derecha).

Se ha simulado el centro dispersor que constituye el animal mediante un maniquí de agua de 15 cm. de espesor y un volumen de 5 l.

Todas las tasas de dosis equivalentes se han medido con una cámara de ionización de la firma Rotem, modelo *Ram Ion Digilog*. Dicha cámara presenta, para fotones, una respuesta muy plana en energía ($\pm 20\%$ de 20 keV a 1.3 MeV). Por tratarse de disparos de corta duración, la tasa leída en el equipo ha sido corregida por un factor que tiene presente el tiempo de respuesta del detector. Dicho factor es de 2.4 para 400 ms en el rango de valores medidos de 1 $\mu\text{Sv/h}$ – 2 mSv/h (0.1 mR/h – 250 mR/h) y 3.6 para el rango de valores entre 2 mSv/h – 435 mSv/h (0.25 R/h – 50 R/h).

El control de calidad del equipo de rayos X se ha efectuado mediante técnicas no invasivas utilizando un equipo de la firma Unfors, modelo *Xi R/F& Mammo* que permite medir tensiones (kV), tiempo (ms), dosis (mGy) y tasa de dosis (mGy/s), así como la CHR (capa hemirreductora) del equipo de rayos X.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 67 equipos veterinarios que se consideran en el presente estudio, un 56% es de la marca A, un 19% de la marca B, un 10 % de la marca C y el 15% restante de otras marcas diversas.

En referencia al control de calidad de los equipos, si nos centramos en su rendimiento, el 40% se encuentra dentro de la tolerancia establecida (de modo orientativo 30–65 $\mu\text{Gy/mAs}$)[1] a 1 m del foco y operando con una tensión de 80 kV (Figura 1).

Se ha relacionado el rendimiento de los 67 equipos veterinarios con la tasa de dosis medida en la posición del veterinario sin delantal, tal y como se muestra en la Figura 2.

Si se analizan las líneas de tendencia del gráfico se aprecia una ligera relación entre los niveles de radiación más elevados medidos en la posición del veterinario y los rendimientos más altos registrados (Coef. Correl = 0.41).

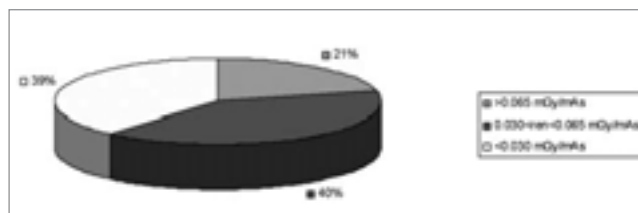


Figura 1: Distribución del rendimiento de los 67 equipos veterinarios considerados.

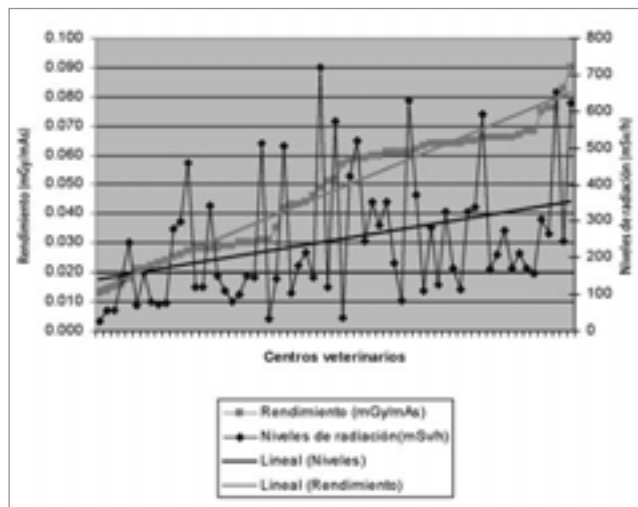


Figura 2: Relación entre el rendimiento y los niveles de radiación en la posición del veterinario.

En 11 de los 67 centros (16% de los equipos) se ha medido una radiación de fuga, a 1 m de la carcasa del tubo, superior a 1 mSv/h, que es del orden de la tolerancia establecida en el PECCR [1],[2] y nunca superior a 2 mSv/h. Las fugas de los tubos de rayos X es un factor importante a tener en cuenta ya que el veterinario casi siempre está dentro de la sala de radiodiagnóstico, a una distancia de 1 m o inferior de la coraza del tubo.

De los centros considerados en este estudio en base a los datos registrados en el 2008, únicamente el 1% utilizan sistema digital de imagen (Figura 3). La migración hacia la utilización de sistema de imagen digital en este sector no es tan apreciable como en el ámbito sanitario. A finales del 2010, un 16% (10 centros del total considerados) utilizaban sistema de imagen digital, mientras que el resto de centros continuaban utilizando sistema de imagen analógico (un 34% utilizaban reveladora de cuarto oscuro y el 50% revelado manual).

Desde el punto de vista de la protección operacional, un 52% de las salas de rayos X analizadas en el presente estudio tienen alguna o todas las paredes plomadas y solo el 19% tienen toda la sala plomada.

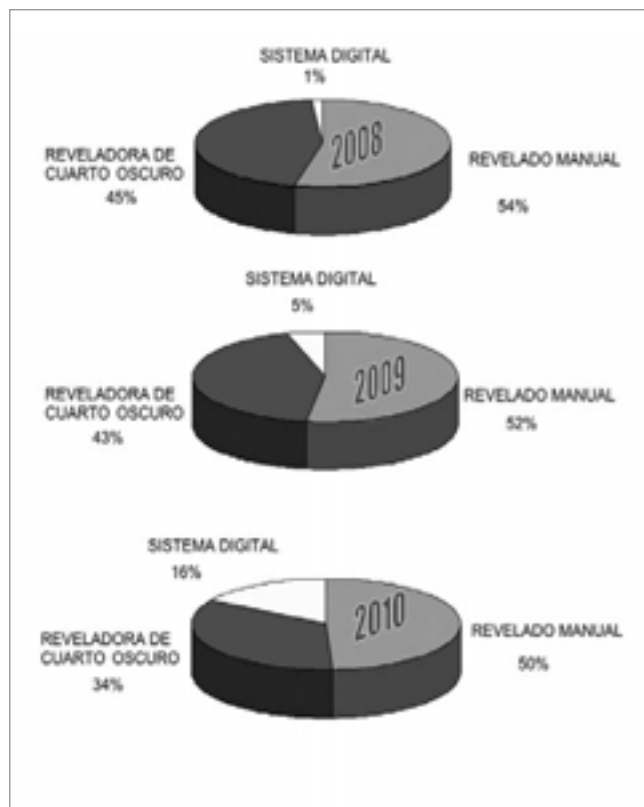


Figura 3: Sistema de imagen asociado a los centros veterinarios en los años 2008, 2009 y 2010.

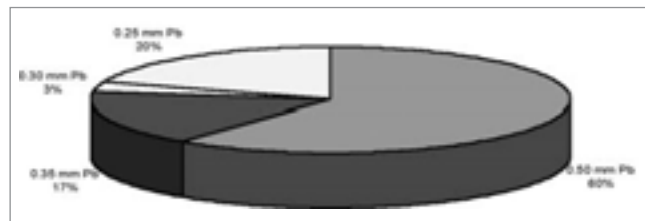


Figura 4: Espesores de Pb equivalente de los delantales plomados encontrados en los 67 centros.

En base a estos datos, se ha realizado un cálculo teórico del blindaje de la sala [4], con criterios conservadores, en función de los valores de niveles de radiación registrados en la posición del veterinario. Se considera para este cálculo que el factor de ocupación de la sala colindante a la sala ocupada por el equipo de rayos X es total, el límite semanal es el considerado para el público (0.02 mSv/semana), una carga de trabajo de 30 mA·min/semana (en concordancia con la máxima carga de trabajo de todos los centros considerados), una tensión de 80 kV (tensión a la que se llevaron a cabo las medidas de los niveles de radiación y que suele ser superior a la habitual de trabajo), un rendimiento de 5.0

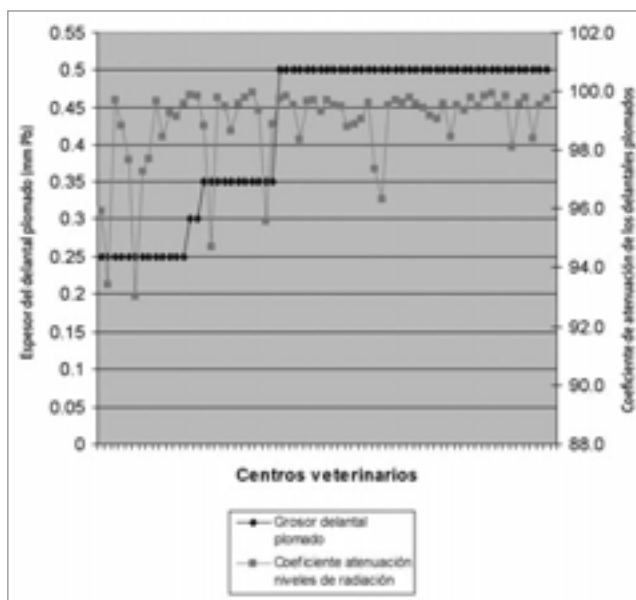


Figura 5: Coeficientes de atenuación en relación con el espesor de los delantales plomados para los 67 centros.

mSv·m²/mA·min, teniendo en cuenta una filtración del equipo de 3 mm de Al, y una distancia foco-barrera de 1 m. Con todas estas consideraciones aplicables a todos los centros analizados, el blindaje de plomo necesario, con el fin de no superar el límite anual de dosis para el público, ha resultado de 1.5 mm de Pb aproximadamente como barrera primaria.

Todos los centros veterinarios disponen de algún delantal plomado y un 60% de ellos dispone de un delantal con 0.5 mm de Pb de espesor equivalente. El resto de centros, tienen delantales con espesores por debajo de este valor (17% con 0.35 mm Pb, 3% con 0.30 mm Pb y un 20% con 0.25 mm Pb). En cualquier caso se trata de un espesor equivalente suficiente para la práctica veterinaria (≥ 0.25 mm Pb), en condiciones óptimas de protección radiológica [5] (ver Figura 4).

Se han relacionado los coeficientes de atenuación de los delantales plomados de diferentes espesores frente a la radiación dispersa en base a los valores de niveles de radiación medidos en la posición del veterinario con y sin delantal (coeficiente de atenuación = niveles de radiación en la posición del veterinario / grosor del delantal plomado) (Figura 5).

Se aprecia que para los delantales de espesor 0.5 mm Pb, los coeficientes de atenuación para los diferentes centros considerados, mantienen un valor más próximo a 100 con poca dispersión, mientras que, para delantales con un espesor inferior, el valor disminuye y la dispersión aumenta.

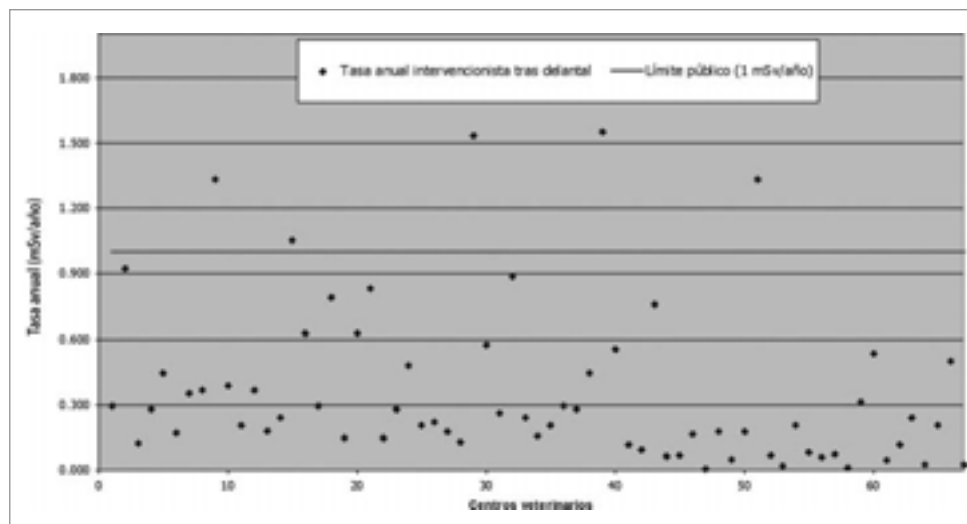
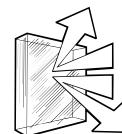


Figura 6: Tasa anual de todos los centros veterinarios en la posición del veterinario tras el delantal plomado propio de cada centro.

Únicamente en un 7.5% de los centros analizados, la dosis acumulada anual en la posición del veterinario tras el delantal plomado propio de cada centro, considerando la carga de trabajo máxima registrada para estos centros (22.2 mA.min/semana), comporta valores superiores a 1 mSv/año (que se correspondería con el límite para los miembros del público). El valor máximo obtenido es de 1.6 mSv/año y en ningún caso se supera el límite para los trabajadores expuestos (20 mSv/año, para una práctica profesional continuada)[3] (ver Figura 6).

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados de este trabajo, es importante llevar a cabo un buen mantenimiento del equipo de rayos X veterinario sobre todo en lo que hace referencia al rendimiento del equipo y a las fugas del tubo de rayos X, con el fin de minimizar en lo posible los niveles de radiación en la posición del veterinario. También se recomienda revisar las técnicas radiográficas utilizadas, minimizando en lo posible las características de disparo, combinándolo con una calidad de imagen adecuada a la práctica veterinaria.

La tendencia hacia el sistema de imagen digital en el sector veterinario de momento no es tan apreciable como en el ámbito sanitario, básicamente por la carga de trabajo que actualmente tienen los centros veterinarios en referencia a la práctica radiodiagnóstica y por el coste económico. El cambio a un sistema digital de imagen normalmente comporta un aumento en la carga de trabajo del equipo y se debería llevar un control detallado de

la tasa de dosis anual en la posición del veterinario con el fin de controlar su posible impacto.

Los coeficientes de atenuación calculados en función de los niveles de radiación medidos en la posición del veterinario con y sin delantal plomado son mayores para delantales de 0.5 mm de Pb. Se recomienda, por tanto, que para la práctica veterinaria se disponga de delantales de este espesor.

Teniendo en cuenta los datos recogidos en los centros que ocupan el presente estudio,

un blindaje de 1.5 mm de Pb para una barrera primaria posicionada a 1 m del equipo bastaría para no sobrepasar el límite de tasa de dosis anual del público (1 mSv/año)[3].

La carga de trabajo para los centros que se recogen en el presente estudio es muy baja. No obstante, es necesario tener presente una buena práctica radiodiagnóstica desde el punto de vista de la protección radiológica para minimizar aún más, si cabe, esta tasa de dosis.

El margen para no superar el límite de dosis (20 mSv/año)[3] operando con el equipo en la posición del veterinario tras delantal plomado, es muy amplio para los centros que se consideran en el presente estudio, por lo que los posibles aumentos de carga de trabajo que pueda comportar una migración hacia un sistema digital, no es previsible que pueda comportar una superación de dicho límite.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico (Aspectos técnicos). Revisión 1 (2002).
- [2] Guidance notes for the protection of persons against ionising radiations arising from veterinary use (1988).
- [3] Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (B.O.E. de 26 de julio de 2001).
- [4] Guía de Seguridad nº 5.11. Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de las instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico (Octubre 1990).
- [5] Real Decreto 1085/2009, por el que se aprueba el Reglamento sobre la instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico (B.O.E. de 18 de julio de 2009).

Incertidumbres en las evaluaciones dosimétricas de la gestión de NORM en repositorios de residuos convencionales

Juan Carlos Mora y Beatriz Robles

Unidad de Protección Radiológica para el Público y el Medio Ambiente (PRPYMA). CIEMAT

RESUMEN

Los Materiales Radiactivos de Origen Natural (también conocidos como NORM, por su acrónimo en inglés) se generan en grandes cantidades en varias industrias o actividades laborales, por ello llamadas industrias NORM. Hasta hoy la gestión de estos residuos se ha llevado a cabo, en la mayoría de los países, considerándolos residuos industriales no radiactivos, con consideraciones muy diversas en cuanto a su contenido radiactivo. Debido a que la concentración de otros tóxicos puede ser elevada, estos residuos podrían tratarse bien como residuos no peligrosos o bien como residuos peligrosos. La legislación española vigente obliga a acondicionar estos materiales para aislar los elementos tóxicos del medioambiente durante periodos de tiempo dilatados, incluyendo las condiciones que asegurarán dicho aislamiento, y recoge también consideraciones respecto a su contenido radiactivo, de forma que la vía de gestión garantice la debida protección radiológica a las personas y al medioambiente.

La Directiva Europea 96/29 (Las Normas Básicas de Seguridad europeas), obligó a considerar las implicaciones radiológicas sobre las industrias NORM y sus materiales residuales. Una opción que podría plantearse para gestionar los residuos cuyo contenido radiactivo superara los niveles de exención/desclasificación incondicionales establecidos, sería su almacenamiento en los ya citados vertederos de residuos industriales, siempre que se garantizara el cumplimiento de los correspondientes criterios radiológicos establecidos por las Autoridades.

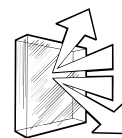
Este trabajo analiza las implicaciones radiológicas que podría tener una posible gestión convencional de dichos residuos NORM. Para los cálculos se partió de concentraciones ligeramente superiores a los niveles de exención/desclasificación (en concreto se han considerado concentraciones de actividad de entre 1 y 50 Bq.g⁻¹). Si bien las evaluaciones de dosis genéricas resultantes suelen realizarse teniendo en cuenta hipótesis conservadoras, en este estudio se han discutido las incertidumbres que deberían considerarse, incluyendo las posibles variaciones debidas a factores climáticos y otros parámetros utilizados en los modelos de evaluación.

