

RADIOPROTECCIÓN

LA REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Nº 78 • ABRIL 2014

edición digital



¡YA SOMOS DIGITALES!

- ▶ ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA DOSIMETRÍA PERSONAL DE TRABAJADORES EXPUESTOS
- ▶ ALTERNATIVAS DE GESTIÓN PARA LOS RESIDUOS NORM
- ▶ IMPLICACIONES DE IMPUREZAS DE EU Y GD EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE [¹⁵³Sr] QUADRAMET
- ▶ IMPLEMENTACIÓN DE DOSIMETRÍA EN VIVO

La página web de la SEPR

"Bienvenidos a la nueva era digital". Así han comenzado en la última década innumerables titulares anunciándonos la introducción de las nuevas tecnologías, relacionadas con la comunicación, en distintos ámbitos. No extraña a nadie que dicho cambio alcanzase de un modo definitivo a la SEPR, llegando a su punto álgido con lo que representa este número digital de nuestra querida revista **RADIOPROTECCIÓN**, que ha sido hasta ahora, y seguirá siendo en el futuro, el mecanismo principal de comunicación entre la Sociedad y sus socios.

Ya hemos anunciado en los últimos números varias modificaciones en nuestra web, muchos de ellos encaminados a facilitar este cambio, consiguiendo mayor espacio en el servidor web, alterando el modo en que se presentaban ciertos contenidos, modificando la presentación de la revista para soportar el formato flash... Todo ello va a poder utilizarse en este nuevo formato digital de modo que se alcance una integración completa.

Sirva como botón de muestra la introducción, ya hace unos años, de la capacidad de que los contenidos de la web se publicaran de un modo automático en las redes sociales más conocidas (Facebook, Twitter y LinkedIn), mejorado hace pocos meses con la incorporación de Pedro Ruiz en las funciones de gestor de dichas redes, a quien hay que reconocerle una enorme implicación en la mejora de su funcionamiento. Es importante dar ahora a conocer a los socios el alcance que el uso de estas tecnologías está suponiendo.

Solo como ejemplo: 5000 personas siguen las actividades del usuario de la SEPR de Facebook (mencionar que dicho número es el límite permitido por esta red social), más de 800 personas, que no son necesariamente las mismas, reciben las modificaciones de la página de la SEPR de Facebook, más de 300 contactos se encuentran conectados al usuario de la SEPR de LinkedIn y más de 100 usuarios reciben los *tweets* publicados por la SEPR. Es necesario comparar estos números con los aproximadamente 700 socios que la SEPR posee. Gran parte de los usuarios conectados a estas redes sociales proceden de Sudamérica, y muchos de ellos pertenecen al sector sanitario o universitario de un modo u otro. Ha sido imprescindible modificar algunas funcionalidades de la web, así como será necesario

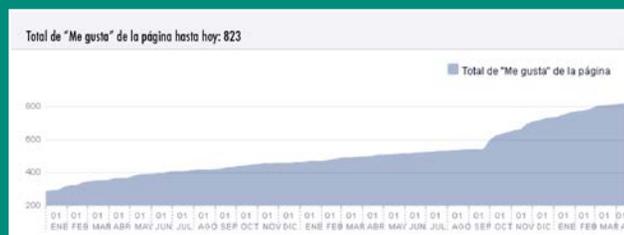


Figura 1. Número de seguidores de la página de la SEPR en Facebook.

replantearse la relación de la SEPR con dichos países, sus respectivas sociedades de PR y como estas redes sociales pueden colaborar mejorando los lazos que nos unen.

Además se han comenzado a incluir videos realizados por socios de la SEPR que se están utilizando en distintos cursos formativos. Para ver dichos videos debe accederse a la web de la SEPR, dentro del apartado "videos", tal y como se muestra en el video incrustado en esta reseña.



Video 1. Video explicativo de cómo acceder a los videos de la SEPR.

A pesar de que dicha sección aún se encuentra en desarrollo ya existen unos 25 videos que estarán a disposición de los socios en breve.



Video 2. Muestra de videos en preparación para la web de la SEPR.

El nuevo formato de la revista además permitirá que todas las novedades que se realicen en la web puedan presentarse de un modo interactivo, más útil para los socios, tal y como hemos pretendido mostrar en esta sección.

Evidentemente, como siempre, la mejora del sistema depende en gran medida de la colaboración de todos los socios y, como siempre también, aprovechamos estas líneas para recordar que todas las aportaciones y sugerencias constructivas son siempre bienvenidas y agradecidas.

RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Directora
Ángeles Sánchez

Coordinador
Borja Bravo

Comité de Redacción

Cristina Garrido
Rosa Gilarranz
José Gutiérrez
Sofía Luque
Alegria Montoro
Juan Carlos Mora
Matilde Pelegrí
Javier Pifarré
José Ribera
Beatriz Robles
Borja Rosell
Pedro Ruiz
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

Capitán Haya, 56. 7º D - 28020 Madrid

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

Correo electrónico: info@gruposenda.net

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.



EDICIÓN Abril 2014

Revista digital disponible en: <http://www.sepr.es>

Disponible sólo para socios los números del año actual, los números anteriores disponibles para el público en general.

RADIOPROTECCIÓN se publica con una frecuencia trimestral.

S U M A R I O

• Editorial	5
• Reportaje	6
RADIOPROTECCIÓN. Ya somos digitales	
• Actividades SEPR 2014	8
• Noticias	10
- de la SEPR	10
- de España	15
- del Mundo	41
• Colaboraciones	18
• Análisis estadístico de la dosimetría personal de trabajadores expuestos	
<i>F.J. Sánchez Muñoz, L. Alejo Luque, A. Serrada Hierro e I. Mas Muñoz</i>	18
• Alternativas de gestión para los residuos NORM	
<i>J.C. Mora y B. Robles</i>	22
• Implicaciones de impurezas de Eu y Gd en la gestión de residuos de [¹⁵³ Sm]Quadramet	
<i>M.A. Rossell, J. Carbajo, M. Jurado, R. Sánchez, J.J. Peña y J.I. Rayo</i>	28
• Implementación de dosimetría en vivo	
<i>Ingrid Hurtado, Gabriel Zelada y Marcia García</i>	35
• Proyectos I+D	44
• Publicaciones	45
• Convocatorias y Cursos	47

La SEPR permite la reproducción en otros medios de los resúmenes de los artículos publicados en RADIOPROTECCIÓN, siempre que se cite al principio del texto del resumen reproducido su procedencia y se adjunte un enlace a la portada del sitio web www.sepr.es, así como también el nombre del autor y la fecha de publicación. Queda prohibida cualquier reproducción o copia, distribución o publicación, de cualquier clase del contenido de la información publicada en la revista sin autorización previa y por escrito de la SEPR. La reproducción, copia, distribución, transformación, puesta a disposición del público, y cualquier otra actividad que se pueda realizar con la información contenida en la revista, así como con su diseño y la selección y forma de presentación de los materiales incluidos en la misma cualquiera que fuera su finalidad y el medio utilizado para ello, sin la autorización expresa de la SEPR o de su legítimo autor, quedan prohibidos.



La Sociedad Argentina de Radioprotección (SAR) con el auspicio de la Federación de Sociedades de Radioprotección de América Latina y el Caribe (FRALC) los invita a participar del X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica que se llevará a cabo en Buenos Aires los días 12 al 17 de abril de 2015 en conjunto con el VI Congreso Iberoamericano de las Sociedades de Protección Radiológica.

RECEPCIÓN DE RESÚMENES:

hasta 31 de octubre de 2014

ACEPTACIÓN DE RESÚMENES:

hasta el 24 de noviembre de 2014

RECEPCIÓN DE LOS TRABAJOS FINALES:

hasta 23 de enero de 2015

SOCIEDAD ARGENTINA DE RADIOPROTECCION

Av. del Libertador 8250 Of. 122 (1429)

Buenos Aires – REPUBLICA ARGENTINA

Tel/Fax: 54-11- 4704-1472

Horario de Atención: Lunes a Viernes de 9:00 a 13:00 hs.

radioproteccionsar@gmail.com • www.radioproteccionsar.org.ar

COMITÉ ORGANIZADOR

X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica

Presidente Honorario: Abel J. González

Presidente: Ana M. Bomben

Vicepresidente: Josito de Aquino (Brasil)

Secretaría General: Beatriz Gregori

Presidente del Comité: Daniela Álvarez

VI Congreso Iberoamericano de Sociedades de Protección Radiológica

Presidente: Eduardo Gallego

TEMAS CIENTÍFICOS

- Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.
- Dosimetría e instrumentación.
- Protección radiológica de pacientes.
- Protección radiológica de trabajadores.
- Protección radiológica del ambiente y el público.
- Emergencias radiológicas y nucleares.
- Gestión de residuos radiactivos.
- Transporte de material radiactivo.
- Seguridad nuclear.
- Seguridad radiológica y protección física de fuentes.
- Radiación natural, NORM y TENORM.
- Radiación no ionizante.
- Políticas, criterios y métodos de protección radiológica.
- Cultura de la protección radiológica y percepción del riesgo.
- Educación y entrenamiento.
- Comunicación con la sociedad.

UBICACIÓN DEL CONGRESO

El Congreso tendrá lugar en un Centro de Convenciones ubicado en el vecindario más moderno de Buenos Aires, que cuenta con numerosas atracciones, hoteles, bares, restaurantes y una maravillosa vista del Río de la Plata.



Editorial

La Revista de la Sociedad Española de Protección radiológica incluye artículos (en español) científicos originales, de revisión y monográficos, entrevistas, secciones de información y noticias relacionadas con el campo de la Protección Radiológica a nivel nacional e internacional, incluyendo radiaciones ionizantes así como no ionizantes. Contempla aquellos campos relacionados con la investigación, con el desarrollo de nuevas estrategias y tecnologías diseñadas para la protección radiológica en el campo médico, medioambiental e industrial. Las líneas de investigación incluidas son: dosimetría física radioecología, radiactividad ambiental, efectos biológicos de la radiación ionizante *in vitro* e *in vivo*, protección del paciente y trabajador expuesto.

Como ya se anunció en el número anterior, RADIOPROTECCIÓN se ha convertido en una revista electrónica. Este número 78 es el primero de la nueva etapa, en la que todos los que trabajan y colaboran para la revista de la Sociedad Española de Protección Radiológica han puesto toda su ilusión y esfuerzo. Seguro que los socios y lectores de la revista encontrarán el cambio estimulante, y que los inconvenientes son superados con creces por las grandes ventajas que el formato digital ofrece. En todo caso, se agradecerán las sugerencias para seguir mejorando y haciendo que la revista, además de ser el nexo de unión entre los socios de la SEPR, se convierta en el mejor medio especializado en el campo de la protección radiológica en lengua española.