ABSTRACT

Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) are generated in huge quantities in several industries – NORM industries – and their management has been formerly carried out in most countries under considerations of industrial non radioactive wastes, with varying considerations on their radioactive content. As the concentration of non radioactive toxics in several of those materials is relatively high, they were treated as toxic materials. This implies that the materials must be previously conditioned using conventional methods and that the waste disposal itself must be prepared to isolate the toxics from the environment for long periods of time. Spanish regulation for these conventional toxic waste disposals include conditions that assure adequate isolation, also including considerations on their radioactive content in such a way that their management way guarantee radiological protection on the people and the environment.

After the 96/29 European Directive (the European BSS), radiological implications on NORM industries and their residual materials must be considered. One option that can be considered for the disposal of NORM with activity concentrations above the established unconditional clearance level is the use of the same industrial waste disposals, if guarantees for corresponding radiological criteria are accomplished, according to Authorities establishment.

This work analyses the radiological implications of the management of NORM under the considerations applicable for their management as 'conventional' waste, emphasising in activity concentrations slightly over unconditional clearance levels – specifically from 1 Bq.g⁻¹ up to 50 Bq.g⁻¹. Resulting generic dose assessments are usually carried out under highly conservative hypothesis. This study discusses uncertainties that should be considered to include possible variations due to climate factors or other parameters used in the assessment models.



INTRODUCCIÓN

En cualquier proceso industrial se producen materiales residuales que no tienen ningún uso final, dependiendo sus posibilidades de gestión de su naturaleza y cantidad. Mientras que los productos líquidos o gaseosos se filtran hasta un nivel aceptable y el resultante se diluye en un cuerpo acuático o en la atmósfera, en el caso de los materiales sólidos, incluidos los filtros utilizados en el tratamiento de los materiales líquidos y gaseosos, existe un número limitado de opciones para su gestión. En primer lugar debe llevarse a cabo una caracterización adecuada de sus características físico-químicas que, hasta el presente, no incluía la correspondiente caracterización radiológica. Una vez caracterizados, si los niveles tóxicos lo permiten, debe considerarse de forma prioritaria su reciclado y reutilización. En este sentido, la legislación española (RD 952/1997) [1] señala que debe buscarse la minimización de las cantidades residuales mediante su reciclado y concentración siempre que sea posible y de forma previa a su almacenamiento en vertederos controlados.

Una vez minimizadas las cantidades, debe realizarse una caracterización físico-química adicional considerando los tóxicos orgánicos y los inorgánicos. En España hay definidas tres categorías de residuos: residuos inertes, residuos no peligrosos y residuos peligrosos. Los residuos inertes son aquellos generados a partir de materiales de construcción, principalmente de demolición; las otras dos categorías corresponden a los residuos generados en actividades industriales y se gestionan en función del contenido de los elementos tóxicos que contienen. Obviamente los requisitos para las barreras de ingeniería implementadas en cada tipo de vertedero son más estrictos en función de la toxicidad de los residuos y de su potencial para afectar a las personas y al medioambiente, asegurando de este modo su aislamiento tanto en el corto como en el largo plazo.

Hasta hoy, los residuos NORM se han venido gestionando en España (y en la mayoría de países) como residuos convencionales, sin considerar por tanto la radiactividad como uno de los parámetros con los que elegir el modo más adecuado. Sin embargo, en la publicación del Real Decreto 1439/2010 [2] se establecieron las bases para el control de los residuos NORM teniendo en cuenta su contenido radiactivo. Además la Instrucción de Seguridad IS-33 de 2012 del CSN [3], detalla las actividades laborales en las que pueden generarse materiales NORM y los métodos para su control.

Parece lógico plantear que se utilice una aproximación gradual para la gestión de residuos NORM al igual que la que se utiliza con los residuos convencionales. De este modo, tras la caracterización de los materiales no reciclados o

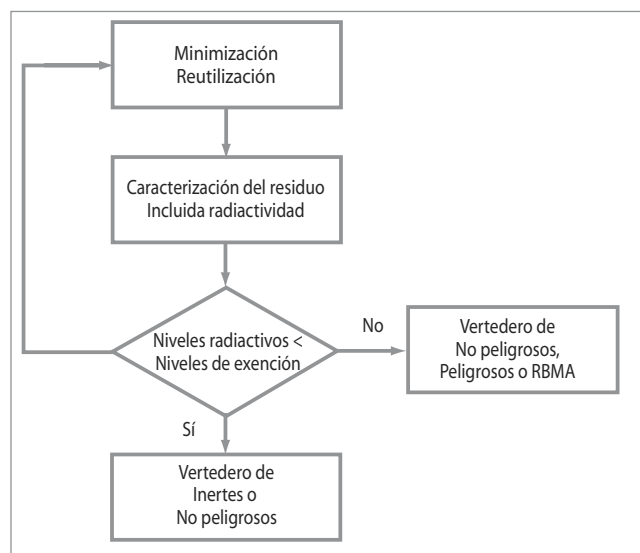


Figura 1. Posibles pasos a seguir en la gestión de residuos sólidos generados en las actividades laborales NORM. En el diagrama no se han considerado otros elementos tóxicos.

reutilizados, que incluyera las concentraciones de radiactividad, los pasos a seguir podrían ser los mismos utilizados en la gestión de residuos convencionales (Figura 1).

Parece razonable tratar de un modo similar a los elementos radiactivos que a otros tóxicos. Cuando cualquier elemento tóxico de los considerados supera los niveles permitidos en la legislación, esos materiales deben tratarse como residuos peligrosos. Cuando ningún nivel supera dichos niveles tóxicos establecidos se debe plantear su potencial reciclado o reutilización. Si se incluye la componente radiológica esos niveles podrían ser los de exención/desclasificación. El siguiente paso para la gestión de los residuos NORM (en el caso de que superen dichos niveles prefijados o no exista forma de reciclado) podría ser su almacenamiento en vertederos de residuos inertes, no peligrosos, o peligrosos teniendo en cuenta su procedencia y su concentración de actividad. Hasta el momento, no se han establecido en España unas bases técnicas que fijen la forma de proceder en el caso de contemplarse este tipo de vertederos en la gestión de estos residuos NORM.

Por tal motivo, en este trabajo se presentan las bases que podrían servir para la justificación técnica y radiológica de esta posible alternativa planteando su gestión en vertederos de residuos industriales. Una vez discutidas estas bases se calculan cuáles serían las cantidades de estos materiales que podrían gestionarse en este tipo de vertederos en función de su concentración de actividad sin riesgo para las personas. Por supuesto, en el estudio solo se ha considerado el contenido radiactivo, incluyendo además las incertidumbres de los cálculos.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el análisis se definieron varios parámetros, siendo las más importantes la concentración de actividad en los residuos que podrían gestionarse en estos vertederos y las que están relacionadas con las condiciones del entorno en que se podrían encontrar.

Todos los análisis se han basado en la evaluación de la dosis efectiva sobre los grupos de personas más expuestos, tanto miembros del público como trabajadores. Antes de llevar a cabo esta evaluación, se definieron las restricciones de dosis a utilizar para cada grupo. Una vez definidas se determinaron los escenarios de exposición más restrictivos para la evaluación y un código informático con el que realizar los cálculos, que incluyera los escenarios de exposición escogidos y que hubiera sido validado.

Para el cálculo de las incertidumbres asociadas a los resultados se utilizó el método de Montecarlo, para lo cual se consideraron casi todos los parámetros utilizados en los modelos en forma de distribuciones y no como valores medios, de manera que se reflejaran las variabilidades de las posibles condiciones en España y, de este modo, asegurar la validez de los resultados para cualquier circunstancia que pudiera encontrarse en nuestro país.

Límites de concentración de actividad

Para definir los niveles de concentración de actividad de los residuos NORM que se podrían almacenar en los vertederos de residuos convencionales, se comenzó definiendo las cotas inferiores y superiores. Al tratarse este estudio de un análisis genérico, se asumieron como niveles inferiores los valores de exención/desclasificación para los materiales a granel tal y como los definió el OIEA en su publicación RS-G-1.7 [4], que han sido incluidos en los últimos borradores de las Normas Básicas de Seguridad tanto del Organismo Internacional de Energía Atómica [5], como Europeas [6] (Tabla I). Aunque no se han definido límites superiores para las concentraciones de actividad que pueden almacenarse en estos vertederos de residuos industriales, ya se han utilizado en otros países límites de 10 y 50 veces sobre los niveles de exención/desclasifica-

Radionucleido	Concentraciones de actividad (Bq g ⁻¹)
⁴⁰ K	10
Todos los demás radionucleidos de origen natural	1

Tabla I. Niveles de exención/desclasificación definidos en la guía RS-G-1.7 [4] e incluidos en las NBS del OIEA y Europeas [5, 6]. En este estudio se han utilizado dichos valores como cota inferior.

ción con los mismos propósitos [7, 8]. Por ese motivo se ha planteado el uso de estos niveles en los cálculos.

Contenido en radiactividad

Dentro de los procesos que se llevan a cabo en las industrias NORM, se engloban una gran cantidad de procesos químicos y físicos. Por ese motivo las relaciones (ratios) entre los distintos radioisótopos de las cadenas de desintegración natural (o más estrictamente entre los distintos elementos químicos) se alteran con respecto a los valores originales en las materias primas, dependiendo de cuál sea el proceso industrial. Por este motivo, los radioelementos pueden presentar relaciones muy distintas en los residuos NORM con respecto a las que se encuentran en las materias primas naturales y no pueden fijarse *a priori* y de forma genérica relaciones en las cadenas radiactivas que sirvan para los residuos procedentes de todas las industrias NORM, ya que incluso para un mismo tipo de industria existen diferencias en las propias materias primas y en el proceso (por ejemplo, en el proceso de la roca fosfática).

Por este motivo, al pretender este estudio dar valores válidos de forma genérica, se asumió que, aunque el proceso industrial pudiera incrementar la concentración de uno o de varios de los radionucleidos naturales, se podía establecer un límite conservador al asumir que todos los radionucleidos de una misma cadena natural poseen la misma concentración de actividad que aquel radionucleido que presente un mayor incremento. Esta hipótesis implica que las evaluaciones de la dosis efectiva cubrirán cualquier otra situación en la que la concentración de cualquier radioisótopo se encuentre por debajo de este nivel, por lo que se agrega un cierto nivel de seguridad en los cálculos.

Debe hacerse notar que, por tanto, si se realizaran evaluaciones específicas para los residuos producidos en un proceso industrial determinado, los resultados darían lugar a cantidades superiores de residuos NORM que podrían ser gestionadas en vertederos de residuos convencionales a las obtenidas en este estudio. Sin embargo, al utilizar tales cálculos, el uso de esos vertederos debería restringirse al almacenamiento de los residuos NORM analizados en la evaluación específica, al no poder asegurar de otro modo la protección de las personas.

La evaluación, además, debe considerar las relaciones entre las distintas cadenas de desintegración naturales. Se puede considerar como aceptable el uso de las relaciones mundiales en promedio [9]. Esta hipótesis considera que las materias primas utilizadas en las industrias NORM pueden proceder de cualquier lugar de la corteza terrestre. En concreto, esos valores son [⁴⁰K] = 400 Bq·kg⁻¹; [²³⁸U] = 35 Bq·kg⁻¹; [²²⁶Ra] = 35 Bq·kg⁻¹; [²³²Th] = 30 Bq·kg⁻¹. En el caso del ²³⁵U se asumió una relación de concentración de actividad de ²³⁵U/²³⁸U de un 4.6%. Por tanto, en el estudio se asumió una relación

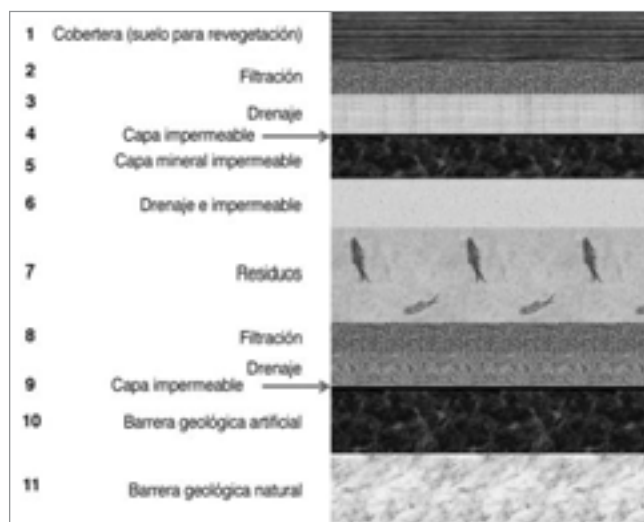
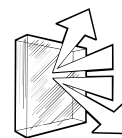


Figura 2. Barreras de ingeniería incluidas en los vertederos de residuos peligrosos para evitar su posible impacto al medioambiente.

simplificada $^{238}\text{U}:$ $^{232}\text{Th}:$ $^{235}\text{U}:$ ^{40}K de 1:1:0.05:10. Esta hipótesis permite asumir la validez de los resultados obtenidos para cualquier procedencia de las materias primas.

Condiciones locales

Las evaluaciones realizadas tuvieron en cuenta tanto las características técnicas de los vertederos de residuos convencionales así como el rango de los distintos parámetros usados en el modelo empleado.

Las características de los vertederos de residuos peligrosos y no peligrosos, son distintas en función de las diferentes barreras de ingeniería utilizadas para aislarlos del medioambiente. En la Figura 2 se muestran, a modo de ejemplo, las distintas barreras que presenta un vertedero de residuos peligrosos. Un vertedero de residuos no peligrosos presenta aproximadamente las mismas capas de protección pero los espesores mínimos (w) y las conductividades hidráulicas máximas que pueden emplearse (k) son distintos. En la Tabla II se han recogido los valores de w y k que se usan para ambos tipos de vertederos.

Los residuos se gestionan en capas de 2.5 m de espesor, utilizando entre cada una de ellas una cobertura de 0.3 m de suelo. Sin embargo, el espesor total de los residuos gestionados no está limitado más que por las características intrínsecas del vertedero seleccionado. Es por ello que se consideraron dos alternativas: 20 m y 55 m. El último espesor se calculó teniendo en cuenta la cantidad máxima de residuos gestionados en los vertederos españoles en la actualidad.

Ya que el estudio pretende que las evaluaciones sean genéricas, y así puedan ser usadas en cualquiera de las condiciones que se dan en España, se establecieron los valores en función

Nº capa	Residuos No Peligrosos		Residuos Peligrosos	
	w (m)	k (m s^{-1})	w (m)	k (m s^{-1})
1	> 1	-	> 1	-
2	-	-	-	-
3	> 0.3	-	> 0.3	-
4	Polietileno de alta densidad (HDPE) o polipropileno (PP)			
5	No usada		> 1	< 10^{-9}
6	> 0.5	-	> 1	-
7	RESIDUOS (espesor fijo en el estudio)			
8	> 0.5	-	> 0.5	-
9	Polietileno de alta densidad (HDPE) o polipropileno (PP)			
10	> 0.5	< 10^{-9}	> 0.5	< 10^{-9}
11	> 1	< 10^{-9}	> 5	< 10^{-9}

Tabla II. Espesor y conductividad hidráulica de las distintas capas usadas en los vertederos de residuos peligrosos y no peligrosos.

de las condiciones más extremas. Los extremos climáticos que aparecen en España abarcan desde húmedo (Cfb, en el sistema Köppen) a árido (Bsh, en el sistema Köppen). Estos extremos afectan, entre otros parámetros, a la tasa de precipitación y a la tasa de riego consideradas en el modelo.

Otros parámetros tales como la tasa de ingestión de suelo, la carga de polvo en aire, la tasa de evapotranspiración, la tasa de riego, la densidad de cada capa, el coeficiente de escorrentía, la porosidad, la conductividad hidráulica o los tiempos de ocupación, entre otros, se eligieron de tal modo que cubrieran todas las posibilidades que pudieran encontrarse en España, a partir de información local, si esta se encontraba disponible, o bien de la bibliografía [10] en caso contrario.

Evaluación de dosis

Así, a partir de las evaluaciones de dosis efectivas en varios escenarios de exposición, se derivaron las cantidades de residuos NORM que pudieran almacenarse en vertederos de residuos convencionales. Una hipótesis maximizadora que se utilizó en las evaluaciones fue considerar una concentración de actividad homogénea de los residuos. Esto introduce un grado de conservadurismo adicional ya que, por regla general, los vertederos no se destinan en exclusiva a un solo tipo de residuos, ni tampoco todos los residuos NORM almacenados poseerán las máximas concentraciones que se han considerado en este estudio.

Los escenarios de exposición elegidos fueron los mismos que los que se utilizaron en otros estudios [7], de forma que contemplaran a los individuos más expuestos, tanto en el corto como en el largo plazo. Esos escenarios fueron:

Parámetro	Determinista	Mínimo	Máximo	Distribución
Ingestión de suelo (trab) g.a ⁻¹	73	-	-	-
Ingestión de suelo (pub) g.a ⁻¹	3.65	0.37	110	Lognorm
Carga polvo aire mg.m ⁻³	0.1	0.001	12	Lognorm
Precipitación m.a ⁻¹	0.222	0.222	2.86	Unif
Veloc. del viento m.s ⁻¹	1	1	2	Lognorm
Evapotranspiración m.a ⁻¹	1.16	0.5	1	Unif
Riego m.a ⁻¹	1	0	1	Unif
Densidad suelo g.cm ⁻³	1.62	1.1	1.6	Normal
Dens. residuo g.cm ⁻³	3.3	1.1	3.3	Normal
Tasa de erosión (pub) m.a ⁻¹	0.00031	-	-	-
Tasa de erosión (trab) m.a ⁻¹	0	-	-	-
Coef. escorrentía	0.2	0.2	0.4	Unif
Conduct. Hidraul. Residuo m.a ⁻¹	1000	10	1000	Lognorm
Tiempo Ocupación (trab)	0.05	-	-	-
Tiempo Ocupación (pub) exteriores	0.2	0.2	0.7	Unif
Blindaje (trab) mm	2	0	5	Unif
Espesor residuos m	2.5	0	2.5	Normal

Tabla III.- Principales parámetros utilizados en los cálculos.

1. Escenario residencial, en el que los miembros del público viven sobre el vertedero clausurado y producen parte de sus alimentos en el emplazamiento.
2. Trabajadores del vertedero, que trabajan a lo largo de toda su vida y a tiempo total en vertederos que acondicionan residuos NORM.

Las vías de exposición consideradas para el primer escenario de exposición fueron: exposición externa desde los propios residuos y por la inmersión en el material resuspendido, inhalación del material resuspendido e ingestión de suelos y de los vegetales producidos en el emplazamiento. El radón se excluyó de las evaluaciones. En el caso de los trabajadores, las vías de exposición fueron las mismas excepto la ingestión de vegetales.

Se consideró que los trabajadores utilizan *bulldozers* para los trabajos en los vertederos y, por ello, se usó su blindaje contra la exposición externa, pero no se consideró ningún otro tipo de protección personal tal como mascarillas u otros.

Se estableció un nivel inferior para la restricción de dosis de 1 mSv.a⁻¹ en ambos casos, al considerar que la gestión de estos residuos constituye una situación de exposición planificada para los trabajadores (que, en principio, no están clasificados como profesionalmente expuestos) y una situación de exposición existente para el caso de los miembros del público que, en un posible futuro en el que se pierde el control sobre el vertedero, establecen su residencia sobre él. Ese es el límite inferior, en ambas situaciones de exposición, para cualquier restricción de dosis que recomiendan la ICRP [11] o el OIEA [5]. Se consideró en los cálculos, de forma adicional, una restricción de dosis de 6 mSv.a⁻¹ para los trabajadores, de forma que se establecieran los niveles en los que debería reforzarse el control regulador.

Para todas las evaluaciones se utilizó Resrad (*onsite*) v 6.5 [10, 12].

Incertidumbres

Las distribuciones utilizadas en el cálculo de las incertidumbres se eligieron a partir de la bibliografía [13]. Tanto los valores característicos como los límites de cada distribución se escogieron a partir de información local, cuando esta se encontraba disponible, o de la bibliografía en caso contrario. En la Tabla III se muestran los parámetros principales y las distribuciones asociadas.

Para otros parámetros se usaron valores fijos. Por ejemplo, se utilizó un tiempo de 60 años para los cálculos a los trabajadores mientras que se estableció un periodo de 1000 años como el límite para el que se perdería el control sobre los vertederos, ya que se consideró que tras ese tiempo cualquier predicción será poco realista.

Cálculo de las masas

Una vez realizadas las evaluaciones de dosis se calcularon las masas que podrían gestionarse en cada tipo de vertedero a partir de la ecuación 1.

$$M_T = \frac{2.5 \cdot 10^4 \cdot n \cdot \rho}{E_T \cdot C_i} \quad (1)$$

Donde:

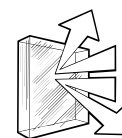
M_T = masa total gestionada en el vertedero (t).

n = número de capas de residuos para la altura total considerada.

ρ = densidad de los residuos (g.cm⁻³).

E_T = Dosis efectiva total para el escenario más restrictivo.

C_i = Concentración de actividad del radioisótopo limitante en la cadena de desintegración natural.



Resultados

Se realizaron las evaluaciones para concentraciones de actividad unitarias de los radionucleidos principales, obteniendo resultados para cada escenario y grupo de individuos. La Figura 3 muestra ejemplos de dichos resultados.

Los resultados, en toneladas de residuos NORM que podrían ser gestionados en cada tipo de vertedero, se presentan en las Tablas IV y V. En el caso de los trabajadores se indican, además, los resultados para las dos restricciones de dosis consideradas. Se presentan las dos posibles alternativas para la altura total del vertedero: 20 y 55 m, donde se contempla la experiencia operativa de los vertederos españoles.

Tal y como se explicó anteriormente estos resultados podrían considerarse una cota inferior de las cantidades de residuos NORM que podrían gestionarse en los vertederos para cualquier posible situación en España.

En el caso de los trabajadores (Figura 4 izquierda) el valor medio obtenido mediante el cálculo probabilista resultó un

factor 0.83 más bajo que el de la evaluación realizada de modo determinista. Sin embargo el valor máximo fue un 70% mayor (IC 95%).

Para los miembros del público, que resultó ser el escenario más restrictivo para el largo plazo en los vertederos de residuos no peligrosos, el valor medio de los cálculos probabilistas resultó ser un 3% superior que el obtenido de forma determinista mientras que el máximo fue un 18% superior (IC 95%).

En ambos casos, la consecuencia de tener en cuenta los cálculos probabilistas, sería una disminución en las cantidades que podrían ser gestionadas en este tipo de vertederos. En cualquier caso la diferencia fue siempre inferior a un orden de magnitud con respecto a los cálculos realizados de forma determinista (Tablas IV y V).

Un análisis de sensibilidad reveló que los parámetros que más afectan a los resultados son: la carga de polvo en aire y el espesor de la cobertera en el caso de los trabajadores, mientras que en el caso del público los factores predominantes son, la densidad de la cobertera y la de los residuos.

Si bien la tasa de erosión es el tercer valor que más influye en los resultados finales, en el caso de los miembros del público, debe contemplarse (Figura 4) que el efecto de una disminución de la tasa de erosión hasta un valor cercano a cero representaría un cambio drástico en los resultados a largo plazo, al evitar de este modo la desaparición de la cobertera.

CONCLUSIONES

En primer lugar se debe destacar que los resultados obtenidos en este estudio se encuentran en el mismo orden de magnitud que los calculados en otros estudios similares [4], incluso habiendo utilizado hipótesis de partida diferentes, modelos distintos e incluso características distintas de los vertederos.

En el caso de los vertederos de residuos peligrosos el escenario de exposición limitante fue el de los trabajadores mientras que en el de los vertederos de residuos no peligrosos el escenario residencial del público fue el que limitó las cantidades que pudieran gestionarse de este modo.

Se tuvieron en cuenta las incertidumbres de los resultados introduciendo distribuciones en varios de los parámetros incluidos en la modelización. De este modo se cubrieron

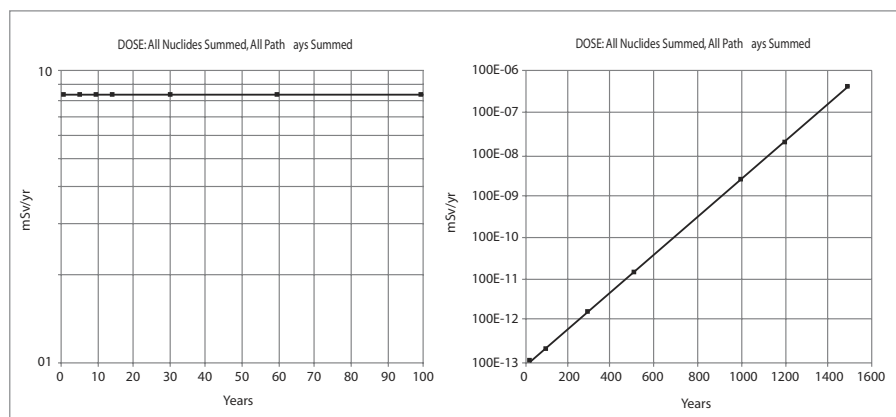


Figura 3. Dosis efectiva obtenida para los trabajadores (izquierda) y el público (derecha).

Vertedero de residuos peligrosos				
	(20 m)		(55 m)	
	1 mSv a ⁻¹	6 mSv a ⁻¹	1 mSv a ⁻¹	6 mSv a ⁻¹
10 Bq·g ⁻¹	7.2 · 10 ⁴	4.3 · 10 ⁵	2.0 · 10 ⁵	1.2 · 10 ⁶
50 Bq·g ⁻¹	1.5 · 10 ⁴	9.0 · 10 ⁴	4.0 · 10 ⁴	2.4 · 10 ⁵

Tabla IV. Masas de residuos NORM (toneladas) que podrían ser gestionadas en los vertederos de residuos peligrosos. Escenario limitante: exposición a los trabajadores.

Vertederos de residuos no peligrosos		
	(20 m)	(55 m)
10 Bq·g ⁻¹	1.4 · 10 ⁴	3.8 · 10 ⁴
50 Bq·g ⁻¹	2.7 · 10 ³	7.7 · 10 ³

Tabla V. Masas de residuos NORM (toneladas) que podrían gestionarse en vertederos de residuos no peligrosos. Escenario limitante: exposición al público, escenario residencial.

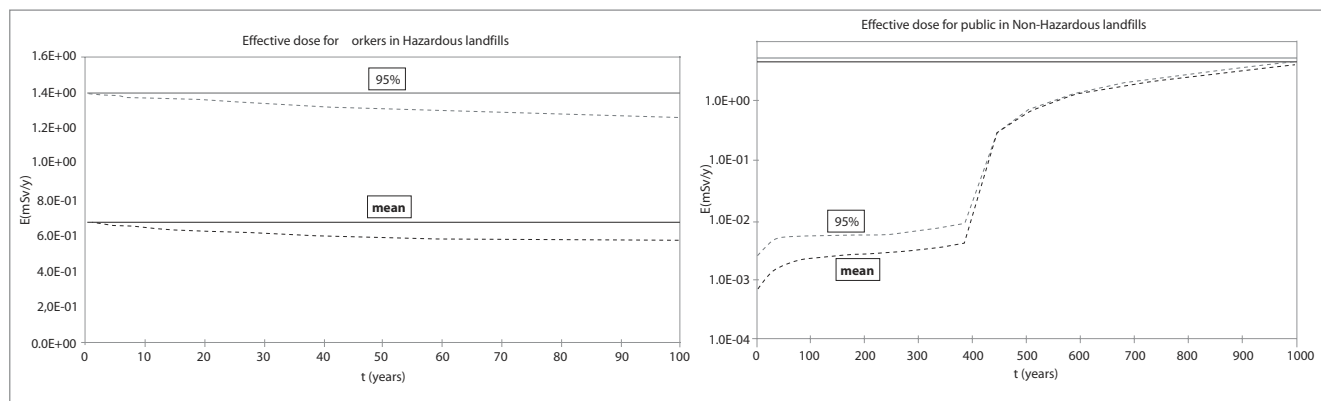


Figura 4. Dosis efectiva obtenida para los trabajadores (izquierda) y el público (derecha). Los valores en gris claro son los niveles para un nivel de confianza del 95% mientras que los que están en gris oscuro son promedios.

las variaciones climáticas existentes en España, teniendo en cuenta tasas de precipitación extremas tanto en climas húmedos como semiáridos. Sin embargo en todos los análisis la vía de exposición limitante fue la exposición externa, por lo que otros parámetros como las densidades de la cobertera o del residuo resultan ser más importantes en los resultados. Se consideró por ello que los resultados obtenidos tendrían validez en todas las posibles variaciones en España.

En estudios futuros podría llevarse a cabo un análisis más profundo de aquellos parámetros que resulten ser los más sensibles, tanto para casos concretos de residuos NORM, como para las condiciones específicas en las que se encuentre un vertedero determinado en el que se gestionen dichos residuos.

Este es el caso de la tasa de erosión, que necesita ser estudiado más detenidamente debido a que el modelo de erosión aplicado simula la eliminación de la cobertera de los vertederos. Este efecto hace que la vía de exposición más importante en el escenario residencial resulte ser a largo plazo la exposición externa. Por supuesto este problema puede asociarse al modelo en sí, pero el uso de valores más realistas de este parámetro producirán resultados más fiables. De hecho, el uso de vertederos en los que la tasa de erosión sea muy baja o incluso negativa daría lugar a un valor superior de la posible cantidad almacenable en dichos vertederos. Además debería tenerse en cuenta de una forma más detallada el efecto que la revegetación de la cobertera produciría en la tasa de erosión. Debe hacerse notar que, en análisis análogos a este, se supuso que una alteración importante de la cobertera provocaría que las capas de residuos aparecieran al descubierto, por lo que los habitantes futuros que se establecieran sobre el vertedero localizarían el posible riesgo y por lo tanto tomarían las acciones necesarias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por Enresa en el marco del proyecto "Protección Radiológica del Público y del Medio Ambiente en la Gestión de los Residuos Radiactivos".

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Real Decreto 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio.
- [2] Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio..
- [3] Instrucción IS-33, de 21 de diciembre de 2011, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural. CSN. Jueves 26 de enero de 2012.
- [4] International Atomic Energy Agency. IAEA Safety Standards Series. Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance. IAEA 2004.
- [5] International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3. INTERIM EDITION. 2012.
- [6] European Commission. Proposal for a COUNCIL DIRECTIVE laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. Brussels, 30.5.2012.
- [7] T. Anderson and S. Mobbs. Conditional exemption Limits for NORM wastes. HPA-CRCE-001. 2010.
- [8] S. Pepin, B. Dehandschutter, A. Poffijn, M. Sonck. Belgian acceptance criteria for NORM residues: theory and practice. 4th EAN-NORM Workshop. Nov 2011.
- [9] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations, New York. 2000.
- [10] C. Yu, C. Loureiro*, J.-J. Cheng, L.G. Jones, Y.Y. Wang, Y.P. Chia, * and E. Faillace. Data Collection Handbook to Support Modeling Impacts of Radioactive Material in Soil. 1993.
- [11] Sociedad Española de Protección Radiológica y Asociación de Profesionales de la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Actividad Nuclear. ICRP 103. Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. ISBN: 978-84-691-5410-G. 2008.
- [12] Yu, C.; Zielen, A.J.; Cheng, J.-J.; LePoire, D.J.; Gnanapragasam, E.; Kamboj, S.; Arnish, J.; Wallo, A., III.; Williams, W.A.; and Peterson, H. User's Manual for RESRAD Version 6. ANL/EAD-4. Argonne, Illinois: Argonne National Laboratory. 2001.
- [13] D. Le Poire, J. Arnish, E. Gnanapragasam, S. Kamboj, B.M. Biwer, JJ Cheng, C. Yu, S.Y. Chen. Probabilistic Modules for the RESRAD and RESRAD-BUILD Computer Codes. User Guide. NUREG/CR-6692, ANL/EAD/TM-91. USNRC. 2000.

El Proyecto de Foro de la Industria Nuclear Española para elaborar un material didáctico interactivo sobre Protección Radiológica

Almudena Real¹, Tamara de la Cruz², Luisa Girona³, Laureano Montesinos³ y Pilar Sánchez²

¹Ciemat. Unidad de Protección Radiológica del Público y del Medio Ambiente. Departamento de Medio Ambiente.

²Foro de la Industria Nuclear Español. Departamento de Formación.

³Colegio Público Albait. Miembros del Comité de Formación en Energía y Educación del Foro Nuclear

RESUMEN

El Departamento de Formación de Foro de la Industria Nuclear Española, ha llevado a cabo este nuevo proyecto, cuyo objetivo ha sido desarrollar un material didáctico atractivo, comprensible e interactivo, que facilite al alumnado y profesorado de primaria, secundaria y bachillerato, familiarizarse con las radiaciones ionizantes y la protección radiológica.

La novedad del proyecto es que está basado en el Marco Europeo de la Competencias Básicas del Aprendizaje, definidas por la UE como "un conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes que todas las personas precisan para su realización y desarrollo personal, inclusión y empleo". El material presentado en este artículo consta de una estructura integrada de tareas, actividades y ejercicios, para facilitar la adquisición del mayor número posible de competencias básicas. Además, el material incluye textos de teoría, enlaces a páginas web y videos de interés sobre el tema.

Los alumnos, mediante la realización de una tarea (y actividades y ejercicios relacionados), aprenderán las diferencias entre radiaciones ionizantes y no ionizantes, el origen, características y tipos de radiaciones ionizantes, cómo se pueden detectar y medir, sus posibles efectos perjudiciales en la salud, los principios de la protección radiológica y las numerosas aplicaciones que las radiaciones tienen para el hombre. El material está disponible en www.rinconeducativo.org.

ABSTRACT

The Training Department of the Spanish Nuclear Industry Forum has undertaken a new project to develop an interactive educational material on Radiological Protection. The objective was to develop an attractive, comprehensive and interactive material, to facilitate students and teachers of Elementary, Middle and High schools, to become familiar with ionising radiations.

The novelty of the project, is that is based on the European framework of "key competencies for lifelong learning", which are defined as "a set of knowledge, skills and attitudes that all individuals need for personal fulfilment and development, inclusion and employment". The material presented in this paper, is based in an integrated structure of tasks, activities and exercises, which will facilitate the acquisition of as many key competencies as possible. Besides, the material also includes reference texts, links to pertinent websites and videos.