La entrevista, en formato reportaje en este número, está dedicada al propio Comité de Redacción de la revista, gracias a cuya dedicación podemos disfrutar de la misma número a número, y ya van 78. Los artículos científicos están centrados en dos áreas principales: la dosimetría y la gestión de residuos. Sobre el primer tema se tiene un artículo dedicado a la implementación de la dosimetría *in vivo* y otro relativo al análisis estadístico de la dosimetría personal de los trabajadores. En cuanto a la gestión de residuos radiactivos, se abordan dos problemáticas tremendamente diferentes, y que podríamos considerar en los extremos del rango: por un lado los residuos derivados de la aplicación de radiofármacos especializados en aplicaciones terapéuticas en medicina nuclear, y en el otro extremo la gestión alternativa de residuos NORM.

En el capítulo de actividades que se reflejan en este número, hay que destacar tres jornadas. La primera se celebró en enero en Enresa, sobre el "Transporte de material radiactivo y nuclear",

cuyos contenidos están a disposición de los socios a través de la página web, siendo ya la segunda jornada que se organiza en la SEPR sobre la temática, cuyo interés sigue plenamente vigente. A finales del mismo mes se celebró en el H.U. Gregorio Marañón la Jornada sobre aplicación del criterio ALARA a las exposiciones de los pacientes en las exploraciones médicas con radiaciones ionizantes, en el marco de la colaboración de dicho hospital con Unesa; en ella se abordaron cuestiones como la optimización de dosis en las exploraciones de Medicina Nuclear, la reducción de dosis en las exploraciones de Radiodiagnóstico y la cultura de seguridad radiológica e implicación de las partes interesadas. La tercera tuvo lugar en el H.U. La Fe de Valencia a finales de febrero, tratándose de una Jornada Internacional de la Red de Excelencia Europea en Biodosimetría (RENEB), en la que se abordó la cuestión de la preparación en Europa para un accidente radiológico a gran escala, ofreciendo una perspectiva general de los métodos y estrategias para estimar las dosis recibidas por la población en el caso de un accidente radiológico a gran escala. En ella participaron miembros de la OMS y el OIEA, entre otros.

Pero no quisiera terminar sin resaltar la satisfacción que en la SEPR tenemos por las distinciones que dos socios destacados han recibido recientemente: se trata del doctor Rafael Herranz Crespo y el profesor Eliseo Vañó Caruana (esta última producida al cierre del número).

Rafael Herranz ha recibido del Ministerio del Interior la Medalla de la Protección Civil, como reconocimiento a la labor del Servicio que dirige en el Hospital Gregorio Marañón de Madrid, como centro de referencia en el tratamiento de personas irradiadas y por la

labor formativa realizada para el personal de intervención en caso de producirse un suceso nuclear o radiactivo. Rafael ha sido siempre consciente de la necesidad de estar preparados para las emergencias radiológicas, y su trayectoria pionera en el país merece todos los reconocimientos, por lo que quienes le apreciamos nos alegramos sinceramente con él por esta Medalla tan merecida.

Eliseo Vañó ha recibido la Cruz de Honor de la Sanidad Madrileña, en la categoría de Plata, otorgada por el Consejero de Sanidad de la Comunidad de Madrid, por su destacada trayectoria en el ámbito de la Radiofísica Hospitalaria, su brillante ejercicio como Jefe de Servicio de Física Médica del Hospital Clínico "San Carlos" desde 1984 y como Catedrático de Física Médica del Departamento de Radiología de la Universidad Complutense. Además de sus numerosas publicaciones científicas, Eliseo Vañó desempeña una importante labor en los principales comités internacionales, como presidente del Grupo de Trabajo de Exposiciones Médicas de Euratom y del Comité 3 de la ICRP. Eliseo siempre está dispuesto para colaborar en las actividades de la SEPR y transmitirnos sus lecciones, pero su cercanía y humildad no debe impedirnos reconocer en él a una de las personalidades que más están haciendo en el mundo por la protección radiológica en el ámbito médico.

Creo que realmente represento a todos y cada uno de los socios de la SEPR al expresar lo orgullosos que estamos de tener compañeros y maestros de la altura de Rafael y Eliseo, a los que enviamos desde RADIOPROTECCIÓN nuestra más sincera y afectuosa felicitación.

EDUARDO GALLEGO
Presidente de la SEPR



Secretaría Técnica

C/ Capitán Haya, 56 - 7º D
28020 Madrid
Tel.: 91 373 47 50
Fax: 91 316 91 77
Correo electrónico: secretaria@sepr.es

Junta Directiva

Presidente: **Eduardo Gallego**
Vicepresidente: **Mercè Ginjaume**
Secretaría General: **Beatriz Robles**
Tesorera: **Elena Alcaide**
Vocales: **Antonio Gil, Francisco Javier Rosales, Borja Rosell, Carmen Rueda, Rosario Salas y Waldo Sanjuanbenito**

Comisión de Actividades Científicas

Presidenta: **Mercè Ginjaume**
Secretaría: **Sofía Luque**
Vocales: **Ángeles Sánchez, Pedro Ruiz, Rosa Gilarranz, Margarita Herranz, Alejandro Ubeda, Pío Carmena, Carlos Enriquez, Carmen Rueda y Esteban Velasco**

Comisión de Publicaciones

Presidenta: **Beatriz Robles**
Secretaría: **Ángeles Sánchez**
Vocales: **Juan Carlos Mora, José Gutiérrez y Pedro Ruiz**

Comisión de Asuntos Económicos y Financieros

Presidenta: **Elena Alcáide**
Vocales: **Alejandro Ubeda, Eduardo Gallego, Rosario Salas, Pío Carmena, Beatriz Robles y Carmen Vallejo**

Comisión de Asuntos Institucionales

Presidente: **Eduardo Gallego**
Secretaría: **Mercè Ginjaume**
Vocales: **Leopoldo Arranz, Manuel Fernández, Ignacio Hernando, David Cancio, José Gutiérrez, Xavier Ortega, Juan José Peña, Eduardo Sollet, Pedro Carboneras, Manuel Rodríguez, Rafael Ruiz Cruces, Pío Carmena y Marisa España**

¡Ya somos digitales!

RADIOPROTECCIÓN: Una nueva etapa



A partir de este número
la revista **RADIOPROTECCIÓN**
se edita únicamente en formato digital

La Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) ha decidido publicar su revista **RADIOPROTECCIÓN** en formato digital puesto que, hoy en día, Internet es el principal medio al que se acude para obtener información.

La Revista

RADIOPROTECCIÓN es el órgano oficial de expresión que la Sociedad Española de Protección Radiológica publica con una frecuencia trimestral. Incluye artículos científicos originales, de revisión y monográficos, entrevistas, secciones de información y noticias relacionadas con el campo de la Protección Radiológica.

RADIOPROTECCIÓN cumplió 20 años en 2013 y se ha convertido en un referente internacional en el mundo de la Protección Radiológica.

Los Comités

Cuando un artículo científico llega a la SEPR ésta es enviada a un **Comité Científico** compuesto por destacados profesionales expertos en Protección Radiológica que la analizan y determinan si cuenta con los criterios de calidad necesarios para ser publicada.

Una vez aceptado, es el **Comité de Redacción** el que se encarga de confirmarlo y maquetarlo para ser publicado. Este comité, además, se encarga de recopilar, seleccionar, redactar, maquetar y publicar cuanto información relacionada con la Protección Radiológica sea de interés para nuestros socios. Así, se publican noticias tanto nacionales como internacionales, proyectos de I+D, cursos, conferencias, reuniones, libros, etc.



Nueva Era

Contar con una sólida presencia en medios de comunicación digitales fomenta un mejor posicionamiento de la revista en los buscadores.

El número y extensión de las informaciones que se publican en las revistas impresas vienen determinados por su propio formato físico, por el número de páginas, por el de noticias y reportajes, etc. En cambio, en la versión digital interactiva no existe esa limitación, por lo que hay un menor riesgo de que una información quede fuera por falta de espacio.

La versión digital contiene todos los formatos digitales estándar de la publicidad *on line*, puede albergar formatos nuevos y propuestos por el cliente, incluso la inserción de vídeos y cuñas de radio. Las posibilidades de impacto de una revista en versión digital supera ampliamente a la versión tradicional impresa, además de poder ser cuantificada y tener un menor coste de publicación.

RADIOPROTECCIÓN digital se produce bajo una versión *Flash* para su visualización tanto en PC como para MAC. La revista también puede ser visualizada en los dispositivos móviles más utilizados como iPad, iPhone y dispositivos con sistema Android. No es necesario descargar software adicional para acceder a los contenidos.

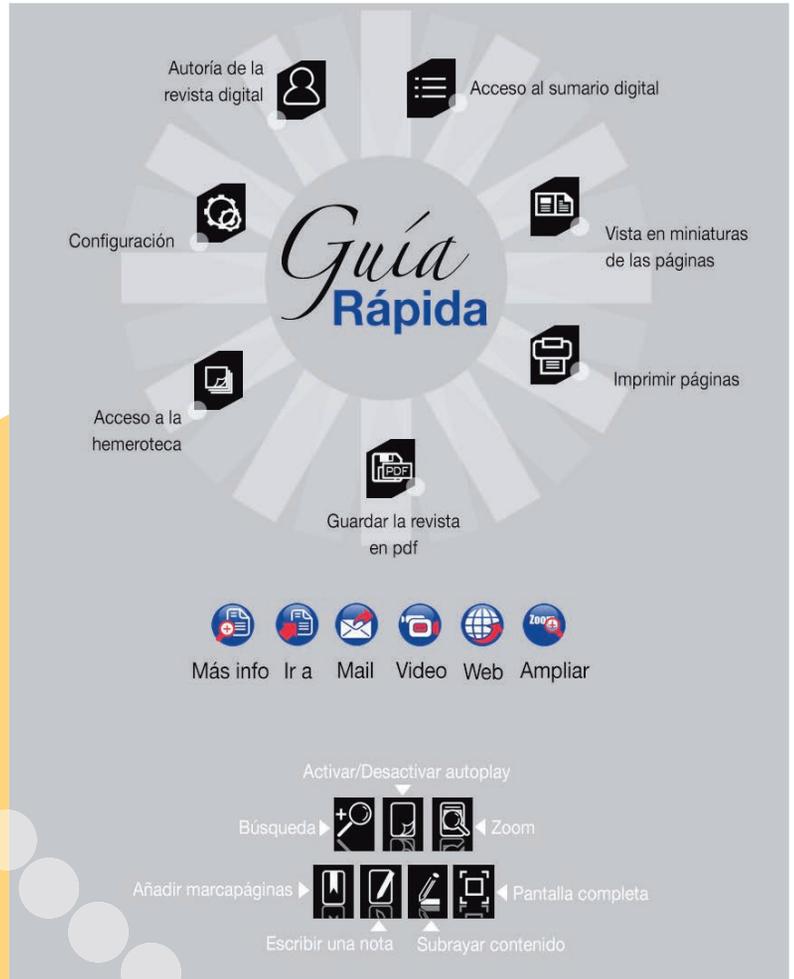
Contenidos multimedia y visualización interactiva

La revista digital puede albergar distintos medios digitales como archivos de audio y vídeo, imágenes, vídeos de *YouTube*, botones de acciones y animaciones *Flash*. Todo elemento de la maquetación de la página pueden ser enlazados a cualquier contenido disponible en Internet o incluso, dentro de la propia revista.

Tanto imágenes como textos pueden ser ampliados para mejorar la visualización de los contenidos y disponer de una maquetación más ligera y atractiva. El lector puede ampliar más información a través de un botón "Más info" o "Leer más". Como se muestra en estas páginas, RADIOPROTECCIÓN digital cuenta con una leyenda de los iconos para facilitar la navegación por la misma.

Sumario digital e interactivo

La revista digital cuenta con dos sumarios: un índice de contenidos accesible desde la propia interfaz y el propio sumario de la maqueta de la revista



cuyo índice está enlazado. Así, el lector puede optar por una lectura tradicional y acceder al contenido desde el sumario tradicional y/o a través del comando situado en la barra de herramientas desde cualquier página de la revista.

Marcapáginas personalizados

RADIOPROTECCIÓN digital alberga marcapáginas de colores en el lateral (secciones, artículos destacados, avisos importantes, etc.) que actúan a su vez como accesos directos a un contenido específico.

Hemeroteca

Todas nuestras revistas digitales cuentan con la opción de consulta de las publicaciones anteriores a modo de hemeroteca. Por lo general, se incluyen todos los números de los dos años anteriores a la publicación en curso, aunque no existe un límite concreto por defecto.

Descargables

RADIOPROTECCIÓN digital se puede descargar en formato pdf y, además, hemos diseñado la posibilidad de descargar los artículos de forma individual para tener una manera más sencilla de acceso y archivo de la información.

Las actividades de la SEPR se programan sistemáticamente y se reflejan en un Plan anual de Actividades que se presenta a los socios y a las entidades relacionadas con la SEPR. Este Plan es coherente con el Plan Estratégico de la SEPR, aprobado en 2008, que se articula alrededor de cuatro líneas estratégicas: **progreso de la Protección Radiológica; desarrollo organizativo y financiación; servicios a los socios; y relaciones con la sociedad.** Adicionalmente, de cara a sus asociados y a otros profesionales y público en general, la SEPR mantiene viva una página Web de gran dinamismo y publica la revista **RADIOPROTECCIÓN**, con significativo impacto y difusión en formato electrónico en los países de habla hispana.



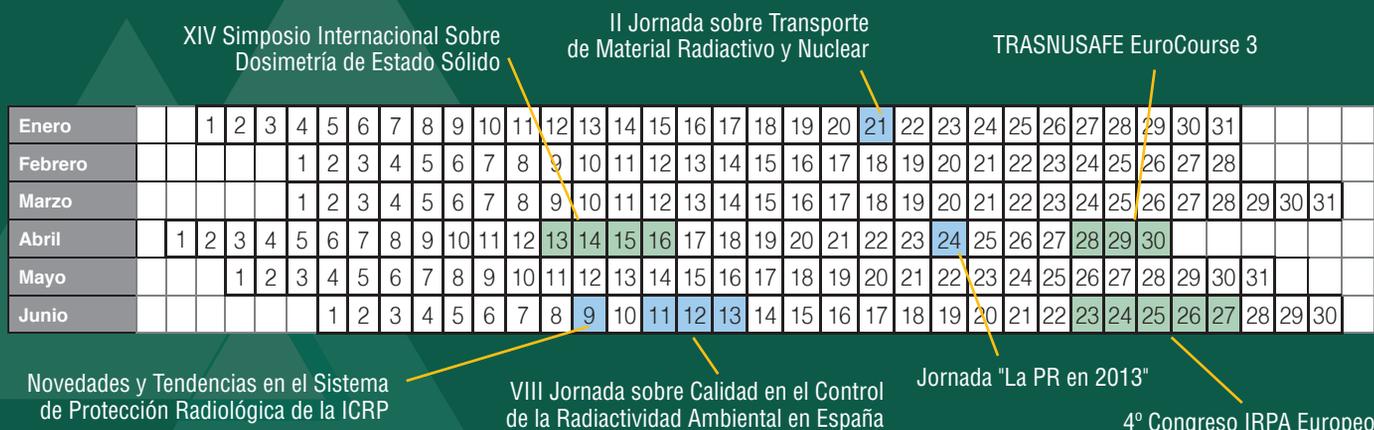
Reuniones y Jornadas Científicas

Actividad	Fecha	Lugar
• II Jornada sobre Transporte de Material Radiactivo y Nuclear	21 Enero	Madrid, Enresa
• Jornada sobre "La Protección Radiológica en 2013"	24 Abril	Madrid, Ciemat
• Novedades y Tendencias en el Sistema de Protección Radiológica de la ICRP	9 Junio	CSN
• VIII Jornada sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental en España	11-13 Junio	Huelva
• Jornada sobre Dosimetría Interna	Segundo semestre 2014	Madrid, Ciemat
• Jornada sobre Dosimetría del Cristalino	Noviembre	Barcelona

Cursos y Talleres

Actividad	Fecha	Lugar
• Cursos online de Formación en PR para técnicos de empresas de electromedicina	24 Febrero – 7 de Marzo	Zaragoza
• Curso sobre Monitores de radiación tipo p ^ó rtico"	Junio	Madrid
• Curso sobre Industrias NORM	Noviembre	Universidad de Sevilla
• Curso-taller sobre PR contra radiaciones no ionizantes para fisioterapeutas	Noviembre	Hospital Universitario Ramón y Cajal

PROGRAMA ANUAL DE ACTIVIDADES



■ Jornadas SEPR
 ■ Cursos y talleres SEPR
 ■ Congresos
 ■ Otras actividades

Publicaciones

Publicación	Fecha	Tipo documento
• Revista RADIOPROTECCIÓN	4 números año	Publicación digital Descargable pág.web
• Página Web de la SEPR: www.sepr.es	continua	Web
• Guía sobre criterios de protección radiológica operacional para trabajadores expuestos en instalaciones radiactivas en el sector industrial	Diciembre	Documento descargable de la página web

Otras Actividades

Actividad	Fecha	Lugar
Expo'PR	Permanente	Centro Tecnológico Mestral Vandellós (Tarragona)

Otras Actividades en las que colabora la SEPR

Actividad	Fecha	Lugar	Colaboración
• XIV Simposio Internacional Sobre Dosimetría de Estado Sólido	13 -16 Abril	Cuzco, Perú	Mercè Ginjaume en Comité Científico
• TRASNUSAFE EuroCourse 3: Economic Relevance of Safety Culture in Medical Applications	28 -30 Abril	Madrid	Universidad Politécnica de Madrid / Tecnomat
• 4º Congreso IRPA Europeo	23 -27 Junio	Ginebra, Suiza	Alejandro Úbeda en Comité Científico IRPA y Eduardo Gallego en el <i>Young Scientist and Professional Award Committee</i> IRPA
• 4º Congreso IRPA Regional Africano	13 -17 Septiembre	Rabat, Marruecos	Eduardo Gallego en Comité Científico IRPA
• Workshop MELODI	7-9 Octubre	Tarragona	CREAL/Universidad Autónoma de Madrid y Universitat Rovira i Virgili

4º Congreso IRPA Regional Africano

Julio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Agosto				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1
Septiembre	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
Octubre		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Noviembre				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	
Diciembre	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					

Workshop MELODI

LA JUNTA DIRECTIVA INFORMA

La Junta Directiva celebró la reunión en Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, el día 27 de enero.

Durante la misma Eduardo Gallego, presentó la situación actual del plan estratégico que está modificándose para completar el periodo 2014-2017 y repasó una por una las actividades de la SEPR, Foros, Comisiones y representantes en grupos de trabajo.

La vicepresidenta, Mercè Ginjaume, presentó el borrador plan de actividades científicas que se discutirá en la próxima reunión de la Comisión de Actividades Científicas y que se presentará, como viene siendo habitual, en la Jornada *La Protección Radiológica en 2013* que se celebrará en abril en el Ciemat.

La tesorera, Elena Alcaide, presentó las cuentas e hizo un repaso a la situación económica de la Sociedad.

La secretaria, Beatriz Robles, informó de las altas y bajas y del nuevo cambio de domicilio de la Secretaría y, por tanto, de la sede social de la SEPR.

Con motivo de la entrada en vigor de la nueva normativa que exige disponer del IBAN y del BIC de las cuentas para poder domiciliar los recibos, se acordó preparar un formulario que será enviado a los socios y que servirá también para actualizar la información que contiene la base de datos de socios.

Borja Rosell, vocal encargado de las relaciones con el colectivo de jóvenes de la Sociedad, presentó un plan de actuación a corto y medio plazo para dar un papel más activo a los socios de hasta 35 años. Como primera medida se aprobó una cuota reducida, para estos socios jóvenes, de cuantía igual a la que ahora está establecida para los residentes de 25 €.

Beatriz Robles
Secretaría General de la SEPR

NOTICIAS de ESPAÑA

Medalla de Protección Civil para Rafael Herranz

A nuestro compañero y socio de la SEPR el Dr. Rafael Herranz Crespo, le ha sido concedida la Medalla de la Protección Civil, que impone el Ministerio del Interior, en reconocimiento a la labor del Servicio que dirige en el Hospital Gregorio Marañón de Madrid, como centro de referencia en el tratamiento de personas irradiadas y por la labor formativa dirigida a todo tipo de personal que pueda verse involucrado en un suceso nuclear o radiactivo.



¡Nuestra más sincera enhorabuena a este gran profesional, excelente docente y miembro muy activo de nuestra Sociedad!

Comité de Redacción

Jornada de Transporte de Material Radiactivo y Nuclear

El pasado 21 de enero se celebró, en el salón de actos de la sede social de Enresa, la 2ª Jornada sobre Transporte de Material Radiactivo y Nuclear.



La jornada fue organizada por la SEPR en colaboración con Enresa y el CSN, participando como ponentes, además de representantes de las instituciones mencionadas, personal del Ministerio de Fomento y de la empresa transportista Express Truck.

A la jornada asistieron casi un centenar de técnicos y especialistas del sector nuclear, radiactivo y logístico que representaban a todos los actores involucrados en la actividad del transporte (autoridad reguladora, expedidores, transportistas, formadores, consejeros de seguridad, UTPR).

La previsión normativa para el transporte de mercancías peligrosas, la experiencia operativa del CSN en los procesos de inspección de estas actividades, la aplicación operativa de las directrices de protección física en los transportes y las responsabilidades de los transportistas en los planes de emergencia fueron algunos de los temas más relevantes del sector abordados durante la Jornada.