Students, through the development of a specific task (and related activities and exercises), will learn the differences between ionizing and non ionising radiation, the origin, characteristics and types of ionising radiation, how to detect and measure them, the potential detrimental health effects, the principles of radiation protection and the beneficial applications that radiations can have for man. The material is freely available in www.rinconeducativo.org.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías que utilizan radiaciones ionizantes, incluyendo la producción de energía, generan con frecuencia desconfianza y temor en el público, debido en la mayoría de los casos a la falta de información, o a que la información se transmite con un lenguaje tan técnico que es muy difícil poder entenderlo. Así pues, el reto es proporcionar in-

formación sobre estos temas utilizando un lenguaje accesible para el público en general. La importancia que tiene formar a las personas desde edades tempranas ha llevado a distintos organismos e instituciones a invertir un gran esfuerzo en la elaboración de materiales didácticos dirigidos a colegios e institutos. Como ejemplo mencionar las Guías Didácticas elaboradas por el Consejo de Seguridad Nuclear en España [1, 2].

El Departamento de Formación de Foro de la Industria Nuclear Española, tiene una amplia experiencia en la realización de materiales didácticos, fundamentalmente sobre temas energéticos. Muestra de ello es la creación del portal *Rincón Educativo*, que es en la actualidad un punto de referencia para los profesionales de la enseñanza en lo relativo a temas energéticos (Figura 1). Este portal educativo está dirigido tanto al profesorado como al alumnado, conteniendo información dirigida principalmente a Educación Primaria, Secundaria y Bachillerato. El *Rincón Educativo* es un lugar de encuentro de recursos educativos, en el que se encuentran disponibles experiencias de laboratorio, itinerarios, actividades, *Energúas* sobre protección radiológica y aplicaciones de la radiación, o información sobre nombres ilustres de la Energía Nuclear. Entre los recursos disponibles en el *Rincón Educativo*, destacan el *Ponte al día en energía*, la *Tabla periódica interactiva* o *El recorrido de la Energía*, todos ellos disponibles en www.rinconeducativo.org.

En el presente artículo se describe el último proyecto educativo realizado por el Departamento de Formación de Foro Nuclear, en el que se ha desarrollado un material didáctico atractivo, comprensible e interactivo, que permita al alumnado y al profesorado familiarizarse con la protección radiológica y en general con las radiaciones ionizantes, un agente físico natural que forma parte de nuestra vida cotidiana. Este material didáctico también está disponible en la página del *Rincón Educativo* (www.rinconeducativo.org).

Lo novedoso del proyecto sobre protección radiológica realizado por Foro Nuclear es que ha sido desarrollado basándose en el Marco Europeo de las Competencias Básicas del Aprendizaje [3, 4]. Las competencias básicas se definen como "el conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes y experiencias que todos los individuos necesitan para su realización y desarrollo personal, inclusión y empleo". Dichas competencias, si bien han de desarrollarse durante el periodo de enseñanza obligatoria, constituyen la base para un posterior aprendizaje a lo largo de la vida.

El marco de referencia europeo, que en líneas generales es el que se sigue en España, contempla ocho competencias básicas:

1. Competencia en comunicación lingüística.
2. Competencia matemática.
3. Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico.
4. Tratamiento de la información y competencia digital.
5. Competencia social y ciudadana.
6. Competencia cultural y artística.
7. Competencia para aprender a aprender.
8. Autonomía e iniciativa personal.

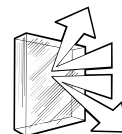


Figura 1. Imagen del Rincón Educativo, donde alumnado y profesorado de todos los ciclos formativos pueden encontrar innumerables recursos sobre temas energéticos (www.rinconeducativo.org).

Para llegar a adquirir las competencias básicas, es fundamental definir y seleccionar tareas adecuadas que permitan aprender los elementos que conforman la competencia. Dichas tareas han de tener sentido dentro y fuera del aula, han de ser de utilidad e interés, adecuadas al contexto, variadas, y han de propiciar la adquisición del mayor número de competencias básicas posible, siendo adecuadas a los objetivos que se pretenden lograr. En definitiva, el objetivo es crear una estructura integrada de tareas, actividades y ejercicios que faciliten la consecución de distintas competencias.

Es importante tener en cuenta las diferencias entre tarea, actividad y ejercicio:

- Una *tarea* persigue la consecución de una competencia. Las tareas configuran situaciones (o problemas) que cada alumno debe tratar de resolver haciendo un uso adecuado de todos sus recursos personales. Un ejemplo de tarea sería analizar la factura de la luz.
- Una *actividad* persigue conseguir un determinado comportamiento. Dentro de la tarea de analizar la factura de la luz, una actividad sería recopilar las facturas de los seis últimos meses y comparar consumo y gasto.
- Un *ejercicio* persigue conseguir una determinada conducta. En el ejemplo que nos ocupa, un ejercicio sería repasar los



porcentajes y diferencias en la factura de luz de un mes cualquiera.

El proyecto presentado en este artículo pretende que a través de una tarea concreta, y las correspondientes actividades y ejercicios, el alumnado amplíe sus conocimientos sobre las radiaciones ionizantes, su origen, características, efectos perjudiciales para la salud, el sistema de protección radiológica, y que sea consciente del papel que las radiaciones ionizantes desempeñan en nuestra vida cotidiana debido a sus múltiples aplicaciones beneficiosas en ámbitos tan distintos como la medicina, la industria, la agroalimentación, el medio ambiente o la conservación del patrimonio histórico.

A partir del planteamiento de una tarea real a desarrollar, se proponen toda una serie de actividades y ejercicios que el alumnado tendrá que realizar para poder lograr el objetivo resolutivo final de la tarea planteada. A lo largo del proceso, tendrá que ir desarrollando actividades de investigación, resolución de problemas, reflexión, actividades mentales, ejercicios mecánicos, planificación del trabajo e interdisciplinariedad, entre otras, para la resolución de la tarea planteada. Se pretende que el alumnado realice procesos cognitivos de conocimiento, reproducción, comprensión, análisis, síntesis, aplicación de conocimientos previamente adquiridos en la resolución de problemas, autoevaluación y toda una serie de experiencias a realizar que le motive y, de una forma más atractiva, le impulse a resolver la tarea planteada.

Por todo ello, el material didáctico realizado en este proyecto se ha estructurado en Unidades Didácticas Integradas (UDI), en donde además de las tareas, actividades y ejercicios, se incluyen textos de consulta sobre distintos aspectos relacionados con las radiaciones ionizantes, para ayudar al alumnado en su labor de investigación y aprendizaje. El contenido de los textos de apoyo está adaptado al nivel educativo correspondiente (Primaria, Secundaria o Bachillerato). También se proporcionan enlaces a páginas de internet, donde se puede encontrar información adicional que ayude al alumnado a resolver las dudas que les puedan surgir durante la realización de la tarea propuesta, así como videos explicativos que facilitan la comprensión del tema tratado. Por último, el profesorado también encontrará información que les ayudará a trabajar la UDI sobre protección radiológica con su alumnado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar las Unidades Didácticas Integradas, se ha empleado el programa eXeLearning, que es un editor XHTML creado para ayudar a los docentes a diseñar, desarrollar y publicar materiales de aprendizaje multimedia, sin necesidad de tener conocimiento sobre HTML o XML.



Figura 2. Material didáctico sobre protección radiológica. Izquierda: Unidad didáctica integrada para Educación Primaria y Primer Ciclo Educación Secundaria (6-12 años). Derecha: Unidad didáctica integrada para Educación Secundaria Obligatoria (12-16 años) y Bachillerato (16-18 años).

Este programa permite crear materiales de aprendizaje en los que se puede combinar texto con elementos multimedia (audio, video, animación, páginas de Internet, etc.) a la vez que crear ejercicios interactivos de tipo elección múltiple, verdadero/falso, completar huecos, etc. Como resultado se obtiene una unidad didáctica estructurada a través de un índice con las diferentes secciones en las que se ha dividido la unidad. El alumnado puede utilizar la UDI como método de auto-aprendizaje, como si estuviera navegando por una página web.

RESULTADOS

El material didáctico sobre protección radiológica, elaborado en base al Marco de las Competencias Básicas del Aprendizaje, se ha estructurado en dos partes, una dirigida a Educación Primaria y Primer Ciclo de Educación Secundaria y otra a Educación Secundaria y Bachillerato, ya que hay diferencias sustanciales en el contenido curricular entre estos niveles educativos (Figura 2).

Material didáctico para Educación Primaria y Primer Ciclo de Educación Secundaria

La Unidad Didáctica Integrada para alumnos de 6 a 12 años se llama *Despaja la X* (Figura 2). En ella se propone al alumnado la tarea de "Organizar una visita extraescolar al departamento de radiología del hospital más cercano".

Para la realización de dicha tarea el alumnado tendrá que organizarse en grupos y repartirse el trabajo de investigación para conseguir información sobre distintos aspectos relacionados con las radiaciones ionizantes. En la UDI, además de proporcionar material que les ayude a conocer los aspectos más generales de las radiaciones ionizantes, se proponen actividades para cuatro grupos de trabajo, cada una



Figura 3. Esquema de trabajo de la Unidad Didáctica Integrada "Despeja la X", para Educación Primaria y Primer Ciclo de Educación Secundaria.

de ellas encaminada a que profundicen algo más en algún aspecto concreto de las radiaciones ionizantes (Figura 3).

Los temas propuestos para los cuatro grupos de trabajo son:

- *Las radiaciones ionizantes.* Con actividades que les permitan conocer la diferencia entre radiaciones ionizantes y no ionizantes, fuentes de radiación ionizante naturales como la radiación cósmica, y conceptos básicos de protección radiológica.
- *Aplicaciones en investigación.* Se proponen actividades relacionadas con el uso de rayos X en obras de arte, arqueología, conservación de libros antiguos o fotografía.
- *Aplicaciones industriales.* Entre las actividades propuestas se incluyen videos y películas de series infantiles de TV, en los que se habla de los rayos X. También se proponen actividades relacionadas con la irradiación de alimentos, el control de calidad de materiales usados en industria o

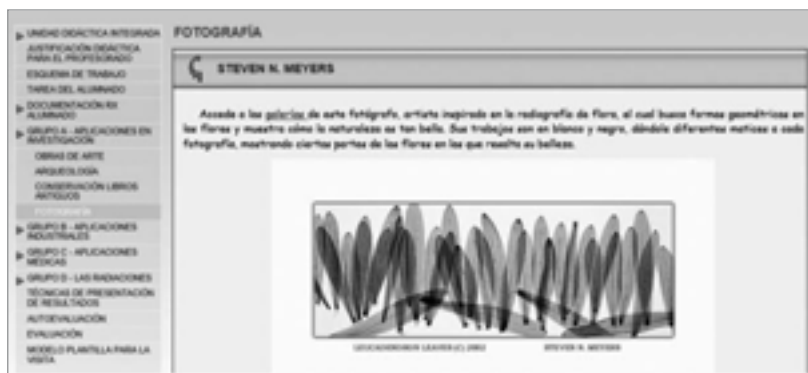


Figura 4. Ejemplo de una actividad propuesta en la UDI "Despeja la X", relacionada con las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en investigación, en concreto en fotografía. El alumnado puede ver como los rayos X pueden utilizarse para ver el interior de los objetos y los organismos vivos, o para realizar fotografías artísticas.

el uso de rayos X en el control de acceso de pasajeros en aeropuertos.

- *Aplicaciones médicas.* Con actividades centradas en el uso de rayos X tanto para diagnosticar enfermedades como para su tratamiento.

Cada grupo tiene que realizar 3 o 4 actividades (un ejemplo de actividad puede verse en la Figura 4). Las actividades parten de una noticia de prensa, un video o una fotografía, y mediante ejercicios prácticos de distinta índole (preguntas de elección múltiple o de verdadero/falso, interpretación de datos o búsqueda de información), plantean retos que el alumnado ha de ir solucionando, ayudándole a adquirir los conocimientos requeridos para llevar a cabo la tarea. Al final de cada actividad el alumnado encuentra enlaces a páginas de Internet que le pueden ser de utilidad (Figura 5).

Una vez finalizadas las actividades, los distintos grupos han de realizar una exposición oral al resto de los compañeros y así compartir los conocimientos adquiridos. Como parte del material didáctico, se les da información sobre técnicas de presentación de resultados que les ayude en la presentación oral que han de realizar. El siguiente paso es completar la tarea, es decir, realizar la visita al departamento de radiología del hospital más cercano. Para ello, el alumnado tendrá que realizar todos los preparativos necesarios, desde contratar el autobús para ir al hospital, hasta preparar las preguntas para los expertos que les atenderán en la visita. En la UDI el alumnado puede encontrar información sobre todos los preparativos que han de realizar antes y durante la visita.

El objetivo es que al finalizar la tarea, el alumnado conozca las diferencias entre radiaciones ionizantes y no ionizantes, entienda que las radiaciones ionizantes son un agente físico que se encuentra en la naturaleza y al que todos estamos expuestos y sepa a grandes rasgos las diversas aplicaciones beneficiosas que el uso de radiaciones ionizantes tienen para el hombre,



Figura 5. Enlaces disponibles al final de cada actividad: Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (izquierda) y al buscador Google (derecha), que pueden utilizar el alumnado para resolver sus dudas.

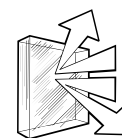


Figura 6. Esquema de trabajo de la Unidad Didáctica Integrada: “@radiación”, para Educación Secundaria y Bachillerato.

siendo conscientes de que un mal uso también puede producir efectos perjudiciales en la salud.

En la UDI también hay información para el profesorado incluyendo un texto explicativo sobre las competencias básicas del aprendizaje, un esquema de trabajo de como utilizar la UDI o la justificación didáctica de ésta. Al final de cada actividad el profesorado dispone de una tabla con información detallada de los aspectos trabajados en cada una de las actividades (competencias, contexto, tipo de actividad o ejercicio y criterio de evaluación).

Material didáctico para Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato

La Unidad Didáctica Integrada dirigida a alumnos de 12 a 18 años se llama “@radiación” (Figura 2). La tarea que se propone es “Construir un medidor de radiación”. Para trabajar esta unidad, se propone al alumnado que formen grupos pequeños (2-3 personas), repartiéndose las actividades a realizar y que les permitirán adquirir los conocimientos necesarios para realizar la tarea con éxito (Figura 6). Se proponen seis temas de trabajo, con sus actividades y ejercicios asociados:

- **Radiación cósmica.** Con actividades que permitan conocer las diferencias entre las radiaciones ionizantes naturales y artificiales, aspectos básicos de la dosimetría de radiaciones y de la protección radiológica.
- **Energía nuclear.** Las actividades propuestas incluyen videos, programas de televisión y holografías que explican como se produce la energía nuclear, el tipo y número de reactores nucleares existentes en España, los residuos radiactivos generados y su gestión, o en qué consiste un estudio epidemiológico y cuál es su propósito.

- **Aplicaciones en agroalimentación.** Con actividades en las que aprenderá como las radiaciones ionizantes pueden utilizarse para aumentar la producción o mejorar la conservación de los alimentos, o para erradicar plagas de insectos.
- **Aplicaciones en arte.** Las actividades propuestas están centradas en el uso de las radiaciones ionizantes en la investigación de obras de arte y su conservación (cuadros, esculturas, etc.).
- **Aplicaciones en arqueología.** Con actividades que permitan aprender como se utilizan las radiaciones ionizantes en investigaciones arqueológicas, como por ejemplo para determinar el origen de objetos muy antiguos como la máquina de Antiquitera.
- **Aplicaciones médicas e industriales.** En este grupo se incluyen actividades relacionadas con el uso de radiaciones en medicina o en el control de pasajeros en los aeropuertos.

Como en el caso de la UDI para Primaria, las actividades planteadas al alumnado de Secundaria y Bachillerato parten de una noticia de prensa o un video de acontecimientos de la vida real, lo que aumentará su interés por el tema (la Figura 7 muestra un ejemplo de actividad propuesta). Cada actividad lleva asociada ejercicios prácticos de distinta índole (preguntas de verdadero o falso, interpretación de datos, búsqueda de información, etc.), que le ayudarán a adquirir los conocimientos requeridos para realizar con éxito la tarea propuesta.

Teniendo en cuenta que esta UDI va dirigida a Educación Secundaria y Bachillerato, se han incluido textos de teoría que ayuden al alumnado a adquirir conocimientos básicos sobre las radiaciones ionizantes y la protección radiológica. Así, en la sección “Teoría sobre las radiaciones”, encontrará información sobre:

- ¿Qué es la radiación?
- Diferencias entre radiación ionizante y no ionizante.
- Características y tipos de radiación ionizante natural y artificial.
- Detección y medida de las radiaciones ionizantes.
- Efectos biológicos de la radiación ionizante.
- Protección Radiológica
- Energía Nuclear.
- Residuos Radiactivos.
- Aplicaciones de la radiación ionizante en medicina, industria, arte y conservación del patrimonio, medio ambiente y agroalimentación.

En cada una de las actividades existen enlaces a estos textos de teoría, de tal manera que el alumnado pueda acceder a la



Figura 8. Enlaces que el alumnado puede encontrar al final de cada actividad: Diccionario de la Real Academia Española (arriba, izquierda); diccionario de términos nucleares (arriba, derecha) y buscador Google (abajo).

Figura 7. Ejemplo de una de las actividades propuestas en la UDI “@radiación”, en relación a la energía nuclear, en concreto a los estudios epidemiológicos realizados en el entorno de centrales nucleares. El alumnado, tras ver el video (emitido por TVE) y leer la noticia (publicada en el periódico ABC), deberá realizar los ejercicios propuestos en relación al tema tratado.

información que necesita conocer para realizar la actividad, de forma rápida y fácil. Además al final de cada actividad tiene enlaces a páginas de internet que les pueden ser de utilidad para resolver dudas (Figura 8).