Enresa presentó además las líneas generales del proyecto logístico que se está preparando para el transporte del com-

bustible nuclear gastado y los residuos de alta actividad cuando entre en operación el futuro ATC.

La SEPR se ofreció como vehículo para canalizar las iniciativas del sector a través del Grupo de transporte de material radiactivo que opera dentro de su Comité de Actividades Científicas. Con esta nueva iniciativa la SEPR se consolida como punto de encuentro del sector del transporte de material radiactivo y nuclear en España.

Comité de Redacción

¿Estamos preparados en Europa para un accidente radiológico a gran escala?

El pasado día 26 de febrero de 2014, se celebró en el salón de actos del Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia (HULaFe), la jornada internacional titulada *¿Estamos preparados en Europa para un accidente radiológico a gran escala?*. Esta jornada fue organizada y coordinada por las Dras. Montoro y Sebastià, pertenecientes al Servicio de Protección Radiológica del HULaFe, y se encontraba enmarcada dentro de la 3ª Reunión de la Red Europea de Biodosimetría "RENEB" (*Realizing the European Network of Biodosimetry*). El honorable conseller de Sanitat de la Comunitat Valenciana, D. Manuel Llombart, inauguró el acto.

A lo largo de la jornada se ofreció una perspectiva general de los métodos y estrategias para estimar las dosis recibidas por la población en el caso de un accidente radiológico a gran escala.

La primera ponencia fue impartida por la Dra. Zhanat Carr, representante de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y responsable del Área de respuesta y preparación en caso de emergencia radiológica. Desde 2007 se está implementando a nivel mundial el acuerdo IHR (*International Health Regulations*) vinculante legalmente para los países adscritos al mismo. Este acuerdo contribuye significativamente a la salud pública global proporcionando un nuevo marco de coordinación para la gestión de incidentes que puedan suponer una emergencia para la salud a nivel internacional. El objetivo de dicho acuerdo es mejorar la capacidad de los países para detectar, evaluar, notificar y responder a las amenazas para la salud pública. En este contexto, la OMS creó en 2007 la red mundial *BiodoseNet*,

con el fin de integrar los laboratorios de dosimetría biológica de todo el mundo y apoyar la gestión y la toma de decisiones en casos de grandes eventos de emergencia radiológica, situación en la que es probable que la capacidad del laboratorio de la zona afectada se vea comprometida. La Dra. Zhanat remarcó que la pertenencia a este tipo de redes resulta crucial para garantizar una pronta respuesta ante emergencias así como para disponer de asesoría técnica frente a las mismas, armonizar programas de formación, aprender de las fortalezas y experiencias del resto de países y, en definitiva, lograr una mayor eficiencia en la gestión de los recursos.

En segundo lugar, el Dr. Oleg Belyakov, responsable del proyecto coordinado de investigación en biodosimetría del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), ofreció una presentación y visión general de dicho organismo. Seguidamente, remarcó la importancia del fortalecimiento de la biodosimetría en los estados miembros del OIEA mediante la mejora de las técnicas actuales, la intensificación de la colaboración y creación de redes, y la armonización de los ensayos entre laboratorios. Para ello, explicó que el objetivo principal del proyecto coordinado que lidera, es ofrecer apoyo para que los laboratorios de biodosimetría en el OIEA y los estados miembros sean capaces de reaccionar ante un accidente radiológico y nuclear tanto a nivel nacional como regional.

A continuación, el Dr. Florian Gering, de la Oficina Federal de Protección Radiológica (BfS) de Alemania, introdujo la plataforma europea de respuesta a accidentes NERIS (*European Platform on preparedness for nuclear and radiological emergency response and recovery*). Esta plataforma integra a 49 organizaciones e instituciones de toda Europa con la misión principal de establecer un foro de diálogo entre sus miembros, los cuales tienen responsabilidades en la toma de decisiones y acciones de protección en caso de emergencia nuclear y radiológica. Como representante de NERIS, el Dr. Gering mostró el interés mostrado por la plataforma NERIS en la cooperación con la Red Europea de Biodosimetría RENEb, que acogía esta jornada.

En cuarto lugar, el Dr. Andrei Wodjik, responsable del centro de investigación de protección radiológica de la Universidad de Estocolmo, presentó el proyecto *Multibiodose* financiado por el 7º Programa Marco y finalizado el año pasado. En la ponencia se mostraron las diferentes herramientas de biodosimetría que se han validado durante el proyecto, elegidas según su sensibilidad, especificidad para el tipo de radiación y de escenario radiológico. Además, se puso especial énfasis en recordar la necesidad, por parte de todos los implicados, de estar preparados para dar cobertura a un accidente radiológico a gran escala a pesar de que no se espere que se produzca.

La última ponencia la realizó la Dra. Ulrike Kulka, responsable de la Sección de dosimetría biológica y efectos biológicos de la radiación de la Oficina Federal de Protección Radiológica (BfS) de Alemania. Como coordinadora de la red europea de Biodosimetría, RENEb, detalló las funciones y características principales de la misma. La Dra. Kulka explicó que RENEb fue creado con el propósito de establecer una red europea sostenible en la dosimetría biológica para la asistencia mutua en





el caso de una incidencia radiológica a gran escala. De este modo, el fin último de la red es garantizar la máxima eficiencia en el procesamiento y el análisis de las muestras biológicas para una reconstrucción rápida y fiable de la dosis absorbida de radiación, aplicable a emergencias de la Unión Europea. También se señaló que entre las 23 organizaciones que forman la red, a nivel nacional, se encuentran los laboratorios de dosimetría biológica del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid, la Universidad Autónoma de Barcelona y el HULaFe, reforzando considerablemente la capacidad de respuesta ante emergencias radiológicas en el sur de Europa.

Al finalizar la jornada, se realizó una mesa redonda en la que los participantes tuvieron la oportunidad de preguntar a los ponentes las posibles dudas. Desde la organización, agradecer la acogida que tuvo esta jornada por parte del público, del Hospital Universitario y Politécnico La Fe y de distintas instituciones así como la disposición de los ponentes para asistir a la misma.

*Alegría Montoro y Natividad Sebastián.
Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia*

Optimización de la dosis de radiación y calidad en imagen médica

El 14 de marzo de 2014 tuvo lugar la Jornada de *Optimización de la dosis de radiación y calidad en imagen médica*, organizada por el Área Clínica de Imagen Médica del Hospital Universitario y Politécnico la Fe y la empresa GE Healthcare. Esta jornada estuvo motivada por la reciente aprobación por parte del Consejo Europeo de la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes que regula el control de las dosis de radiación recibidas en las pruebas digitales de diagnóstico tales como la Tomografía Computerizada (TAC) o los rayos X. A razón de esta directiva, el equipamiento de radiología debe tener la posibilidad de transmitir los datos de una forma estructurada que permita una estimación más real de la dosis del paciente.

- En esta línea, el HULaFe incorporó el pasado año un nuevo sistema comercial (*DoseWatch*) de cálculo y control de dosis de radiación en pruebas médicas. Esta nueva herramienta, desarrollada por la empresa GE Healthcare, permite conocer la cantidad de radiación emitida en cada exploración, con cada protocolo y técnico, y para cada paciente. En base a estos resultados, y tras analizar las variabilidades y dispersiones, pueden aplicarse cambios en los protocolos de adquisición y alarmas de seguridad para así optimizar la dosis administrada sin afectar a la calidad del diagnóstico que realizan los radiólogos. Gracias a este sistema, los facultativos pueden conocer en cualquier momento el historial de exposición de un paciente y valorar la idoneidad de las pruebas radiológicas, es decir, cumplir con el principio de protección radiológica de la justificación y la adecuación de exploraciones. Además, permite evaluar la constancia de un equipo o identificar rápidamente sobreexposiciones.

- En primer lugar, el Dr. Juan Ignacio Villaescusa, jefe del Servicio de Protección Radiológica del Hospital Universitario y Politécnico La Fe, ofreció a los participantes una visión general acerca de los pros y contras que supone el uso de la radiología digital en el diagnóstico médico. También explicó conceptos y normativas sobre los niveles de referencia de dosis, la evolución que ha experimentado el registro de dosis en los hospitales hasta llegar a un registro automático, con sus inconvenientes y beneficios, y el camino a seguir para llegar a la estandarización teniendo en cuenta la necesidad de cuantificar la calidad de imagen para hacer una comparación real con los niveles de referencia. Para finalizar, recordó que a pesar de los riesgos que puede conllevar la exposición de los pacientes a la radiación ionizante en pruebas diagnósticas, no hay que olvidar que pruebas como el TAC, el PET, la radiología pediátrica o la intervencionista, entre otras, son pruebas que salvan vidas.

- Seguidamente, el Dr. Luis Martí-Bonmatí, director del Área Clínica de Imagen Médica del HULaFe ofreció la ponencia titulada *Equipo multidisciplinar: radiofísica y radiología* en la que se insistió en los beneficios de la imagen y cómo esta exploración ha revolucionado la medicina. Es por ello que su utilización masiva, debida a su sofisticación y eficacia,

¿Dónde estamos hoy en la gestión de dosis?



Optimizar la dosis y la calidad de imagen Entender la variabilidad Identificar estudios con alta dosis

Área Clínica de Imagen Médica

ha hecho que aumente globalmente la dosis de radiación que reciben los pacientes que se estudian con estas técnicas para diagnosticar y tratar numerosas enfermedades. Aunque los datos de exposiciones a catástrofes atómicas alarman del aumento de las radiaciones ionizantes, el uso adecuado de las exploraciones y el control de la dosis administrada son garantía para minimizar el riesgo frente al beneficio. Así, en los servicios de radiología debe verificarse y corregirse continuamente nuestras acciones para minimizar la variabilidad y disminuir la incertidumbre asociadas a la dosis de radiación médica. Los radiólogos, trabajando conjuntamente con los radiofísicos y radiobiólogos, pueden controlar la dosis para utilizar la menor posible que produzca imágenes de calidad suficiente para el diagnóstico y el tratamiento, y también garantizar la calidad de los equipos que empleamos en los hospitales. Es nuestra responsabilidad como profesionales emplear las pruebas necesarias (valorar la justificación y adecuación de los estudios radiológicos), controlar la exposición (alertando de la existencia de equipos obsoletos que generan dosis mayores a las recomendadas y ajustando los protocolos de adquisición) y registrar y evaluar las dosis emitidas para analizarlas frente a niveles de referencia admitidos internacionalmente.

En tercer lugar, Enrique Ruiz, ingeniero biomédico del Área Clínica de Imagen Médica del HULaFe, presentó la instalación, funcionalidad y mejoras del sistema de registro de dosis *DoseWatch*. En la primera parte de la presentación detalló los pasos seguidos para realizar la instalación de la aplicación, así como las peculiaridades de llevarla a cabo dentro de un centro hospitalario. Seguidamente se centró en la enumeración de las funcionalidades, recalcando aquellas de mayor interés desde el punto de vista del facultativo como por ejemplo: sistema de alertas de exploraciones con dosis altas de radiación, o presentación en forma de gráficas de la evolución del control de la dosis en un determinado protocolo. Por último listó una serie de actuaciones a realizar para disponer de un sistema más robusto, como pudiese ser la integración con el sistema RIS (Sistema de Información Radiológica).

La Dra. Pilar Gras, física facultativa del Servicio de Protección Radiológica del HULaFe, expuso los resultados preliminares obtenidos tras el primer año de experiencia con el sistema *DoseWatch*, haciendo hincapié en la utilidad de esta herramienta para la optimización (unificación o diversificación) de protocolos en diferentes estudios, gracias al sistema de alertas y a la integración de información. Desde abril del 2013 se han recopilado datos dosimétricos de unos 10.000 estudios de imagen pediátrica (TAC, convencional y vascular) completados desde noviembre con unos 1.000 estudios de adultos (TAC y vascular) y desde enero de 2014 con 350 estudios de TAC del Hospital de Vinaroz. De los 2.500 estudios de TAC analizados, un 50% corresponden a pediatría, habiéndose obtenido los NRD, en base al DLP (*Dose Length Product*) (mGy.cm), por rango de edad, y constatando unos niveles por debajo de niveles europeos publicados. La integración ha permitido también la intercomparación de la información dosimétrica en estudios "similares" realizados en diferentes hospitales, a falta de cuantificar la calidad de las imágenes obtenidas, y la obtención de historiales dosimétricos completos.

- En representación de GE Healthcare, Alfonso Martínez, director de modalidad de la dosis España y Portugal expuso los esfuerzos reunidos entre el Hospital la Fe de Valencia y la empresa GE para llevar a cabo el proyecto regional entre las dos entidades y conseguir el liderazgo en la gestión de dosis a propósito de la directiva 2013/59/Euratom. Remarcó la importancia del sistema desarrollado por GE para conseguir la conexión de todos los equipos digitales de diagnóstico del hospital, con el fin de que los médicos puedan conocer el historial de exposición de un paciente. Destacó que *DoseWatch* será una herramienta que permita tener más calidad en los procesos y procedimientos en el entorno hospitalario, proteger al paciente en cuanto a que reciba la menor dosis posible sin perder la mayor información necesaria para poder tomar decisiones, y también ayudar y proteger a los profesionales sanitarios.

- Ginés Madrid, responsable de Asuntos Profesionales de la Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM) presentó la penúltima ponencia en la que habló sobre el proyecto integral para la protección radiológica del paciente realizado desde el Servicio Murciano de la Salud. En ella, enunció las razones de la protección radiológica del paciente, alegando que esta materia es una asignatura pendiente por parte de los profesionales, una demanda social, una exigencia legal y según sus palabras una cuestión de "sensibilidad". El Dr. Madrid, explicó a los ponentes los hitos más importantes de la puesta a punto del programa integral de protección al paciente en el Servicio Murciano de la Salud y las líneas de actuación en las que se habían centrado (quién prescribe la prueba médica, quién la realiza, quien se somete a ella y quién la financia). Durante su discurso remarcó que un programa integral de protección radiológica de los pacientes debe centrarse y cumplir especialmente el principio de justificación para mantener siempre un equilibrio razonable entre el riesgo y el beneficio de cualquier prueba.

- Por último, Cristian Candela, residente de radiofísica hospitalaria del Hospital Universitario y Politécnico La Fe, ofreció una charla acerca de las líneas de investigación actuales y futuras en dosis y calidad de imagen. La charla se centró fundamentalmente en el cálculo de dosis absorbida por el paciente en una exploración de TC. Realizó un repaso del cálculo del DLP y de la dosis efectiva, recalcando que ésta última no se definió para uso individual, sino para el paciente de tamaño y peso estándar (hombre adulto de referencia). Para una dosimetría más individualizada donde se tiene en cuenta el tamaño del paciente, habló sobre el SSDE (*Size-Specific Dose Estimate*), así como sobre la línea de investigación abierta para poder determinar con más precisión la dosis absorbida en los órganos del paciente, teniendo en cuenta su verdadero tamaño y constitución, así como la modulación de dosis del equipo. En su ponencia también mencionó el efecto que tiene el descentrado del paciente en el equipo de TC sobre la dosis absorbida, y mostró el proceso de cálculo de dosis a *vóxel* en exploraciones de medicina nuclear.

- *Natividad Sebastià y Alegría Montoro.*
Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia

Premio Nuclear España 2013 para Almudena Real y Beatriz Robles

La Comisión de Redacción de la revista de la Sociedad Nuclear Española falló a finales del pasado mes de enero, el Premio *Nuclear España* al mejor artículo de 2013.

En esta ocasión recayó sobre el trabajo *La protección radiológica del medioambiente: evolución y perspectiva*, publicado en su número 340 de mayo de 2013, y cuyas autoras son dos destacadas personalidades de la SEPR, la secretaria general de la Sociedad, Beatriz Robles, y Almudena Real, ambas del Ciemat.

El artículo, premiado por los profesionales de la disciplina hermana de la protección radiológica, se centra en la evolución que ha sufrido la protección radiológica del medioambiente



en los últimos 25 años, que ha llevado a numerosas organizaciones nacionales, europeas e internacionales a trabajar en la materia, adquiriendo un gran conocimiento del tema y desarrollando potentes metodologías y herramientas necesarias para su implementación. Como conclusión se analizan las perspectivas de futuro, que cuentan con el apoyo de iniciativas como la Alianza Europea de Radioecología, creada en 2012 y participada por doce reconocidas organizaciones internacionales, y las actividades de ICRP en su Comité nº5, del cual Almudena Real es miembro.

La ceremonia de entrega de premios tuvo lugar el 26 de febrero en el Salón de Actos de la Escuela de Ingenieros Industriales de Madrid, como colofón a la tradicional jornada *Las centrales nucleares en 2013: experiencias y perspectivas* que este año celebraba su vigesimoquinta edición ante la presencia de más de un centenar de asistentes, entre los que también se encontraban miembros destacados de la SEPR.

Actualmente, el texto se puede encontrar en la página web de la SNE únicamente a disposición de los socios de esta Sociedad, no obstante próximamente estará disponible para público general en el siguiente enlace.

Comité de redacción

XIV Jornada convenio Unesa-HGU Gregorio Marañón

El viernes 31 de enero de 2014 tuvo lugar en el Hospital Gregorio Marañón una nueva edición de las jornadas que se celebran anualmente en el marco del convenio Unesa-HGU Gregorio Marañón. La inauguración de la jornada corrió a cargo de D. Ricardo Herranz Quintana, gerente del HGUGM; del Dr. Juan Bernar Solano, coordinador del convenio por parte de Unesa; y del Dr. Rafael Herranz Crespo, coordinador del convenio por parte del HGUGM.

Durante la primera sesión de la jornada, se abordó la optimización de las dosis proporcionadas a pacientes en exploraciones médicas con radiaciones ionizantes. Esta sesión fue moderada por D^a. María Fernanda Sánchez Ojanguren, directora técnica de protección radiológica del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), quien a lo largo de su intervención destacó el desafío que supone para los organismos reguladores el que los riesgos para los pacientes derivados de su exposición a las radiaciones ionizantes sean lo más bajos posibles en relación con los beneficios que de dicha exposición se obtienen. Asimismo, indicó que si bien, la protección radiológica de los pacientes es competencia del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, el CSN ha de colaborar con las autoridades competentes en relación con los programas de protección radiológica de las personas sometidas a procedimientos de diagnóstico o tratamiento médico con radiaciones ionizantes. En este sentido, ambas entidades firmaron en noviembre de 2010 un convenio marco, del que han surgido diversos proyectos, tales como:

- Proyecto DOMNES (DOsis Medicina Nuclear en ESpaña), que incluye a todos los servicios de medicina nuclear del país, y que se ha desarrollado en el marco del Foro de Protección Radiológica en el Medio Sanitario, en el que se encuentran representados el CSN, la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y la Sociedad Española de Física Médica (SEFM). Para este proyecto se ha contado también con la participación de la Sociedad Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (SEMNUM). El proyecto ha consistido en la realización de una prospección de los procedimientos diagnósticos de medicina nuclear que se realizan en los centros sanitarios españoles, permitiendo evaluar las dosis que reciben los pacientes por cada procedimiento y estimar las dosis a la población española debida a ellos.
- Proyecto DOPOES (estimación de la DOsis POblacionales en ESpaña en estudios de radiodiagnóstico médico), mediante un acuerdo específico de colaboración entre el CSN y la Universidad de Málaga para la realización de una prospección sobre los procedimientos de radiodiagnóstico utilizados en los centros sanitarios españoles, su frecuencia, y las dosis recibidas por los pacientes y la población. La finalización prevista del proyecto es en el primer semestre de 2014.

A continuación, se dio paso al inicio de la sesión. En la primera ponencia, titulada *Optimización de dosis en medicina nuclear*, el Dr. Juan Carlos Alonso Farto, jefe de Servicio de Medicina Nuclear del HGUGM, transmitió el mensaje de que es absolutamente esencial buscar el equilibrio entre la dosis administrada al paciente y la calidad diagnóstica de la imagen obtenida, ya que un estudio sin calidad diagnóstica es la dosis más gratuitamente administrada al paciente. El Dr. Alonso Farto indicó, asimismo, que gracias a los avances incorporados en la nueva tecnología (mayor sensibilidad de los detectores para conseguir con un menor tiempo de adquisi-

ción una calidad diagnóstica óptima), la balanza está afortunadamente desplazándose hacia la reducción de dosis a pacientes. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la utilidad clínica de la medicina nuclear la hace ser una técnica cada vez más demandada, tanto de forma aislada como parte de técnicas conjuntas como el PET/TC. Si bien éstas últimas suponen muchas ventajas desde el punto de vista diagnóstico (corrección de la atenuación, mejor localización de lesiones, etc.), pueden aumentar notablemente las dosis que reciben los pacientes. Los trazadores, por su parte, también juegan un papel fundamental en la reducción de las dosis a los pacientes: se hace necesario utilizar trazadores de vida media lo más corta posible, pero al mismo tiempo hay que garantizar que cuando el paciente llega finalmente a la gamma-cámara, la actividad del isótopo sea la suficiente como para poder detectarla. Como parte de la ponencia, se detallaron también los objetivos del proyecto DOMNES, la metodología seguida en él y los resultados obtenidos. En el proyecto participaron finalmente el 80% de los servicios de Medicina Nuclear españoles. Sus resultados preliminares sirvieron para aportar los datos a la Unión Europea en el marco del estudio *Dose Datamed 2*, cuyo objetivo era conocer las dosis recibidas por la población europea como consecuencia de exposiciones médicas (<http://ddmed.eu/>). Los resultados preliminares del proyecto DOMNES se publicaron en la revista *ALFA* del CSN (Número 21, II Trimestre de 2013).