Finalmente, el alumnado tendrá que completar la tarea de “Construir un medidor de radiación”. En la UDI encontrará instrucciones de como construir un medido Geiger (componentes, circuitos, etc.). Además, en cada grupo de trabajo, se ha incluido una actividad directamente relacionada con la tarea, de tal manera que el alumnado pueda ir familiarizándose con el medidor que tendrán que construir.

El objetivo es que una vez finalizada la tarea, el alumnado de Secundaria y Bachillerato haya adquirido los conocimientos suficientes como para poder distinguir entre radiación ionizante y no ionizante, saber los tipos y principales características de las radiaciones ionizantes, los métodos empleados para detectarlas y medirlas, los efectos que pueden producir en la salud de las personas y el sistema de protección radiológica desarrollado para minimizar estos riesgos y los principales ámbitos de aplicación de las radiaciones ionizantes en beneficio del hombre.

La UDI también incluye información para el profesorado sobre el marco de las competencias básicas de aprendizaje,

el esquema de trabajo que pueden seguir para realizar la UDI, la justificación didáctica de la Unidad, y las competencias básicas trabajadas en cada una de las actividades propuestas.

CONCLUSIONES

El material didáctico ha sido presentado en diversos congresos internacionales y jornadas nacionales y ha tenido una gran acogida entre los profesionales de la educación y también de la protección radiológica. En el futuro se seguirá difundiendo este material a nivel nacional, visitando colegios e institutos para presentarlo.

Recordar que ambas Unidades Didácticas Integradas se encuentran disponibles para ser utilizados por cualquier persona interesada en www.rinconeducativo.org.

REFERENCIAS

- [1] CSN Consejo de Seguridad Nuclear. Radiación y Protección Radiológica. Guía didáctica para centros de enseñanza primaria. 2009. Disponible en http://www.csn.es/images/stories/publicaciones/otras_publicaciones/guia_didactica_primaria.pdf
- [2] CSN. Consejo de Seguridad Nuclear. Radiación y Protección Radiológica. Guía didáctica para centros de enseñanza secundaria. 2010. Disponible en: http://www.csn.es/images/stories/publicaciones/otras_publicaciones/guia_radia_web.pdf
- [3] European Commission. Key Competences for Lifelong Learning. European Reference Framework. 2007
- [4] Otten H. and Ohana Y. The Eight Key Competencies for Lifelong Learning: An Appropriate Framework within which to Develop the Competence of Trainers in the Field of European Youth Work or Just Plain Politics? IKAB. September 2009.

NOTA TÉCNICA

TELÉFONOS MÓVILES Y TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA

María Ángeles Trillo y Alejandro Úbeda

Servicio de Investigación-BEM, Irycis, Hospital Universitario Ramón y Cajal, Madrid.

RESUMEN

El rápido incremento en el uso público de dispositivos inalámbricos, y de teléfonos móviles en particular, hace necesario garantizar que estos equipos no expongan a sus usuarios a niveles potencialmente dañinos de emisiones electromagnéticas. En las frecuencias a las que la mayoría de estos dispositivos operan, los efectos agudos reconocidos sobre la salud se restringen al calentamiento de los tejidos expuestos. Un parámetro útil para estimar este efecto de calentamiento es la Tasa de Absorción Específica (SAR: Specific Absorption Rate), que se expresa en vatios por kilo de tejido, o en sus subunidades. Como parte de los esfuerzos internacionales para legislar sobre los aspectos relacionados con la seguridad de los usuarios, hoy se exige que los equipos comercializados cumplan con los límites establecidos para SAR. El cálculo del SAR se convierte así en un requisito de urgente cumplimiento para las empresas que manufacturan y distribuyen tales equipos de radiocomunicación. Aparte de lo anterior, conviene recordar que todavía no se ha resuelto la controversia sobre el potencial impacto a largo plazo de los efectos "subtérminos" o "microtérminos" de las radiofrecuencias. En las presentes circunstancias, el consenso general sobre el desarrollo de estrategias para prevención de riesgos persigue abordar los siguientes aspectos fundamentales: 1) valoración y control de la exposición, a fin de que en ningún caso se sobrepasen los límites térmicos establecidos. 2) fomentar la investigación dirigida a incrementar el bloque de evidencia en aspectos específicos de la respuesta a emisiones "subtérminos" en los que la información potencialmente relevante para la salud humana sea todavía insuficiente. 3) permanente evaluación de la evidencia, y adecuación de los límites de exposición a la información científica disponible. 4) liberación periódica de información actualizada sobre los avances logrados en las citadas estrategias. La presente nota técnica se centra principalmente en el primero de los puntos, la valoración mediante SAR de la exposición a las emisiones de los teléfonos móviles.

ABSTRACT

The growing increase in public use of wireless devices, including mobile phones, makes necessary to ensure that these systems do not expose users to potentially harmful levels of electromagnetic radiation. At the frequencies at which most of these devices operate, the known short term health effects focus on tissue heating. A measure of this warming effect is provided by the Specific Absorption Rate (SAR). As part of global efforts to legislate on the user's health and safety issues, many authorities now require that products placed on the market comply with the limits for SAR. Thus, the SAR calculation is becoming a rapidly growing requirement for the manufacturing companies. There are, however, still unanswered questions about the potential impact of non-thermal effects of radio frequencies in the tissues. Under these circumstances, the general consensus on the development of strategies for risk prevention seeks to address the following key issues: 1) Rating and exposure control in order to guarantee that in no case the thermal limits are exceeded. 2) Promote research aimed at increasing the block of evidence on specific aspects of the response to "subthermal" emissions in which the information potentially relevant to human health is still insufficient. 3) Permanent evaluation of the evidence and adequacy of exposure limits to scientific information available. 4) Release frequent updates on the progress made in these strategies. The present text preferentially addresses the first of these issues, i.e. the SAR as a useful parameter for assessing exposure to emissions from mobile phones.

DATOS RELEVANTES

- Hoy el uso del teléfono móvil se ha universalizado, estimándose en 4,6 miles millones el número global de suscripciones en 2011.
- Los resultados de los estudios epidemiológicos más recientes muestran indicios de un aumento del riesgo de tumores ipsilaterales a la zona de aplicación del teléfono, de tipo glioma y neurinoma, para sujetos que hacen un uso frecuente y prolongado del móvil, con un tiempo acumulado de llamadas superior a 1640 horas. Sobre esta base epidemiológica, completada con algunos datos experimentales *in vivo* e *in vitro*, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, OMS)

clasificó en 2011 la radiación electromagnética emitida por los teléfonos móviles y por otros equipos de radiocomunicación como "posible carcinógeno para los seres humanos", dentro de la categoría 2B [1,2].

- A pesar de lo anterior, la potencial relación entre el uso del teléfono móvil y un aumento del riesgo de tumores cerebrales no se considera establecida. No obstante, el creciente uso de esos teléfonos y la actual carencia de datos epidemiológicos sobre usuarios durante periodos de tiempo más largos de 15 años justifican investigaciones adicionales. En particular, dada la creciente popularidad del uso del teléfono móvil entre los jóvenes, que serán objeto de una exposición más temprana y más prolongada, la OMS está

promoviendo la investigación sobre este grupo de la población. Así, están ya en marcha varios estudios que investigan los efectos potenciales para la salud de los infantes y adolescentes [ver, por ejemplo: 3]. Sin embargo, la universalización del uso dificulta seriamente la localización de verdaderos *controles* (no usuarios) a comparar con los casos (usuarios). Por ello, la ejecución de estudios experimentales en modelos celulares o animales es imperativa para identificar los posibles mecanismos subyacentes a los alegados efectos oncológicos de la exposición crónica a la creciente variedad de señales de radiocomunicación.

TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA

Los teléfonos móviles son emisores de radiofrecuencias (RF) de potencia relativamente baja (subtérmica). Estos equipos operan a frecuencias de entre 450 y 2700 MHz, con potencias de pico en el intervalo de 0,1 a 2 vatios. Los límites de exposición a radiofrecuencia vienen dados en términos de Tasa de Absorción Específica (SAR), que determina la cantidad de energía RF absorbida por los tejidos expuestos a la radiación. El valor de SAR depende, entre otros parámetros, del valor de la densidad de corriente inducida en los tejidos por la radiación, de la densidad de los tejidos expuestos y de la conductividad de los mismos.

VALORES LÍMITE DE SAR

Diversas autoridades internacionales y locales han establecido límites de seguridad para la exposición a señales RF. Así, dos organismos internacionales, la *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) y el *American National Standards Institute / Institute of Electrical and Electronics Engineers* (ANSI / IEEE) han desarrollado normas de exposición para los trabajadores y para el público general [4, 5]. Estas normas consideran dos categorías de límites: un valor de SAR para la exposición promedio del cuerpo completo (generalmente, se aplica a ondas emitidas por antenas de radioseñales, como las instaladas en las estaciones base de telefonía móvil) y un valor de SAR localizado, aplicable a la exposición en la cabeza, en las extremidades o en el tronco, como la recibida durante el uso de los teléfonos móviles. Estos SAR cuerpo-cabeza están promediados sobre un volumen determinado de tejido.

Las exigencias en cuanto a los límites establecidos para un valor de SAR máximo en EEUU difieren de los requisitos internacionales (Tabla 1), ya que establecen un valor más bajo del promedio espacial de SAR, que es calculado para un volumen de tejido menor que el considerado en los límites internacionales. La norma estadounidense también exige un tiempo más prolongado de exposición durante el que ha de calcularse el SAR promedio. Así, en los Estados Unidos de América, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC),

	SAR (cuerpo entero)	SAR (pico espacial)	Tiempo	Masa
Europa	0.08 W/kg	2,0 W/kg	6 min	10 g
EE.UU	0.08 W/kg	1,6 W/kg	30 min	1 g

Tabla 1: Límites de Tasa de Absorción Específica (SAR).

que ha adoptado las directrices de ANSI / IEEE, exige que las emisiones recibidas por el usuario presenten un valor promedio de SAR igual o inferior a 1,6 vatios por kilogramo (W/kg) de tejido, calculado en una masa de un gramo de cualquier tejido (es decir, 0,0016 W absorbidos en una masa de un gramo de cualquier tejido). Por su parte, la Unión Europea sigue las directrices de ICNIRP, y fija un límite de 2 W/kg, promediados en 10 gramos de tejido (0,02 W absorbidos en una masa de 10 gramos de tejido de la cabeza, específicamente). Como límite de exposición para el cuerpo entero, ambas normas establecen un máximo de 0,08 W/kg promediado en toda la masa corporal.

LAS DIRECTRICES ESTÁN BASADAS EN UN “CRITERIO TÉRMICO”

Las directrices se basan en evaluaciones actualizadas de la metrología y de la evidencia científica sobre efectos nocivos inmediatos, y están destinados a evitar daños relacionados con el incremento de temperatura debido a la deposición de energía en las regiones anatómicas expuestas. Es decir, el calentamiento de los tejidos es el mecanismo admitido de interacción entre la energía de radiofrecuencia y los cuerpos receptores. La OMS entiende que aquellas condiciones en que una radiación RF incidente da lugar a incrementos de temperatura iguales o superiores a un grado centígrado en un tejido expuesto, son potencialmente nocivas para los humanos. Sobre la base de este *criterio térmico*, la OMS coincide con ICNIRP a la hora de establecer sus niveles de referencia y sus límites de exposición a radiaciones RF para los trabajadores y el público general. En 2001, España adoptó los criterios y límites de base térmica propuestos por la OMS, y los transfirió a la legislación estatal mediante Real Decreto (RD 1066/2001).

METROLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE SAR

La metrología de niveles de exposición a RF en modelos humanos presenta serias dificultades técnicas. Y, sin embargo, tal metrología resulta esencial para comprobar si un determinado equipo emisor cumple los estándares de seguridad establecidos. Con el fin de lograr estimaciones fiables de SAR que se ajusten a sujetos de distinta morfología anatómica, se han diseñado diversos modelos humanos (maniqués o *phantoms*, numéricos o sólidos), como el modelo de cabeza de varón adulto denominado SAM (*Specific Anthropomorphic*

Mannequin). El SAM fue propuesto como modelo apropiado por los estándares de seguridad (Cenelec 2001, IEEE 2003, IEC 2005). Con ayuda de estas herramientas, que incluyen también modelos anatómicos de cabeza o cuerpo completo para distintas edades, complejones, género o raza (6-8), se han realizado diversos estudios de evaluación de SAR para numerosos modelos de teléfonos móviles.

En esencia, para el cálculo de la SAR en el caso de los teléfonos móviles se utiliza un modelo de cabeza humana como el SAM descrito arriba, cuyo interior se rellena con materiales líquidos especialmente desarrollados para simular las propiedades dieléctricas del tejido cerebral humano y de las capas de tejidos que lo envuelven (piel, músculo y hueso). Esto permite una estimación conservadora (sobreestimación) de los valores de SAR. El montaje se completa con un robot equipado con una sonda de medición de campo eléctrico, y con el modelo de teléfono móvil a valorar, alimentado a su máximo nivel de potencia certificado (Figura 1).

DIFERENTES NIVELES DE SAR DEPENDIENDO DEL MODELO DEL TELÉFONO MÓVIL

Los teléfonos móviles se comunican con las estaciones base de telefonía mediante la emisión de señales de radiofrecuencia. Las antenas emisoras de los móviles son omnidireccionales, es decir, emiten las señales en todas las direcciones. Por ello, cuando usamos el teléfono aplicado directamente al oído, nuestra cabeza y nuestra mano pueden absorber, según las condiciones y el modelo, hasta el 75% de la energía emitida. Por lo tanto, la SAR variará según el modelo del teléfono utilizado, si bien las respectivas legislaciones deben garantizar que todos los modelos comercializados en Europa, Estados Unidos y Canadá cumplan los límites establecidos por los organismos reguladores (Tabla 1).

Es necesario tener en cuenta que los datos de SAR calculados y facilitados por el fabricante de cada modelo corresponden a valores máximos, y que las emisiones reales de los teléfonos móviles son por lo general inferiores a esos máximos. En efecto, los niveles de energía absorbidos dependen de factores tales como la distancia que separa al teléfono de la estación base, la utilización del teléfono en espacios interiores o al aire libre, o de la posición del teléfono en relación con la cabeza (distancia y orientación). Otros factores operativos que intervienen en la SAR incluyen, por ejemplo, las bandas de transmisión, ya que un mismo teléfono puede conmutar entre diversas bandas de frecuencia durante una llamada. Así pues, es importante tomar en consideración que un modelo con una clasificación nominal de SAR alto, en la práctica puede funcionar con emisiones de energía mucho más bajas. De forma que un teléfono con una SAR nominal baja puede, dependiendo de las condiciones del momento, operar con emisiones de más alta energía que un modelo

clasificado como de SAR más elevado. Por lo tanto, las listas de valores SAR para teléfonos móviles pueden ser útiles en términos comparativos, si quisiéramos optar por adquirir un modelo de *baja radiación*, pero es necesario tener en cuenta que los datos de SAR máximo listados no permiten estimar con la suficiente precisión los niveles reales de exposición en la amplia variedad de condiciones que se dan durante el uso cotidiano del equipo.

Además, las SAR de modelos diferentes no son comparables directamente a menos que se hayan calculado utilizando un mismo criterio. De hecho, diferentes fabricantes usan protocolos distintos para las pruebas de sus aparatos. Por ejemplo, algunos indican que el valor de SAR de los modelos que figuran en sus listados representa el nivel máximo obtenido con el teléfono aplicado al oído. Otros fabricantes, por su parte, publican en sus listados el valor máximo de SAR calculado, independientemente de la posición del teléfono con respecto al cuerpo, según recomienda la agencia federal competente en los Estados Unidos, la *Federal Communications Commission* (9). Esto explica el hecho de que el valor SAR asignado a determinados modelos en una lista no coincida con el que figura en otra lista para esos mismos modelos. En cualquier caso, son cada vez más los fabricantes que proporcionan información sobre la SAR de sus teléfonos móviles. Así, en www.SARdatabase.com o en www.sarvalues.com se puede encontrar los valores de SAR correspondientes a diferentes modelos que se comercializan en Europa o en los Estados Unidos. En las Tablas 2 y 3 presentamos algunos ejemplos de datos contenidos en esos listados de libre acceso.

En definitiva, aquellos usuarios que deseen limitar los niveles de radiación RF emitida por su teléfono móvil y absorbida

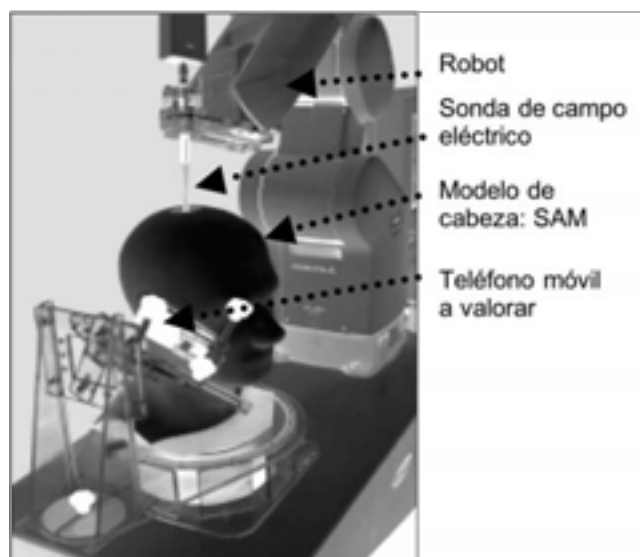


Figura 1: Equipamiento de metrología para la estimación de la SAR.

Nokia 6267	0,31
Nokia 6290	0,47
Emporia life	0,37
Samsung F210	0,20
Samsung GT-E2370 Xcover	0,41
Samsung Galaxy S	0,25
Samsung GT-I9100 Galaxy S II	0,34
LG Cuántica	0,35
LG KU970	0,43
Casio EXILIM	0,53
Sanyo Katana II	0,55
Sony Ericsson Xperia PLAY	0,36
HTC Desire S	0,35
HTC Rhyme	0,36
HTC Sensation XE	0,36

Tabla 2. Teléfonos móviles con valor de SAR bajo (W/kg). (SAR límite = 2 W/kg, promediado sobre 10 g de tejido).

por su cabeza, además de optar por un modelo con bajo nivel de SAR, deberían aplicar una serie de estrategias para el buen uso del teléfono, como las descritas en la página web de la SEPR, sección *Destacados* [10]. Además, quien desee extremar las precauciones portaría el teléfono activo separado al menos unos centímetros del cuerpo, asegurándose de que la antena del aparato se encuentre en la zona más alejada, y evitaría dormir con un teléfono activo en la mesilla de noche o debajo de la almohada. Las mujeres embarazadas procurarían mantener el teléfono alejado de su abdomen. Los niños deberían limitar el uso de teléfonos celulares, ya que aparte de una potencial sensibilidad a los hipotéticos efectos de una exposición temprana y prolongada, los individuos inmaduros reciben en sus tejidos cerebrales niveles más elevados de la radiación emitida por los teléfonos que los adultos. Este incremento en la exposición se debe a las diferencias obvias entre las proporciones anatómicas de los adultos y de los infantes. Además, la exposición de la médula ósea en el cráneo infantil puede superar a la de los adultos en un factor de 10, aproximadamente, debido a la fuerte disminución de la conductividad eléctrica de este tejido con la edad [11].

En cualquier caso, dado el crecimiento continuado de la implantación de nuevas tecnologías relacionadas con las comunicaciones y sus aplicaciones, tanto la metrología como la normativa deben ser actualizadas constantemente, y evolucionar para adaptarse a nuevas necesidades de protección radiológica. En este sentido, es obvio que deben realizarse nuevos esfuerzos para la identificación de los mecanismos que subyacen a los bioefectos de las radiaciones RF dentro

Aumenta Motorola	1,55
Blackberry Bold	1,55
Bravo Motorola	1,59
HTC Magic	1,55
Motorola i335	1,55
Motorola W385	1,54
Motorola i290 Refuerzo	1,54
Motorola DEFY	1,53
Motorola Droid 2	1,58
Nokia E51	1,40
Palm Pixi	1,56
Quantico Motorota	1,53
Sony Ericsson W950i	1,35
Sony Ericsson W880i	1,45
Sony Ericsson T650	1,80

Tabla 3. Teléfonos móviles con valor de SAR alto (W/kg). (SAR límite = 2 W/kg, promediado sobre 10 g de tejido).

de los actuales esquemas de modulación y rangos de transmisión.

REFERENCIAS

- [1]. IARC, PRESS RELEASE N° 208, 31 May 2011: http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf
- [2]. IARC incluye las radiaciones de radiofrecuencia en la categoría de "posible agente cancerígeno". Radioprotección, No 69 Vol XVIII: 67-69
- [3]. E. Cardis y C. Eastman en nombre del consorcio Mobi-Kids. Objetivos y estado actual del estudio Mobi-Kids. Radioprotección 71 (Monográfico RNI), Vol. XIX: 22-27, 2012
- [4]. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", 2009.
- [5]. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE Std C95.1, 2005.
- [6]. Martens L 2005 Electromagnetic safety of children using wireless phones: a literature review Bioelectromagnetics 7 S133-7
- [7]. Wiart J, Hadjem A, Gadi N, Bloch I, Wong M F, Pradier A, Lautru D, Hanna V F and Dale C 2005 Modeling of RF head exposure in children Bioelectromagnetics 26 S19-S30
- [8]. Christ A and Kuster N 2005 Differences in RF energy absorption in the heads of adults and children Bioelectromagnetics 26 S31-44
- [9]. Federal Communications Commission: <http://www.fcc.gov/encyclopedia/specific-absorption-rate-sar-cellular-telephones>
- [10]. Las radiaciones No Ionizantes en telefonía Móvil. Recomendaciones SEPR: <http://www.sepr.es/>
- [11]. Christ A, Gosselin MC, Christopoulou M, Kuhn SK and Kuster N. Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users. Phys. Med. Biol. 55 (2010) 1767-1783.

LA JUNTA DIRECTIVA INFORMA

Estimados compañeros:

Como sabéis la Sociedad Española de Protección Radiológica esta asociada a la *Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging*. Os invitamos a visitar su página web y a acceder a los contenidos de la siguiente fase de la campaña de *Imágenes Diagnósticas con Delicadeza (Image Gently)* denominada *Vuelta a las bases (Back to Basis)*, y dedicada a la protección radiológica de los niños durante la realización de radiografías digitales. Os rogamos que consultéis y utilicéis los materiales, relacionados con esta nueva iniciativa, que encontrareis allí. Entre los recursos que se proporcionan, algunos traducidos al español, existe una gran cantidad de material de carácter didáctico, y también otro relacionado con proyectos de mejora continuada de la calidad, que pueden resultaros de utilidad. Existen, además, documentos orientados a los padres que se pueden distribuir entre los pacientes y sus familiares.

Como sabéis los niños son más sensibles que los adultos a la radiación y tanto la justificación de la exposición, como la optimización de la dosis de radiación, son objetivos para los que se requiere la concienciación de todos los agentes implicados en la imagen diagnóstica, entre ellos los radiofísicos que trabajan en protección radiológica en el área del radiodiagnóstico pediátrico. La SEPR, junto con otras sociedades científicas (Sociedad Española de Radiología Pediátrica, etc.) y otros organismos nacionales (Consejo de Seguridad Nuclear, Ministerio de Sanidad, etc.) lleva ya tiempo dedicando esfuerzos a mejorar la seguridad radiológica en los procedimientos pediátricos en España, y en ese sentido es un colaborador y participante activo en la Alianza para la seguridad radiológica en la imagen pediátrica.

- Os invitamos a visitar el sitio web de *Imágenes Diagnósticas con Delicadeza*: www.imagegently.org y consultar el material didáctico agregado y relacionado con la nueva campaña *Vuelta a las bases*. Las organizaciones miembros de la Alianza instan a que, cuando se realicen exploraciones radiológicas a niños, los profesionales sanitarios tengan presentes los siguientes puntos:

Una misma talla no se ajusta a todos los niños....

- Es incuestionable que la utilización de los rayos X salva vidas de niños. Pero no debemos olvidar que la imagen se obtiene utilizando radiación. Los niños son más sensibles a la radiación. Lo que hagamos tendrá consecuencias a lo largo de toda su vida. Así que, al obtener la imagen, hagámoslo optimizando lo más posible la dosis.

Más no es siempre mejor.

- Al realizar una exploración de rayos X:
 1. Medir el espesor del paciente para utilizar la técnica pediátrica adecuada.
 2. Evitar el uso de rejillas para estructuras anatómicas con un espesor inferior a 10-12 cm.
 3. Utilizar correctamente la colimación y blindajes adecuados con el fin de exponer únicamente el área de interés.
 4. Prestar atención a los indicadores de exposición y calidad de imagen.

La cada vez mayor complejidad de la tecnología digital, exige una mayor implicación de todos los profesionales que participan en procedimientos de radiodiagnóstico pediátrico, para conseguir optimizar la dosis de radiación utilizada, garantizando la calidad de la imagen diagnóstica.

Tu colaboración es esencial.

Sociedad Española de Protección Radiológica. Septiembre 2012

Publicada una nueva guía sobre campos electromagnéticos y salud

El pasado 28 de septiembre tuvo lugar la presentación de la guía *Campos Electromagnéticos y Efectos en Salud* durante una jornada celebrada en Bilbao, en el salón de actos de la Dirección de Salud de Vizcaya. La guía, esta disponible en formato electrónico en el siguiente enlace: www.osakidetza.euskadi.net/r85-cksalu10/es/contenidos/informacion/cem_salud/es_cem/campos_electromagneticos.html, ha sido elaborada por E. Alonso Fustel, R. García Vázquez y C. Onaindia Olalde, de la Subdirección de Salud Pública de Vizcaya.

El documento, de 69 páginas, contiene información actualizada sobre la materia, complementada con un resumen ejecutivo, glosario, amplio listado de referencias bibliográficas y anexos sobre legislación comunitaria. El núcleo de información está dividido en cinco apartados que incluyen: conceptos ge-

- neral, efectos biológicos y sobre la salud, legislación y límites de exposición, y las principales fuentes de campos y sus respectivos niveles de emisión. El texto se cierra con un apartado de conclusiones y recomendaciones.

- La apertura de la Jornada estuvo a cargo de la directora de Salud Pública, Dra. Mercedes Estábanez Carrillo, y el acto se cerró con la presentación de la guía por parte de la Dra. Eva Alonso Fustel, epidemióloga de la Subdirección de Sanidad local. En la Jornada intervinieron como conferenciantes invitados la Dra. Elisabeth Cardis y el Dr. Alejandro Úbeda, ambos miembros de la SEPR. Las ponencias versaron, respectivamente, sobre *Teléfonos móviles y tumores cerebrales: resultados de estudios epidemiológicos e investigaciones actuales* y *RNI ambientales y salud pública: un enfoque desde las ciencias experimentales*. Las conferencias fueron seguidas de una mesa redonda que permitió un intercambio amplio y fluido de información con la audiencia, compuesta mayoritariamente por técnicos locales de salud ambiental.

Comité de Redacción

Verificación de la Comisión Europea a minas y antiguas instalaciones de fabricación de concentrados de uranio

El Artículo 35 del Tratado de Euratom requiere que cada estado miembro de la Unión Europea debe disponer de las instalaciones necesarias a fin de controlar de modo permanente el índice de radiactividad de la atmósfera, de las aguas y del suelo, así como la observancia de las normas básicas. Establece, asimismo, que la Comisión Europea (CE) tiene derecho de acceso a estas instalaciones de control y puede verificar su funcionamiento y eficacia.

En España, se han realizado diversas verificaciones en el marco del citado Artículo 35, siendo la actual Unidad de Protección Radiológica de la Dirección General de Energía (DG ENER) de la CE la responsable de su ejecución.

Ya en 1994 se realizó una primera misión de verificación a la central nuclear de Vandellós II y, posteriormente, se ha llevado a cabo un programa de visitas que ha incluido las centrales nucleares de Trillo (2004), Cofrentes (2007), Ascó, a raíz del suceso de liberación de partículas (2008), las balsas de fosfoyesos y la zona de Cri-9 en Huelva (2009), y el área del incidente de Palomares (2010).

A partir de 2010 la CE estableció un programa de verificaciones de las minas de uranio y plantas de tratamiento de este mineral, comenzando así un recorrido por diferentes estados miembros con emplazamientos e instalaciones de este tipo con objeto de realizar una evaluación independiente de su situación en relación con la vigilancia radiológica ambiental.

Por esta razón, los pasados días 23 a 28 de septiembre, un equipo de expertos de la DG ENER de la CE se personó en nuestro país para llevar a cabo una misión de verificación sobre tres antiguas plantas de fabricación de concentrados de uranio (plantas Quercus y Elefante, en Salamanca; y Fábrica de Uranio de Andujar-FUA, en Jaén), algunas antiguas minas de uranio ubicadas en los alrededores de estas plantas (Mina Fe, D, Valdemascaño y La Virgen) y los laboratorios y estaciones del sistema de vigilancia radiológica ambiental nacional localizados en su entorno (laboratorios de Granada, Sevilla, Salamanca, Saelices el Chico y Juzbado y estaciones automáticas de de Saelices el Chico y Andújar).

La misión se inició con una reunión, hospedada por el Laboratorio de Radioquímica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, entre los expertos de la DG-TREN y las distintas partes que tienen o han tenido responsabilidades en la materia objeto de la verificación, contando con la asistencia de representantes del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio; Junta de Andalucía; Consejo de Seguridad Nuclear (CSN); Enresa; Enusa y las universidades de Granada y Sevilla.

Tras la bienvenida por parte de los anfitriones, y una breve presentación de las empresas y organismos participantes en la misión, que corrió a cargo del jefe de Área de la Subdirección General de Energía Nuclear del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, dio comienzo la reunión.

El jefe del equipo de expertos de la Comisión presentó el objetivo de la misión y el procedimiento habitual a seguir. La



subdirectora de Protección Radiológica Ambiental del Consejo de Seguridad Nuclear realizó, a continuación, una breve descripción de las instalaciones y emplazamientos objeto de la visita y estableció el marco legal en el que se encuadran, en relación con la vigilancia radiológica ambiental. Seguidamente, el jefe del Servicio de Industria, Energía y Minas de la Junta de Andalucía explicó las competencias de la Administración autonómica en la materia, y realizó una exposición sobre las antiguas minas de uranio existentes en los alrededores de la FUA. Tras esta intervención, un representante de Enresa presentó en detalle el desmantelamiento y restauraciones de la FUA y de la mina de La Virgen en Jaén, finalizados por esta empresa en los años 1995 y 2000 respectivamente, y, para concluir la reunión, un representante de Enusa presentó las antiguas actividades de minería y de procesado de mineral de uranio y posterior restauración minera llevadas a cabo por esta empresa en la zona de Ciudad Rodrigo.

A partir de ese momento el grupo de expertos se dividió en dos equipos. Un equipo visitó el Laboratorio de Radioquímica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada y el Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca, como partes integrantes de la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental (REVIRA), siendo el último también responsable de la ejecución del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental Independiente (PVRAIN) de las plantas Quercus, Elefante y explotaciones mineras de Saelices el Chico (Minas Fe y D). Continuaron su recorrido visitando el laboratorio de Enusa en Saelices el Chico (Salamanca), responsable de gran parte del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA) de la



plantas Quercus, Elefante y explotaciones mineras, y el laboratorio de Enusa en Juzbado, responsable del resto del citado PVRA y del de la FUA.

El otro equipo, visitó la FUA, la mina de La Virgen en Jaén, el Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Sevilla, como parte de la red REVIRA y responsable del PVRAIN de la FUA, la mina de Valdemascaño en Lumbrales y las minas Fe y D, en Saelices el Chico.

Ambos equipos estuvieron acompañados en todo momento por personal técnico del CSN, y a tiempo parcial por representantes de las autoridades nacionales y regionales con competencias en materia de minería y responsables de las instalaciones, emplazamientos y laboratorios objeto de la verificación, quienes respondieron a todas las preguntas y facilitaron y suministraron toda la información requerida por los representantes de la Comisión.

Finalmente, el día 28 de septiembre tuvo lugar la reunión de cierre de la misión en el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), presidida por la Consejera del CSN Rosario Velasco, donde los expertos de la Comisión Europea presentaron las conclusiones preliminares. En concreto, consideraron adecuada la vigilancia radiológica ambiental establecida en todos los emplazamientos visitados, señalando el buen equipamiento de los laboratorios y la competencia y cualificación de su personal.

Concluyendo, destacaron que todas las actividades revisadas satisfacen las exigencias establecidas en el sistema regulador nacional y que España cumple los requisitos contemplados en el Artículo 35 del Tratado Euratom en todos los aspectos incluidos en la misión de verificación, anunciando que la Comisión Europea publicará el informe detallado resultante de esta misión.

Sofía Luque, CSN

VII Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental. Tarragona 2012

Para garantizar la protección radiológica de las personas y del medio ambiente se realiza una tarea continua, silenciosa y sistemática, de medida la radiactividad ambiental en los laboratorios dedicados al control de la misma.

En este ámbito se han venido celebrando con frecuencia bienal, unos encuentros entre expertos de los cuales se han obtenido unos magníficos resultados para la mejora de la calidad en la medida de la radiactividad ambiental (Bilbao-1998, Salamanca-2001, Valencia-2004, Sevilla-2006, Jaca-2008 y Cáceres-2010).

En esta ocasión ha correspondido a la Unidad de Física Médica de la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud y el Grupo de Cromatografía Aplicaciones Medioambientales de la Facultad de Química de la Universidad Rovira i Virgili, la organización de las "VII Jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental", que se han celebrado en el Palacio de Ferias y Congresos de Tarragona entre el 30 de mayo y el 1 de junio de 2012, con la colaboración de la SEPR, el CSN, la SNE y el Ayuntamiento de Tarragona entre otros.

La inauguración de las Jornadas corrió a cargo del vicepresidente del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Antonio Coli-



no, quien destacó en su intervención, que conseguir los mejores estándares de calidad que en cada momento se puedan alcanzar, y mantener una dinámica que impulse la mejora permanente de estas actividades, fue sin duda uno de los objetivos que impulsaron en 1998 la celebración de las primeras jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental, lo que sigue siendo hoy en día uno de sus principales fines.

En esta ocasión las jornadas dedicaron un apartado especial al accidente nuclear de Fukushima que dio comienzo, tras el acto de apertura, con la presentación del subdirector de Emergencias y Protección Física del CSN, quien compartió con los asistentes las principales actuaciones llevadas a cabo desde que ocurriera el accidente en marzo de 2011, hasta los planes futuros de rehabilitación. El subdirector hizo un repaso de la gestión del accidente y sus principales consecuencias así como las medidas puestas en marcha y las lecciones aprendidas.