La segunda ponencia *Reducción de dosis en exploraciones de Radiodiagnóstico*, corrió a cargo del Dr. Javier Lafuente Martínez, jefe de Servicio de Radiodiagnóstico del HGUGM. Durante la misma, el Dr. Lafuente expuso que la Tomografía Computarizada (TC) es la técnica que contribuye en mayor medida a la dosis por exploraciones médicas, suponiendo aproximadamente un 60% de las dosis aportadas por un Servicio de imagen. Su rapidez, resolución, reproducibilidad y robustez hacen que esta técnica esté siendo cada vez más prescrita por los facultativos. Es en este punto en el que ha de hacerse un especial hincapié, tratando de acotar las prescripciones a aquellos casos en los que la técnica esté realmente indicada y sobre todo en los pacientes pediátricos. Como en la anterior ponencia, se hizo notar que las nuevas tecnologías han supuesto una reducción drástica de las dosis que se imparte a los pacientes en las diferentes exploraciones. Las casas comerciales han desarrollado algoritmos de reconstrucción de imagen que permiten ocultar el ruido por métodos iterativos, por lo que se puede disminuir el miliamperaje y el tiempo de exposición, logrando reducciones de dosis de hasta el 80%. De hecho, el equipamiento de TC es en el que más puede contribuir el operador en la reducción de dosis, seleccionando los parámetros más adecuados (especialmente el kilovoltaje) antes de realizar las exploraciones, adquiriendo en todo ello un papel especialmente relevante la disposición de protocolos al alcance de los profesionales. Por último, se destacó la importancia de la utilización de los elementos de protección por parte de los trabajadores, a la hora de reducir las dosis que éstos reciben en el desempeño de sus funciones.

En el cierre de la sesión, la directora técnica de protección radiológica del CSN destacó una vez más la importancia de la formación y el conocimiento tanto de los médicos prescriptores como de los propios especialistas, así como el papel que juegan las nuevas tecnologías en la reducción de las dosis recibidas por los pacientes. Posteriormente, hubo un coloquio en el que se

abordaron las diferentes indicaciones para las técnicas combinadas PET/TC y PET/RM, así como las estrategias encaminadas a justificar las prescripciones de las exploraciones con radiaciones ionizantes.

La segunda sesión de la jornada estuvo moderada por el presidente de la SEPR y catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid, D. Eduardo Gallego Díaz. La primera ponencia de esta sesión, *Cultura de Seguridad radiológica. Partes interesadas (stakeholders)*, corrió a cargo del Dr. Rafael Herranz, jefe de Servicio de Oncología Radioterápica y Fundación para la Investigación Biomédica del HGUGM. En esta ponencia se expuso que el compromiso de promocionar la cultura de seguridad radiológica en el ámbito sanitario se ha de encontrar en todos los agentes implicados en la misma, iniciando desde la propia Organización Mundial de la Salud y pasando por facultativos, técnicos, auxiliares, pacientes, familiares, etc. Se destacó especialmente la importancia de una adecuada comunicación entre cada uno de estos estamentos, con el objeto de minimizar la generación de rechazo, fobias e interpretaciones erróneas. Especialmente en la relación con los pacientes, los agentes implicados deben hacer un esfuerzo por tratar de transmitirles confianza y seguridad a la hora de exponer los riesgos y beneficios de los procedimientos a que serán sometidos, tratando de que la información sea clara y sencilla, pero a la vez dimensionada y veraz.

Como segunda ponencia de la sesión, las Dras. Mercedes Moreno Domene y M^a Jesús Prieto Rodríguez, del Laboratorio de Dosimetría Biológica del Centro de Radiopatología del HGUGM, presentaron las *Implicaciones de la dosimetría biológica en la protección radiológica. Redes Internacionales. Nuevas perspectivas*. En la primera parte de la ponencia, se introdujeron unos conceptos generales sobre dosimetría biológica y se presentaron las diferentes técnicas de dosimetría biológica que lleva a cabo el laboratorio. Mediante la dosimetría biológica se puede llevar a cabo una valoración del grado de exposición a radiaciones ionizantes a partir del estudio de las alteraciones citogenéticas producidas en linfocitos de sangre periférica, fundamentalmente. Estas alteraciones aparecen con una frecuencia muy baja en individuos no expuestos de forma que mediante su estudio, y utilizando curvas de calibración dosis-efecto generadas *in vitro*, se puede estimar la dosis recibida por una persona. Las principales técnicas que lleva a cabo el laboratorio son: el estudio de aparición de dicéntricos, la técnica FISH (Hibridación *in situ* con fluorescencia, que permite localizar translocaciones entre cromosomas), test de micronúcleos y el marcaje de proteínas de reparación, entre otras. Para ello, disponen de curvas de calibración tanto para radiación X y γ como para neutrones. El laboratorio es el centro de referencia nacional para la asistencia sanitaria de personas que pudieran resultar contaminadas o expuestas a radiaciones ionizantes como consecuencia de un accidente nuclear o radiológico que se produjera en cualquier punto de España. Además, mediante un convenio de colaboración con el CSN, estima la dosis de radiación recibida por personas que acuden al Centro de Radiopatología por sospecha de sobreexposición a radiaciones ionizantes. En el desarrollo de sus funciones el laboratorio ha llevado a cabo diferentes estudios de frecuencias basales de aberraciones cromosómicas en diferentes poblaciones (en una muestra de la población de Madrid, en trabajadores expuestos a bajas dosis de radiación ionizante,

en tripulaciones aéreas). La dosimetría biológica está instaurándose en la actualidad como un método de triaje en casos de emergencias radiológicas. La técnica de por sí no puede hacerse indiscriminadamente, dada la complejidad intrínseca del método y puesto que el cultivo celular retrasa varios días la obtención de resultados, pero sí permite discriminar entre personas que han sido expuestas o no a altas dosis de radiación. Precisamente con este objeto se han creado a nivel internacional una serie de redes de respuesta ante emergencias radiológicas como son BioDoseNet (grupo específico dentro de la rama de biodosimetría de la red de laboratorios internacionales de la OMS, *Global Laboratory Services Network*, GLaDNet), REMPAN (*Radiation Emergency Medical Preparedness and Assistance Network*) y RENEb (*Realizing the European Network in Biodosimetry*, que es un proyecto para establecer una red europea de laboratorios de dosimetría biológica coordinado por la BfS alemana, oficina federal para protección radiológica). La pertenencia del laboratorio tanto a BioDoseNet como a RENEb, le ofrece la oportunidad de compartir la experiencia técnica con otros laboratorios y participar en intercomparaciones de ámbito internacional entre los mismos. En este contexto, el laboratorio ha obtenido recientemente la acreditación por ENAC según la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025, para la estimación de dosis de radiación mediante el análisis citogenético de cromosomas dicéntricos en muestras de sangre. El laboratorio cumple, asimismo, los criterios establecidos en la norma ISO 19239:2004 (*Radiation protection – Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics*). Como última parte de la ponencia, se expusieron las etapas del proceso que han seguido para la obtención de dicha acreditación.

María Luisa Tormo, CSN

José Gutiérrez y Cristina Quintana, nombrados Puntos Nacionales de contacto del programa Euratom

José Gutiérrez, miembro destacado de la SEPR y presidente del Comité Científico de esta revista y Cristina Quintana, ambos del Ciemat, han sido nombrados Puntos Nacionales de contacto en España para el programa Euratom de *Horizonte 2020*, en sus áreas de Fisión y Fusión, respectivamente. *Horizonte 2020* es el Programa Marco de investigación e innovación que la Unión Europea ha puesto en marcha para el periodo 2014-2020 con un presupuesto de 76.880 millones de euros.

En *Horizonte 2020*, el programa Euratom (2014-2018) dispondrá de un presupuesto de 1.789 millones de euros, de los cuales 355 irán destinados a Fisión, 709 a Fusión y 725 al JRC (*Joint Research Center*). El ITER recibirá financiación en un programa suplementario durante el periodo 2014-2018 (2.573 millones de euros).

Los objetivos marcados en el programa de Euratom-Fisión en *Horizonte 2020*, en el que se incluye las actividades en materia de protección radiológica, serán los siguientes:

- apoyo a la seguridad de las operaciones de los sistemas nucleares;
- contribución de soluciones eficientes a la gestión de desecho de residuos;

ESHORIZONTE 2020

Portal español del Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea

- respaldo al desarrollo y mantenimiento de las competencias nucleares;
 - fomentar la radioprotección;
 - garantizar la viabilidad de las infraestructuras de investigación
- Los Puntos Nacionales de Contacto (NCP) serán los profesionales responsables de ofrecer asesoramiento e información a todos los interesados en participar en proyectos de investigación e innovación europeos, ya sean empresas, universidades, centros tecnológicos u organismos públicos de investigación, así como de difundir las oportunidades de financiación, la impartición de formación específica sobre preparación de propuestas y gestión de proyectos, y la revisión de propuestas.

Se podrá contactar con ellos mediante correo electrónico en las siguientes direcciones: José Gutiérrez (jose.gutierrez@ciemat.es) y Cristina Quintana (cristina.quintana@ciemat.es).

Con respecto a Euratom, el Programa de Trabajo 2014-2015, puede ser consultado en

La convocatoria de propuestas de investigación correspondiente a la parte de fisión de dicho Programa, actualmente abierta, se encuentra disponible en

Comité de redacción

Exposición sobre "Maria Skłodowska Curie: una polaca en París"

Desde el 5 de marzo hasta el 7 de septiembre de 2014 se celebra en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid la exposición sobre *Maria Skłodowska-Curie: una polaca en París*, que conmemora la creación centenaria de los primeros institutos dedicados a las aplicaciones de la radiactividad: el Instituto de la Radiactividad de Madrid (1910), el Instituto del Radio de París (1914) y el Instituto del Radio de Varsovia (1932). Se pretende mostrar al público la mujer que fue pionera en alcanzar muchas metas: ser doctora en Ciencias Físicas, profesora universitaria, académica, galardonada con el Premio Nobel y la primera persona que lo obtuvo en dos ocasiones, así como un largo etcétera de primeras veces que culminaron en 1995 con





Hélène Langevin-Curie visitando la exposición: *Maria Skłodowska-Curie: una polaca en París*.

su inhumación en el Panteón de Hombres Ilustres de Francia. La exposición muestra la vida y la obra de Maria Skłodowska-Curie a través de paneles biográficos divididos en cinco secciones: infancia y juventud; estudiante en la Sorbona, vida y obra con Pierre Curie; últimos años como embajadora de la ciencia; viajes a España y sus descendientes: hijas y nietos. Además se muestran aparatos de medida de la radiactividad, de la época de los trabajos de Maria Skłodowska-Curie, entre los que cabe destacar dos prototipos de Pierre Curie de 1900 que se custodian en el Museo Nacional de Ciencias Naturales junto a ediciones de sus libros, publicaciones en revistas científicas, biografías, documentos originales y objetos conmemorativos. Los aparatos que se muestran en esta exposición, propiedad del CSIC, provienen del antiguo Instituto de Radiactividad de Madrid y actualmente se custodian en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, y del antiguo Instituto Rockefeller, hoy Instituto Rocasolano. La exposición presenta una decena de aparatos, todos de la época de los trabajos de Marie Skłodowska-Curie, entre los que destacan los mencionados prototipos de Pierre Curie de 1900. La exposición finaliza con la recreación del Laboratorio de Marie, de la Rue Lhomond.