Tras la conferencia inaugural, el programa comenzó con una primera sesión dedicada a la vigilancia radiológica ambiental realizada en España tras el accidente, en la que se describió el dispositivo especial de vigilancia promovido por el CSN tras el accidente de Fukushima para el seguimiento del mismo a través de los valores proporcionados por las distintas redes de vigilancia radiológica ambiental de nuestro país, se aportó la experiencia de los laboratorios que componen la red nacional de vigilancia radiológica ambiental (REVIRA), tanto de la red espaciada, o de alta sensibilidad, como de la red densa durante el paso de la nube radiactiva procedente de Fukushima por el territorio nacional, explicando los problemas y retos que se tuvieron que afrontar, y finalmente se abordó la necesidad de desarrollo de un protocolo de actuación ante situaciones de



emergencia que fuera capaz de dar solución a algunos de los problemas detectados durante el seguimiento del accidente por todas las partes implicadas en la vigilancia.

La segunda y última sesión plenaria del día, se dedicó a la nueva normativa existente en relación con la vigilancia radiológica ambiental. Se abrió la mesa con una presentación acerca de la situación de la propuesta de directiva europea por la que se establecen los requisitos para la protección sanitaria de la población con respecto a las sustancias radiactivas en aguas destinadas al consumo humano, que sustituirá a la Directiva 98/83/CE, en lo relativo a dichos aspectos. A continuación se hizo una presentación acerca de la nueva Instrucción IS-33 sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural y la Guía de Seguridad del CSN 11.02 sobre control de la exposición a fuentes naturales de radiación. Seguidamente se abrió un bloque de ponencias que versaron sobre las industrias NORM, la medida de radón y los residuos NORM, concluyendo la sesión con una exposición sobre las nuevas normas de AENOR, ISO y CSN relacionadas con la materia.

En su segunda jornada, el encuentro comenzó con una sesión plenaria dedicada a los procedimientos técnicos sobre vigilancia radiológica ambiental, en la que se abordó la problemática existente acerca de la medida del índice de actividad alfa total en muestras de agua, se realizó un repaso por toda la serie de procedimientos técnicos normalizados y publicados por el CSN en su serie sobre vigilancia radiológica ambiental estableciendo y justificando la necesidad de revisión y modificación de algunos de ellos dentro de un proceso de mejora continua de la calidad, se presentó una metodología para la medida de exhalación de radón en suelos y se presentó la situación actual en materia de barreras para la protección frente a radón en construcciones.

La segunda sesión de este día versó sobre la gestión de la calidad en la que se expusieron los criterios desarrollados para la validación de procedimientos, se hizo un análisis coste-bene-

ficio de un proceso de acreditación de laboratorio, se habló sobre las auditorías de ENAC en los laboratorios de radiactividad ambiental, se describió la experiencia de los laboratorios recientemente acreditados y se expuso la visión de un auditor técnico.

El programa de ponencias finalizó el viernes 1 de junio con la quinta sesión plenaria que tocó diversos aspectos técnicos en esta área de conocimiento. Se hizo una presentación en primer lugar del nuevo laboratorio de Saelices el Chico, puesto en marcha para la experimentación en campo de la medida de distintos parámetros relacionados con la radiación natural, se detallaron los aspectos técnicos acerca de la extracción de torio en muestras sólidas, se habló acerca de la aplicación del ICP masas en la determinación de radionucleidos y se finalizó con una ponencia acerca de la utilización de detectores de bromuro de lantano para espectrometría gamma en tiempo real.

Cabe destacar las dos sesiones que se celebraron los días 30 y 31 de mayo dedicadas a las ponencias de los jóvenes investigadores del sector, que con veintidós excelentes presentaciones dejaron constancia de la gran calidad y presencia con la que cuentan estas Jornadas. Estas ponencias se encuentran disponibles para su consulta en la página web <http://dio.urv.cat/jcalidadtgn2012>.

Asimismo, como novedad este año, el día 31 de mayo se realizó una sesión paralela y gratuita para profesores y alumnos de enseñanza secundaria que consistió en una serie de charlas centradas en el ámbito de la radiactividad y un taller práctico sobre el control y la medida de la misma.

Finalmente, la clausura de las Jornadas corrió a cargo de la Presidenta de la SEPR, Marisa España y la Consejera del CSN, Rosario Velasco, quienes felicitaron a los organizadores por los buenos resultados obtenidos en estas Jornadas con la asistencia de más de ciento treinta personas y destacaron la gran calidad de los laboratorios implicados en el control de la medida de la radiactividad ambiental.

Sofía Luque, CSN.

NOTICIAS de I M U N D O

La Alianza Europea en Radiecológica

En septiembre de 2010, ocho organizaciones europeas (BfS, Alemania; CEH, Reino Unido; CIEMAT, España; IRSN, Francia; NRPA, Noruega; SCK•CEN, Bélgica; SSM, Suecia; y STUK, Finlandia) comenzaron el proceso de creación de la Alianza Europea en Radiecológica (ALLIANCE, en su acrónimo inglés), mediante la firma de un "Memorando de Entendimiento" en el que, sus miembros declaraban la intención de integrar, mediante aproximaciones sucesivas, parte de sus planes nacionales de investigación en un programa transnacional que reforzara e hiciera sostenible las capacidades e infraestructuras europeas en radiecológica. Este proceso culminó el pasado mes de agosto con la celebración de la reunión constitutiva de la Alianza, donde se aprobaron también sus estatutos y las normas de funcionamiento interno, eligiéndose a Frank Hardeman

(SCK-CEN, Bélgica) como primer presidente de la misma. La Alianza se constituye como una plataforma de investigación, acorde con las políticas relevantes de la Unión Europea, con el fin principal de coordinar y promover investigación en radiecológica en las próximas décadas. A este respecto, la Alianza contribuirá a la definición de objetivos prioritarios en dicha área de investigación, la identificación de programas de investigación y recursos a aplicar para lograr tales objetivos la evaluación de los resultados conseguidos y la promoción y comunicación de todos estos aspectos entre los diferentes agentes y partes involucradas. La plataforma está abierta a cualquier institución interesada y activa en el campo de la radiecológica, principalmente en Europa, pero también en un ámbito más global. Por el momento, las actividades de investigación se concentran en la red de excelencia STAR, (7º PM Euratom), una de cuyas prioridades es el establecimiento de una "Agenda Estratégica de Investigación", cuyo borrador se presentará y debatirá

durante el *workshop* conjunto Alliance - STAR que tendrá lugar en París los próximos días 12 y 13 de noviembre. La Alianza tiene también el objetivo de extender la implantación de la SRA más allá del periodo de duración de STAR, para lo cual una nueva propuesta de proyecto de colaboración ha sido presentada al 7º PM de Euratom en la convocatoria de noviembre de este año. Puede encontrarse información complementaria sobre la Alianza en www.er-alliance.org.

José Gutiérrez. Ciemat

Informe sobre el programa actual de actividades del Comité 4 de la (ICRP)

Entre los días 24 y 28 de septiembre de 2012 tuvo lugar en la sede del *Burnasyan Federal Medical and Biophysical Center* (BFMBC), en Moscú (Federación Rusa), la reunión anual del Comité 4 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), cuya composición actual es la siguiente:

Miembros

Jacques Lochard (presidente), Wolfgang Weiss (vicepresidente), Jean-François Lecomte (secretario), Peter Burns, Pedro Carboneras, Donald Cool, Michiaki Kai, Hua Liu, Senlin Liu, Sigurdur Magnusson (*), Gustavo Massera (*), Ann Mc Garry, Sergey Shinkarev, Jane Simmonds, Alex Tsela (*), Werner Zeller, Khammar Mrabit y Toshimitsu Homma.

Observadores

Malcolm Crick - Unscear (*), Miroslav Pinak - OIEA, Augustin Janssens - CE, Edward Lazo - NEA/CRPPH, Emilie Van Deventer - WHO, Bernard Le Guen - IRPA, Shengli Niu - ILO, Alain Rannou - ISO (*), Miroslav Voitchev - IEC (*) y Joachin Schuz - IARC (*).

(*) No participaron en esta reunión por diversos motivos.

Como recordatorio general, el Comité 4 tiene dos tareas básicas:

- Desarrollar guías para la aplicación de las recomendaciones de la ICRP.
- Servir como "punto de contacto" con las diversas organizaciones internacionales relevantes en la materia.

En esta reunión se debatió el estado actual de las diversas actividades ordinarias del Comité: Grupos de Tarea (TG) o Grupos de Trabajo (WP) y sus planes de desarrollo futuro, como se recoge en la parte final del informe. Adicionalmente se desean destacar los siguientes aspectos tratados:

- El próximo mes de junio de 2013 finaliza el periodo de actividad de los miembros actuales de los diversos Comités (no de la Comisión Principal), e ICRP ha decidido que la renovación será un proceso *abierto*, en base al interés individual que tengan los candidatos que deseen postularse para incorporarse y ha publicado en su página electrónica (www.icrp.org) las bases para conducir este proceso.
- En la reunión se produjeron diversas intervenciones de personas muy relevantes del BFMBC, incluyendo la de dos personas con una dilatadísima experiencia y carrera profesional en la antigua Unión Soviética y en la Federación Rusa en la materia (el académico Leonid Ilím Andrevich y la Dra. Guskova), quienes tuvieron una destacadísima actuación en

la respuesta al accidente de Chernóbil. Su aportación resultó sin duda entrañable y supuso una ocasión única de recibir información de primera mano de aquel accidente, sobre el que destacaron finalmente dos aspectos básicos, aún no suficientemente considerados:

- La absoluta infravaloración de los efectos psicológicos y sociales de este tipo de accidentes.
- La necesidad de seguir trabajando para conocer mejor los efectos de las bajas dosis sobre la población afectada y sobre los trabajadores que intervinieron en las actuaciones de respuesta.

- Se debatió, de nuevo, el tema de la relación ICRP con otras organizaciones relevantes (*stakeholders*), incluyendo los organismos internacionales y las autoridades reguladoras nacionales. Sigue siendo algo complejo y que se debe conseguir con el trabajo diario, para asegurar que cada organización juegue el papel que le corresponde y que no se genera confusión ante la sociedad.

- Se prosiguió el debate para la clarificación de las recomendaciones de la Publicación 103 en las diferentes situaciones de exposición (planeadas, existentes o de emergencia) y a las diversas categorías de exposición (ocupacionales, médicas o del público).

En este sentido se constató que existen apartados comunes en diversas publicaciones, que son redactados en formas no exactamente coincidentes. Se acordó que se debe evitar esto y, en particular, en los diversos documentos en curso de preparación (o programados) relativos a diversos casos de "situaciones existentes de exposición" (radón; NORM; aviación; etc.), hay que asegurar la coherencia de los textos en lo que se refiere a la consideración de algunas exposiciones como *planeadas* y algunos tipos de exposición como *ocupacionales*, con los requisitos de protección aplicables en estos casos (los requisitos a aplicar a las mujeres embarazadas son especialmente delicados, aunque no sean el único aspecto a cuidar).

- Se debatió sobre las bases éticas del sistema de protección recomendado por ICRP y el modo en que el C4 puede hacer una aportación en esta materia. Se coincidió en que sería muy conveniente que ICRP preparara un documento sencillo y de fácil comprensión sobre las bases éticas del sistema de protección radiológica que recomienda. Este documento sería la base del tratamiento del tema en sus diversas publicaciones específicas y resultaría de gran utilidad en la comunicación con el público.

El tema de la *tolerabilidad del riesgo* sigue siendo algo complejo y que debe seguir recibiendo una notable atención por parte del ICRP. Fukushima es solo otro ejemplo de que la sociedad no parece entender claramente la racionalidad que sustenta a los diversos valores de dosis que el sistema ICRP recomienda para las diversas situaciones de exposición. Este es un tema que ha tenido diversas explicaciones a lo largo de la historia de ICRP y que debe ser reconsiderado, incluyendo, de nuevo, la lógica de la existencia de *límites de dosis* en el sistema de ICRP, que parece más bien una herramienta de los reguladores, y también la actual consideración común de situaciones existentes de exposición debidas a radiactividad de origen natural o inducidas por una acción humana.

- Obviamente se dedicó una atención elevada al análisis y la discusión sobre las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima, que están siendo objeto del trabajo del TG-84 de la "Comisión Principal". En este contexto, se analizó el contenido de las recientes publicaciones del C4 (Pub. 109 y 111) y su aplicación en las actuaciones posteriores al accidente, que se han considerado de gran utilidad por los responsables japoneses. El C4 prestó una atención particular al tema de los llamados *emergency workers*, en el lenguaje de ICRP, que parece superado por la realidad y trató de estructurar su trabajo hacia el futuro en cuanto a los requisitos y criterios de protección, considerando una categorización más amplia (*emergency responders*) y más compleja de los intervinientes en la respuesta ante accidentes radiológicos. De algún modo, lo que se desarrolle en este campo podrá ser después trasladado, con las connotaciones específicas necesarias, a determinadas situaciones "existentes" de exposición, aunque ya no se trate de *emergency responders*. En base a la información más actual de que se dispone, el impacto radiológico en la población a causa de este accidente sigue siendo realmente "menor", y también lo es para el caso de los trabajadores iniciales (con alguna situación puntual "moderada") y actuales en la respuesta. Los aspectos sociales y psicológicos asociados con el accidente y la decisión sobre evacuación y realojo adoptados son aún relevantes. Por ejemplo, los representantes japoneses informaron de que unas 50 personas habían fallecido en el proceso de evacuación, esencialmente personas de elevada edad y enfermos de hospitales y otros centros de atención que fueron evacuados, y también del importante número de abortos practicados por solicitud de mujeres gestantes. Unscear está trabajando con la WHO (OMS) en un informe sobre las dosis resultantes del accidente de Fukushima (WHO ha publicado recientemente un avance parcial), utilizando la información global más reciente disponible. Su aprobación se espera en mayo de 2013 y su acceso pleno en noviembre del mismo año.
- El OIEA ha creado un comité asesor en materia de *Security* (al igual que ya existen en otras materias como seguridad, residuos, PR y transporte) y está preparando un programa de trabajo en esta materia, con el objetivo de integrar mejor los aspectos de *Safety* y de *Security*. Este es un tema largamente debatido y cuya plasmación práctica requerirá tiempo.
- El C4 identificó una serie de "logros básicos" de su trabajo en estos últimos cuatro años, para informar a la Comisión Principal y para que sirva de base al nuevo comité que inicie su andadura a mediados de 2013.
- Se ratificó la intención de que todas las publicaciones de C4 recojan siempre los siguientes aspectos.
 - a) Una estructura similar; un resumen de los contenidos y mensajes esenciales, y un glosario de términos, basado en el más general desarrollado para ICRP en su conjunto.
 - b) Las consideraciones necesarias sobre *Security*, además de las más habituales sobre *Safety* (en este aspecto convendrá avanzar de forma prudente en base a los trabajos del OIEA).
 - c) Referencias concretas (en lenguaje asequible) a los "valores" que subyacen en los contenidos de cada publicación según las bases éticas del sistema.
- La información específica resultante de la reunión, sobre las actividades en curso por parte del C4 es la siguiente:
 - TG-67 sobre "*Evaluación de las exposiciones en el espacio*" (que dirige el Comité 2).
 - El borrador del documento está en fase de revisión tras finalizar el periodo de consulta pública, y será enviado próximamente a la Comisión Principal (MC) para su aprobación y publicación.
 - TG-71 sobre "*Protección Radiológica en acciones de cribado de personas por seguridad*" (*Security Screening*).
 - El borrador del documento está en proceso de consulta pública, y tras ello se producirá una nueva versión que será circulada al C4 para comentarios. Tras la revisión final se enviará a la Comisión Principal para su aprobación y publicación.
 - TG-76 sobre "*Protección Radiológica frente a exposiciones incrementadas en procesos industriales que utilizan NORM*".
 - El C4 hizo diversos comentarios al borrador disponible y se producirá una nueva versión que será circulada de nuevo para su eventual aceptación y ulterior envío a la Comisión Principal para su adopción con vistas a ser sometida al proceso de consulta pública.
 - TG-79 sobre "*Dosis efectiva*".
 - El tema fue debatido a nivel aún preparatorio. El documento está todavía en fase inicial y no se dispone de una versión integral del mismo.
 - TG-80 sobre "*Protección Radiológica en la disposición final en formaciones geológicas de residuos radiactivos sólidos de vida media elevada*".
 - El documento está ya en edición y será la Publicación 122. A propuesta del responsable del grupo, se debatió la posibilidad de iniciar un nuevo trabajo para actualizar las bases generales de la aplicación del sistema de ICRP en la disposición final de cualquier residuo radiactivo que se contenían en las publicaciones 77 y 81, y para describir su aplicación en otras soluciones de almacenamiento (que no sean en formaciones geológicas profundas) que se aplican para diversos tipos de residuos radiactivos. El tema se propondrá a la Comisión Principal para el posible lanzamiento de un nuevo TG.
 - TG-81 sobre "*Protección Radiológica frente a la exposición al Radón*".
 - Se está generando una nueva versión del documento para tener en cuenta el resultado de la consulta pública, que será circulado al C4 para comentarios finales. Tras ello, se enviará a la Comisión Principal para su aprobación y publicación, de forma combinada con el documento en preparación con los nuevos coeficientes de dosis para las valoraciones dosimétricas.
 - TG-82 sobre "*Protección del Medio Ambiente en las diversas situaciones de exposición*" (conjunto con el C5).
 - El documento está en fase de consulta pública. Además el C4 ofreció diversos comentarios al texto existente y propuso diversos cambios en su edición, con vistas a una mejor integración del texto principal y de los anexos y apéndices. Con todo, el C4 producirá un nuevo borrador orientativo del documento, que será gestionado por los dos co-responsables del TG (ambos miembros de la

Comisión Principal) para su tratamiento y eventual envío a dicha Comisión para aprobación y edición.

- TG-83 sobre "Protección Radiológica frente a la radiación cósmica en aviación".

- El C4 ofreció diversos comentarios, en base a los que se preparará una nueva versión del documento que se circulará de nuevo a sus miembros. El objetivo es poderlo proponer a la Comisión Principal para su adopción en el otoño de 2013, de cara al proceso ulterior de consulta pública.

Además del tema ya indicado sobre un posible futuro trabajo para la disposición final de los residuos radiactivos, se plantearon otras tres posibles nuevas actividades hacia el futuro:

- Un posible TG sobre "Protección Radiológica en emplazamientos con contaminación radiactiva", con el que se cubriría el conjunto completo de situaciones de exposición existentes. Es importante, como se ha dicho, la plena coherencia entre las recomendaciones de ICRP para cada uno de los casos (radón, postaccidente, NORM, aviación y esta nueva).

- Un posible WP para explorar el tema de las implicaciones relativas entre *Safety* y *Security*, al hilo de los desarrollos en curso en el OIEA y otros foros.

- Un posible WP para recoger las necesidades de información sobre las consecuencias radiológicas de los accidentes de las instalaciones nucleares para el desarrollo de las actuaciones de protección necesarias (esencialmente en el caso de exposiciones de emergencia), y cómo dicha información se puede producir en las evaluaciones correspondientes de riesgo de las mismas (PSA, PRA, etc).

La próxima reunión del C4 será en Abu Dhabi (EAU), en octubre de 2013, y será conjunta con la Comisión Principal y el resto de los comités, así como con el segundo *Simposio Internacional del Sistema de ICRP*.

Como se indicó en uno de los primeros párrafos de esta noticia, los actuales miembros de este C4 terminarán su "mandato" a mediados de 2013 y está ya abierto el proceso para las nominaciones futuras. A través de esta noticia quiero hacer saber a todos los compañeros que he decidido no postularme para el nuevo periodo y que deseo que nuestro país pueda mantener una representación en esta organización, al menos equivalente a la de los últimos años. ¡Trabajaré para ello!

Pedro Carboneras (Miembro del C4. ICRP)



Proyecto "Estudio de radioprotectores de origen alimentario para pacientes y trabajadores en procedimientos de tratamiento o diagnóstico médico con radiaciones"

En junio de este año 2012 finalizó el proyecto *Estudio de radioprotectores de origen alimentario para pacientes y traba-*

EU-NORM I

Se ha celebrado en Tallin (Estonia), entre los días 5 y 8 de junio, el *Simposio Internacional EU-NORM I*. Dicho simposio se planteó con el ánimo de discutir los desafíos que suponen las nuevas Normas Básicas de Seguridad en el campo de los materiales e industrias NORM (acrónimo inglés que significa materiales radiactivos de procedencia natural).

Si bien se venían celebrando con regularidad congresos a nivel europeo que trataban la problemática desde 1997, un año después de la publicación de las Normas Básicas de Seguridad, ya en 2004 se empezaron a celebrar de forma conjunta con el OIEA, comenzando la serie de congresos NORM (cuya séptima edición se celebrará en 2013 en Beijing, China). En 2010 dichos congresos empezaron a celebrarse fuera de Europa (Marruecos, India y, próximamente, China) pero ahora, coincidiendo también con una nueva edición de las NBS, se ha recuperado la idea de que estos congresos constituyan un foro a nivel europeo para las comunidades científicas, técnicas y reguladoras. Junto con la Red Europea Alara NORM (EAN-NORM www.ean-norm.net) constituirá un marco de intercambio y comunicación entre los profesionales que tratan la problemática.

Entre otras charlas, la conferencia contó con la presencia de Stéphane Calpéna, de la Comisión Europea que presentó el estado actual de la regulación al respecto. Rafael García-Tenorio presentó por su parte un protocolo para la evaluación radiológica de las industrias NORM en España mientras que J.F. Lecomte dio un repaso a los trabajos que la ICRP está realizando relacionados con las radiaciones naturales y en concreto sobre los NORM. Otras presentaciones se enfocaron en la problemática de las descargas, el transporte o los materiales de construcción.

Un tema en el que las nuevas NBS hacen especial hincapié es la protección del medioambiente, por lo que se prestó un interés especial en las posibles implicaciones de este planteamiento en las industrias NORM. Por supuesto la protección de los trabajadores fue uno de los tópicos tratados en la conferencia. Otros participantes españoles fueron Juan P. Bolívar, quien trató la inmovilización de residuos minerales mediante el uso de cemento sulfatopolimérico y Nuria Casacuberta que mostró el flujo de los radionucleidos en una planta química y las exposiciones a la radiación que resultan de ellos.

En 2014 se celebrará una nueva conferencia EU-NORM en Liubliana (Eslovenia).

Comité de Redacción

adores en procedimientos de tratamiento o diagnóstico médico con radiaciones, dirigido desde la Universidad de Valencia, en el Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública; el Hospital Universitario y Politécnico la Fe de Valencia, en el Servicio de Protección Radiológica; y desde la Universidad Politécnica de Valencia, en el Departamento de Energía Química y Nuclear. El proyecto se ha desarrollado durante tres años mediante la financiación por parte de Consejo de Seguridad Nuclear.

Los objetivos principales del estudio consistían en la evaluación *in vitro* de la eficacia radioprotectora de diferentes compuestos de origen alimentario para mitigar los efectos adversos secundarios de las radiaciones ionizantes en pacientes y trabajadores expuestos a radiación y la elaboración de un libro

divulgativo sobre radioprotectores de origen alimentario. Este proyecto se asentaba en la experiencia anterior con la que contaba el grupo en el análisis de la capacidad radioprotectora *in vitro* de una sustancia elaborada por las abejas, el própolis. Dentro del objetivo principal del proyecto se incluyó la evaluación de la genotoxicidad de los compuestos planteados como premisa fundamental para aceptar su evaluación posterior como radioprotector así como la optimización y aplicación de la extracción y cuantificación de los radioprotectores o sus metabolitos en sangre y orina.

En la primera parte del proyecto se decidió cuáles iban a ser los principios activos de origen alimentario que se evaluarían como radioprotectores. De entre los compuestos iniciales planteados, el estudio se centró finalmente en dos, el trans-resveratrol, principal polifenol de la uva y la curcumina, principio activo de la cúrcuma, ambos con reconocida capacidad antioxidante, antiinflamatoria y antitumoral. A partir del estudio de la capacidad radioprotectora *in vitro* mediante el análisis de la disminución de la frecuencia de aberraciones cromosómicas en linfocitos humanos de sangre periférica, concretamente de cromosomas dicéntricos, se observó que para ambos compuestos se obtuvo radioprotección. Concretamente, en el caso del trans-resveratrol, se alcanzó una reducción en la frecuencia de cromosomas dicéntricos de hasta un 47% y, en el caso de la curcumina, de hasta un 52,7%. Las concentraciones a las que se alcanzaron estos niveles máximos de reducción del daño cromosómico radioinducido se habían confirmado previamente como no genotóxicas.

En la segunda parte del proyecto se optimizó la extracción y cuantificación del trans-resveratrol y curcumina en muestras de orina y sangre humana. Este procedimiento se realizó mediante técnicas de extracción sólido-líquido y posterior cuantificación mediante un equipo de cromatografía líquida de espectrometría de masas-masas y de espectrometría de masas con ionización y desorción por láser de nitrógeno asistida por matriz y tiempo de vuelo. Los datos obtenidos de este estudio, corroborados por

- la bibliografía existente, mostraron una elevada variabilidad interindividual en los niveles sanguíneos y urinarios de ambos compuestos debido a su alto grado de metabolización en el organismo humano y a las diferencias a nivel de absorción y metabolismo de estas moléculas entre diferentes individuos.

- Por este motivo, se replanteó el estudio de la capacidad radioprotectora *in vivo* del trans-resveratrol y la curcumina a nivel tópico y no oral, concretamente para la prevención de la radiodermatitis. Este nuevo objetivo del proyecto se presentó en la Jornada de I+D en Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, celebrada en marzo de 2012 por el CSN.

- Para este nuevo propósito, se formularon dos cremas, en cuya composición estuvieran de forma separada los dos compuestos y a distintas concentraciones. Previa aceptación por el Comité Ético de Bienestar Animal del Hospital Universitario y Politécnico la Fe, el modelo de radiodermatitis fue inducido en ratas *Wistar*, irradiando solamente las extremidades posteriores del mismo animal (una pata control vs pata con crema radioprotectora), a las cuales se les aplicó previamente las cremas objeto de estudio. Después de una dosis absorbida establecida en 18 Gy los resultados dermatológicos preliminares demuestran que en las patas tratadas con una crema control sin principio activo, la lesión por radiodermatitis se originó, mientras que en aquellas patas del mismo animal a las cuales se les aplicó la crema que contenía los compuestos a estudiar se observó una evolución favorable en la recuperación dermatológica.

- Finalmente, el último objetivo del proyecto, la realización del libro, consta de cinco capítulos, dos de ellos generales (radiación y radioprotectores) y en los otros se recoge la información desglosada alfabéticamente, de acuerdo a la clasificación de los compuestos radioprotectores en principios naturales, organismos naturales y preparados o formulaciones naturales.

Alegría Montoro, Natividad Sebastià, Juan Ignacio Villaescusa y Jose Miguel Soriano. Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia

PUBLICACIONES

Publicaciones OIEA

Radiation Protection and NORM residue Management in the Titanium Dioxide and Related Industries



Recopilación con información detallada en cuanto a los procesos y materiales involucrados en la industria de dióxido de titanio y aquellas relacionadas, así como en las consideraciones radiológicas que los organismos reguladores necesitan tener en cuenta cuando determinan la naturaleza y el alcance de las medidas de protección radiológica consideradas. Esta información servirá como base para la creación de un entendimiento común

entre los organismos reguladores y los grupos interesados, tales como los operadores, los trabajadores y sus representantes y la

- salud, seguridad y profesionales del medio ambiente — de los aspectos radiológicos de los distintos procesos y las formas en que estos aspectos pueden tratarse adecuada y eficazmente.

- Colección de normas de seguridad del OIEA SRS N° 76
ISBN 978-92-0-132110-7

- Disponible en: www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1568_web.pdf

12th Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA12). Proceedings of a Conference held in Buenos Aires, Argentina, 12-24 Octubre, 2008.

- Publicación del XII Congreso de la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA), organizado por la Sociedad Argentina de Protección (SAR) y copatrocinado por la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), la Organización Mundial de la salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). El congreso reunió a una amplia gama de



profesionales de todo el mundo para discutir la promoción, mejora y fortalecimiento de la protección contra la radiación en todo el mundo. Para alcanzar estos objetivos IRPA12 se organizó en tres ámbitos, que fueron divididos en 10 áreas científicas, incluyendo un total de 38 sesiones. Las conclusiones más relevantes de estas sesiones y los resultados de las discusiones de la mesa redonda se presentan en esta publicación.

ISBN:987-92-0-105410-4

Disponible en: www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1460_web.pdf

Lessons Learned from the Response to Radiation Emergencies (1945-2010)



La publicación abarca tanto las emergencias nucleares como las emergencias radiológicas. También considera las lecciones aprendidas de otras situaciones de emergencia. Está dirigida a autoridades nacionales y organismos reguladores, planificadores de emergencia y a un amplio espectro de especialistas tanto físicos, técnicos y médicos, así como personal responsable de la protección radiológica.

Disponible en: www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-Lessons%20learned%202012_web.pdf

Publicaciones CSN

Elaboración, Contenido y Formato de los Planes de Protección Física de las Instalaciones y los Materiales Nucleares



El objeto de la presente guía es describir el formato y contenido de los planes de protección física de las instalaciones nucleares y de los materiales nucleares. La guía es aplicable a la elaboración de planes de protección física de instalaciones nucleares, si los daños o interferencias causados por actos malintencionados pudieran provocar, directa o indirectamente, la

emisión de cantidades importantes de radiación o materiales radiactivos al medio ambiente.

Por otra parte, la guía establece una metodología extensa y general que se recomienda sea aplicada por los titulares considerando los blancos existentes en sus instalaciones, tanto materiales como estructuras, así como las consecuencias radiológicas que podrían derivarse de la pérdida, destrucción o

- inhibición de la función a desempeñar por dichos blancos por parte de un potencial adversario. Así, habrá instalaciones para las que dicha metodología será aplicable en todo o solo en parte, en función de dichas consecuencias.

Consejo de Seguridad Nuclear: GS08.02. 2012

Disponible en: www.csn.es/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=141&Itemid=6&lang=es

Publicaciones NCRP

Report N°. 173 - Investigation of Radiological Incidents (2012)



El propósito de este informe es servir de guía para la investigación de los incidentes radiológicos que pueden ocurrir en las instalaciones donde operan equipos generadores de radiación, en las que se manipula o se almacena material radiactivo o durante el transporte del mismo.

El informe proporciona información práctica para las personas que tienen la responsabilidad de llevar a cabo o

supervisar las investigaciones que puedan llevarse a cabo tras un incidente radiológico.

Aborda aspectos como el nombramiento del equipo de investigación, el análisis de la respuesta inicial que el incidente pueda haber desencadenado, procedimientos de recopilación de datos, de entrevistas a testigos o implicados....

NCRP Publication 173. 2012

Publicaciones ICRP

ICRP-118. Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context



Este informe revisa los efectos tempranos y tardíos de la radiación en tejidos y órganos. Proporciona estimaciones actualizadas de dosis "prácticas" de umbral de daño tisular definidas en el nivel de 1% de incidencia.

Se presta especial atención a las enfermedades del aparato circulatorio y cataratas debido a la evidencia reciente de una incidencia, mayor de lo esperada, de lesiones tras exposiciones a bajas dosis, por lo que las dosis umbrales parecen ser menores que las consideradas hasta la fecha.

Se describen varios agentes modificadores de la respuesta biológica de los tejidos ante la radiación, que ayudan a mitigar los efectos tardíos de la misma: antioxidantes, captadores de radicales, fármacos anti-inflamatorios, inhibidores de enzimas, citoquinas... Del mismo modo, se revisa el efecto del fraccionamiento de la dosis frente a la administración de dosis únicas.

ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2)

ISBN: 978-0-7020-5227-9

Publicaciones HPA

Environmental Radioactivity Surveillance Programme: Results for 2011 including monitoring following the Fukushima Dai-ichi accident in Japan. HPA-CRCE-041

Informe número 41 de la serie CRCE (Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards) de la HPA (Health Protection Agency)



Se presentan los datos del Programa de Vigilancia Ambiental de la Radiactividad en el Reino Unido correspondientes a 2011. Las medidas provienen de muestras de polvo y leche recogidas rutinariamente en puntos seleccionados del Reino Unido sobre las cuales se miden las concentraciones de actividad de distintos radionucleidos. En general, los radionúclidos detectados

proceden de las pruebas armamentísticas nucleares llevadas a cabo en la atmósfera en años anteriores y del accidente del reactor nuclear de Chernobyl en Ucrania en 1986. En marzo de 2011, el accidente de la planta de Fukushima Dai-ichi dio lugar a niveles muy bajos de radiactividad en el medio ambiente en el Reino Unido. Las mediciones llevadas a cabo por la Agencia de Protección de la Salud a raíz del accidente se incluyen en este informe.

ISBN: 978-0-85951-725-6

Disponible de forma gratuita en: www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1317136255355

The Radiation Protection Implications of the Use of (CBCT) in Dentistry - What You Need To Know



Breve guía informativa sobre los riesgos asociados al uso del CBCT (Cone Beam CT) en estudios de imagen dentales. Elaborada por un grupo de trabajo de la División de Protección Radiológica de la HPA, viene a dar respuesta a la cada vez mayor implantación de este tipo de estudios en el Reino Unido y, en general, en el mundo desarrollado. El uso de estas

técnicas de imagen ha dejado obsoletas las antiguas guías de Radioprotección elaboradas para instalaciones convencionales de radiología dental.

Este manual repasa los riesgos y dosis asociados al CBCT dental, la tecnología asociada, sus indicaciones, el control de calidad, la Protección Radiológica y la formación necesaria para la operación con estos equipos.

Disponible de forma gratuita: www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1246433630996

CONVOCATORIAS 2012 - 2013

"más información en www.sepr.es"

NOVIEMBRE

• Jornada técnica SEPR-Ciemat: Protección Radiológica en Industrias NORM

El día 30 de noviembre de 2012 a las 09:30 en Ciemat. Asociada al curso del mismo título.

Más información: www.sepr.es y <http://www.ciemat.es>

DICIEMBRE

• International Workshop on Radiation Risk Communication in Pediatric Imaging

El día 2 de diciembre de 2012 en Bonn (Alemania), previo a la "International Conference on Radiation Protection in Medicine".

Más información: www.who.int/ionizing_radiation/about/med_exposure/en/index.html

• International Conference on Radiation Protection in Medicine

Del 3 al 7 de diciembre de 2012 en Bonn (Alemania).

Más información: www-pub.iaea.org/iaea meetings/41578/International-Conference-on-Radiation-Protection-in-Medicine-Setting-the-Scene-for-the-Next-Decade

ENERO

• 2nd International Radiation Proteomics Workshop

Del 30 al 31 de enero de 2013 en Munich (Alemania).

Más información: www.helmholtz-muenchen.de/radiation-proteomics

FEBRERO

• EURADOS Annual Meeting 2013 - AM2013

Del 4 al 8 de febrero de 2013 en Barcelona.

Más información: www.eurados.org/en/Events/Annual_meetings

• 2nd International Conference on Po and Radioactive Pb Isotopes

Del 10 al 13 de febrero de 2013 en Mangalagangothri (India).

Más información: <http://inco.mangaloreuniversity.ac.in/>