Este homenaje que pretende dar a conocer a la mujer idealista, solidaria y comprometida que desarrolló una gran

- labor humanitaria en la Primera Guerra Mundial, salvando innumerables vidas y evitando traumáticas amputaciones con la creación de unidades radiológicas móviles que le permitieron localizar los proyectiles para una posterior extracción.
- Como vicepresidenta del Comité de Cooperación Intelectual de la Sociedad de Naciones, luchó por la creación de becas de ayuda para el acceso al estudio y la investigación de las personas menos favorecidas económicamente.

- El 5 de marzo dio comienzo al ciclo de conferencias que acompañan la exposición dedicada a Marie Curie en el Museo Nacional de Ciencias Naturales. La Residencia de Estudiantes acogió la primera de ellas, *Mujer y ciencia: mi propia experiencia*, a cargo de Margarita Salas, científica del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa CSIC-UAM. Salas quiso comenzar su intervención haciendo un recorrido por la historia de las mujeres en la ciencia y de su dedicación y trayectoria y experiencia personal. El jueves 3 de abril tuvo lugar la conferencia *El Instituto de Radio en Varsovia, un regalo del pueblo polaco a Maria Skłodowska-Curie. El uso del radio en la medicina*, por el Profesor Edward Towpik, director del Museo de Historia de la Medicina de Varsovia. *Los Joliot-Curie, mis padres, y la radiactividad artificial* es el título de la conferencia que Hélène Langevin-Curie, nieta de Marie Curie, impartió el jueves, 24 de abril en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Hélène Langevin-Curie, física nuclear y profesora de investigación emérita del CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*), ofrecía una conferencia en Madrid. A lo largo de su vida ha impartido seminarios y conferencias en diversos países de la vida y obra de sus abuelos y sus padres. Es autora de numerosos artículos sobre el legado familiar y, en 2011, publicó un libro que recoge las cartas que Marie Curie escribió a sus hijas Irène y Ève. En esta conferencia habló del legado científico de sus padres, Irène Curie y Frédéric Joliot, que recibieron el Premio Nobel de Química en 1935 por el descubrimiento de la radiactividad artificial. Su madre, Irène Curie, fue la segunda mujer que recibió el Nobel tras su abuela, Marie Curie, que lo recibió en dos ocasiones, 1903 y 1911.

Las próximas conferencias relacionadas con la exposición que tendrán lugar serán:

- 29 de mayo. Doble disertación *Ève Curie, una mujer de excepción* por Anne Joliot. Bióloga. Profesora de Investigación del CNRS y *La Investigación tal y como la han vivido tres generaciones de científicos* por Pierre Joliot-Curie. Biofísico, profesor emérito del *Collège de France*. Ambas conferencias se celebrarán en la Biblioteca Nacional de España.
- 12 de junio. *La radiactividad o la ciencia de lo invisible*. Renaud Huynh. Director del Museo Curie de París, en el Instituto Francés de Madrid.
- 3 de julio. *Los viajes en España de Maria Skłodowska-Curie*. Belén Yuste y Sonia L.Rivas-Caballero, autoras de la biografía *Maria Skłodowska-Curie, una polaca en París*. Será la conferencia de clausura de este ciclo de conferencias y tendrá lugar en el Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Más información:

Comité de redacción

MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES
C/ José Gutiérrez Abascal, 2
28002 Madrid
T: 91 411 11 28 - FAX: 91 364 50 78
Concertación de visitas: 91 364 61 89
<http://www.mnccn.es>

HORARIO DE VISITAS
De martes a viernes, domingos, festivos y vacaciones (previos a las 17h).
Sábados y domingos (previos a las 10 a 20h).
Laborables en enero, febrero, agosto y octubre.
La entrada es libre y gratuita, siempre que se pague el precio del transporte.

AUTORIZES
7, 12, 14, 27, 40, 45, 147 y 150

METRO
Cercanías: Marjaron
Náutica: Argentina
Río: Reina
Nuevos Ministerios

RENFE
Nuevos Ministerios

Organiza: mncn, CSIC, MINISTERIO DE CIENCIAS

Colabora: INSTITUTO FRANCÉS DE MADRID, CIBER SOCIAL 'La Caixa', INSTITUTO FRANCÉS DE MADRID, ME

MARIA SKŁODOWSKA-CURIE
UNA POLACA EN PARIS
Museo Nacional de Ciencias Naturales
Del 5 de marzo al 7 de septiembre de 2014

Además las conferencias tendrán lugar a las 18:00h.

Análisis estadístico de la dosimetría personal de trabajadores expuestos

F.J. Sánchez Muñoz, L. Alejo Luque, A. Serrada Hierro e I. Mas Muñoz
Servicio de Radiofísica y Radioprotección. Hospital Universitario La Paz

RESUMEN: Se han observado imprecisiones en la legislación española a la hora de establecer la separación entre categorías de trabajadores expuestos. Se ha definido la magnitud "dosis grupal" para ayudar a dicha clasificación y representaría la dosis correspondiente a un grupo estadístico. Tras probar distintos modelos, se ha encontrado un método para medirla. En el proceso, se ha creado una herramienta informática que permite analizar estadísticamente la dosimetría personal de los trabajadores expuestos de forma rápida, en base a los datos proporcionados por el Centro Nacional de Dosimetría. La herramienta calcula el porcentaje de trabajadores de un grupo sin dosis administrativas asignadas y muestra gráficas de tendencias de la dosis grupal, lo que ayuda a establecer criterios para modificar la asignación.

ABSTRACT: The spanish legislation presents some inaccuracies in establishing the separation between categories of exposed workers. The magnitude "group dose" is defined for helping with the classification and would represent the dose corresponding to a statistical group. We have checked different statistical models and we have found a model which best represents the population analysed. In the process, we have created a software tool that allows a quick statistical analysis of the personal dosimetry of exposed workers, based on data provided by the Centro Nacional de Dosimetría. The tool calculates the percentage of workers in a group without assigned administrative dose as well as a group dose trend graph which helps establishing criteria for changing the assignment.

Palabras clave: Dosimetría personal, trabajadores expuestos, CND, estadística, dosis grupal.
Keywords: Personal Dosimetry, Exposed Worker, CND, statistics, group dose.

INTRODUCCIÓN

La legislación española [1] es imprecisa al establecer los límites dosimétricos entre público y trabajador profesionalmente expuesto (TPE) en el medio sanitario, o entre las dos categorías de TPE, A y B, al usar expresiones como "es muy improbable que", siendo competencia del Servicio de Protección Radiológica (SPR) de cada centro hospitalario el establecer criterios exactos de probabilidad que delimiten las diferentes categorías. Además, es conocida la problemática existente con el uso de los dosímetros personales, como el cambio inadecuado de los dosímetros o las pérdidas no declaradas. Esto redundaría en la asignación de dosis administrativas que los SPR deben corregir de acuerdo a criterios no consensuados hasta ahora. Entre las distintas alternativas utilizadas habitualmente están las de no corregirlas o asignar valores dosimétricos de forma arbitraria.

Por otra parte, los centros de dosimetría acreditados por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) normalmente informan de la superación de los límites legales, o de alguna fracción de los mismos, pero no establecen criterios que indiquen si la dosis asignada a un TPE determinado es grande o pequeña en relación a la de sus compañeros.

Con el fin de ayudar a resolver las dificultades mencionadas, se ha elaborado una aplicación que procesa estadísticamente los datos dosimétricos proporcionados por la web del Centro Nacional de Dosimetría (CND).

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es presentar los fundamentos estadísticos de la aplicación informática mencionada anteriormente. Dicha aplicación permite calcular la probabilidad que delimita las diferentes categorías dosimétricas referidas en la legislación vigente [1].

MATERIALES Y MÉTODOS

Dosis grupal y distribución de dosis

Se define la "Dosis grupal f " (DG_f) como la dosis anual que, en un grupo de trabajadores (grupo dosimétrico), puede ser superada con una probabilidad f por estos trabajadores. Así, por ejemplo, $DG_{0,12} = DG_{12\%}$ correspondería a la dosis que, dentro de un grupo dosimétrico, en un año concreto, presenta una probabilidad de ser superada de un 12%, es decir, sólo un 12% de los TPE de dicho grupo superaría esa dosis el año en cuestión.

Así, por ejemplo, el texto del artículo 20 del RD 783/2001 "es muy improbable que reciban dosis superiores a 6mSv ", se ha interpretado como "hay una probabilidad inferior al 1% de que los TPE reciban dosis superiores a 6mSv ".

Una vez introducida esta interpretación, que debe ser consensuada, se necesita establecer y validar un método para el cálculo o sobreestimación de la $DG_{1\%}$.

En grupos suficientemente grandes, la $DG_{1\%}$ puede calcularse, simplemente, hallando el percentil 99 de las dosis [2]. Sin embargo, esto no es posible en grupos dosimétricos de



tamaño inferior a 100 TPE, como ocurre en la mayoría de centros sanitarios (en nuestro caso, el grupo más grande analizado es de 47 TPE). En esos casos, el percentil 99 es siempre la dosis máxima.

La obtención de un método alternativo de cálculo exige asumir modelos estadísticos teóricos o semiempíricos que describan lo más exactamente posible el comportamiento de las diferentes distribuciones de dosis.

Aplicación informática y origen de los datos

Se han realizado 11 versiones de una aplicación informática, que implementan sendos modelos estadísticos para calcular la $DG_{1\%}$. Al haberse utilizado el lenguaje PHP5, dicha aplicación es multiplataforma y puede ser ejecutada en un servidor web.

Los datos de entrada son las dosis equivalentes anuales profundas y superficiales (obtenida con dosímetros de termoluminiscencia) de los TPE de los diferentes grupos dosimétricos existentes en nuestro centro. Estos datos se obtienen de la web del CND en forma de archivo CSV.

Aunque los datos del archivo no indican si las dosis de un TPE son medidas o administrativas, el programa detecta a los trabajadores con dosis administrativas utilizando el hecho de las dosis profundas y superficiales administrativas están relacionadas en un factor 20 [3], lo que aparece reflejado en las dosis máximas mensuales, y los elimina del cálculo. El programa muestra el número de TPE que carecen de dosis administrativas, así como el número total de TPE del grupo, con lo que resulta posible evaluar el correcto uso del dosímetro.

En el caso de los TPE que no trabajan el año completo, el programa usa sus fechas de alta y baja dosimétrica y la dosis anual acumulada para estimar la dosis que habría recibido en doce meses.

La aplicación procesa las dosis medidas y calcula anualmente la $DG_{1\%}$, mostrando como datos de salida una tabla en la que se refleja la media y la desviación típica de las dosis equivalentes medidas, así como la $DG_{1\%}$, además de una gráfica de la $DG_{1\%}$ de la dosis equivalente profunda que permite evaluar su evolución. En dicha gráfica se muestran los trabajadores que superan la $DG_{1\%}$.

Modelos

A continuación se describen con brevedad los distintos modelos contrastados.

Modelos teóricos

Se incluyen aquí los modelos evaluados que se basan en conjeturas sobre el proceso de irradiación o sobre bases puramente estadísticas.

Modelos independientes de la distribución

Incluimos aquí los modelos que no necesitan una distribución de probabilidad concreta, aunque asumen su existencia:

- Percentil 99 [2]: Como se ha mencionado, este método no es aplicable a grupos pequeños. Independientemente del método utilizado para calcularlo, siempre se obtiene la dosis máxima.
- Desigualdad de Chebyshev [2]: Desigualdad conocida en estadística que podemos expresar como $f(a)P(X \geq a) \leq E[f(X)]$. A partir de ella, calcularemos una cota superior de la $DG_{1\%}$ estimando la esperanza matemática de la fórmula como la dosis media del grupo.

Modelos dependientes de la distribución

Incluimos aquí los que asumen una distribución concreta de probabilidad.

- Estadística robusta [4]: No usa los estadísticos media y desviación típica, sino mediana (Q_2) y distancia intercuartílica [$DIQ = (Q_3 - Q_1)$], donde Q_1 , Q_3 son los cuartiles 1 y 3 (percentiles 25 y 75 respectivamente) de los datos del grupo. Se llama robusta porque datos anormales afectan poco a los valores de los estadísticos. En nuestros estudios hemos usado dos métodos para hallar la $DG_{1\%}$ ($DG_{1\%} = Q_3 + 1.22 DIQ$ y $DG_{1\%} = Q_2 + 1.72 DIQ$). Los números que multiplican a la DIQ son los que habría que usar en una distribución normal para hallar la $DG_{1\%}$.
- Distribución Normal [2]: Asumiendo que las dosis en cada grupo siguen una distribución normal, se utiliza la ecuación $DG_{1\%} = \mu + 2.33\sigma$, donde μ es la media de los datos y σ su desviación típica. El número 2.33 es el valor que habría que usar en una distribución normal para hallar la $DG_{1\%}$.
- Distribución Gamma [2]: En muchos grupos, la distribución normal toma valores negativos con probabilidad apreciable. Es de interés encontrar distribuciones cuya probabilidad de tomar valores negativos sea nula, como es el caso de esta distribución. Se ha usado el método de los momentos para calcular los parámetros que definen la función en lugar de un método de máxima verosimilitud a causa de la presencia de varios valores nulos en los datos.
- Distribución Normal Rectificada [6]: Se trata de una distribución normal en la que todos los valores negativos se asignan al valor nulo, agrupándolos en una delta de Dirac. Se ha probado este modelo debido a que el CND resta a los valores de dosis obtenidos un fondo radiactivo natural promedio, asignando un valor nulo a los valores negativos [3]. Además, si consideramos que hay diferentes contribuciones a la dosis que pueden variar de un trabajador a otro dentro del mismo grupo (fondo natural, diferentes equipos utilizados, diferentes protecciones usadas, diferentes habilidades

a la hora de trabajar, etc.), podemos suponer que cada una de estas contribuciones sigue su propia distribución. Al sumar las contribuciones, aplicando el teorema del límite central, obtendríamos una distribución normal. Los parámetros de esta distribución fueron calculados por el método de máxima verosimilitud.

Modelos semiempíricos

En los modelos teóricos se han utilizado una serie de expresiones matemáticas que calculan la $DG_{1\%}$ y que dependen de parámetros numéricos en función de la distribución a la que pertenecen. En los modelos semiempíricos se propone dejar libres esos parámetros (ϵ):

Estadística robusta, basados en cuartiles: $DG_{1\%} = Q_3 + \epsilon DIQ$ y $DG_{1\%} = Q_2 + \epsilon DIQ$.

Estadística no robusta, basado en valores medios μ y desviación típica σ : $DG_{1\%} = \mu + \epsilon \sigma$.

El ajuste lo haremos maximizando el p-valor [2] de la prueba que utilizemos para validar los modelos.

Validación de los modelos

Se considera que un modelo es válido si la probabilidad de que un TPE concreto reciba una dosis mayor que la $DG_{1\%}$ calculada para su grupo dosimétrico mediante ese modelo, es del 1%. Esta condición se traduce a la siguiente hipótesis nula: El número de trabajadores que superan la $DG_{1\%}$ ha de seguir una distribución binomial con probabilidad $p=1\%$. Se ha contrastado esta hipótesis con todos los TPE de nuestro centro sanitario, utilizando las dosis obtenidos a lo largo de nueve años (2004-2012, 3971 datos).

En el caso de los modelos teóricos, el contraste de la hipótesis nula se ha realizado con los datos agrupados de los años 2004 a 2011 (3608 datos). En el caso de los modelos semiempíricos, se han utilizado los datos agrupados de 2004 a 2007 (2093 datos) para ajustar los parámetros libres, mientras los datos agrupados de los años 2008 a 2011 (1515 datos) se han usado para contrastar la hipótesis nula. Se descartan los modelos con un $p\text{-valor} < 0.05 = \alpha$.

Los datos de 2012 se han reservado para valorar el carácter predictivo de los modelos que pasen las pruebas anteriores, contrastando la hipótesis nula en ese año.

Como prueba adicional, se ha utilizado un diagrama Q-Q con los p-valores de los 9 años sin agrupar (2004 a 2012 considerados independientes) para comprobar que, dentro de un nivel de confianza $\alpha=0.05$, estos p-valores son coherentes con la hipótesis nula. Para ello, aplicando los principios del test de Kolmogorov [7], se determina una banda alrededor de la función $y=x$, que depende del nivel de confianza y del número de datos, tales que si al menos un p-valor queda fuera de la banda, se rechaza la hipótesis nula.

Año	TPE que superan la $DG_{1\%}$ calculada	Todos los TPE	p-valor
2004	7	530	38.3%
2005	3	514	50.2%
2006	6	523	65.7%
2007	4	526	82.5%
2008	3	403	100.0%
2009	1	356	27.8%
2010	3	380	100.0%
2011	4	376	43.4%
2008-2011	11	1515	73.8%
2012	2	363	78.8%

Tabla 1. Resultado del test año a año del modelo semiempírico expresado en la ecuación (1).

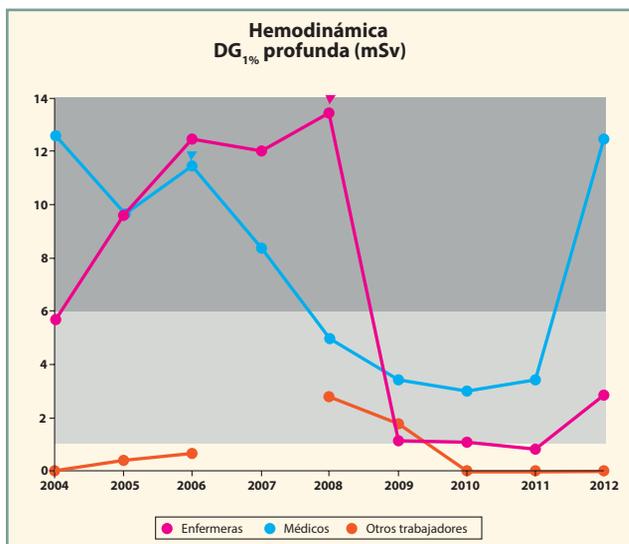


Figura 1. Ejemplo de la gráfica de evolución de dosis producida por la aplicación web.

RESULTADOS

Todos los modelos teóricos son rechazados ya que en todos los casos el p-valor obtenido es muy inferior a 0.05, con un número de TPE que superan la $DG_{1\%}$ muy lejano, tanto por exceso como por defecto, del valor esperado si la hipótesis nula fuera correcta.

En el caso de los modelos semiempíricos basados en estadística robusta, se han obtenido en muchos grupos distancias intercuartílicas nulas. Por esta razón no existe ningún valor de ϵ que produzca una fracción de TPE que superen la $DG_{1\%}$ que se acerque al 1%. En el caso del modelo basado en estadística no robusta se ha obtenido $\epsilon=3.467$. El test de la hipótesis nula nos muestra que 11 de 1515 TPE superan la $DG_{1\%}$, lo que significa que se ha obtenido un p-valor de 36.39%. Esto permite no rechazar el modelo siguiente:

$$DG_{1\%} = \mu + 3.467\sigma \tag{1}$$

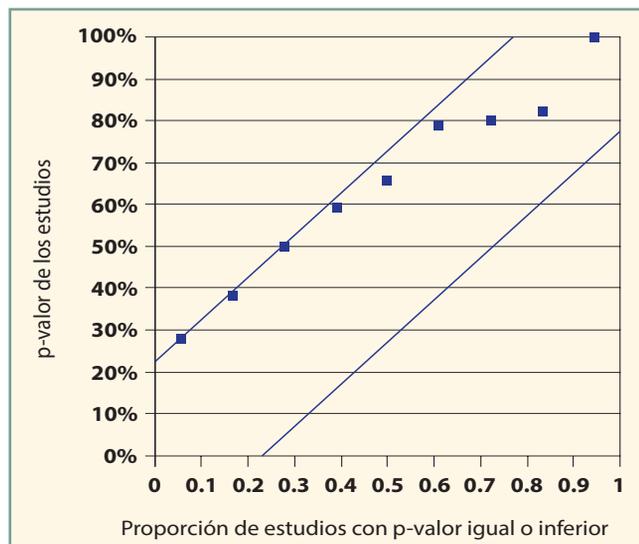


Figura 2. Diagrama Q-Q de los p-valores anuales.

En la figura 2 vemos el gráfico Q-Q de los datos de los años individuales que aparecen en la tabla I. La mayor desviación de $y=x$ encontrada es 0.2246, cuando la máxima permitida es 0.2269.

DISCUSIÓN

Una de las posibles causas de no haber encontrado un modelo teórico compatible con los datos es el hecho de que los datos utilizados tienen restado el fondo natural a partir de mayo de 2003, reasignándose a un valor nulo los valores negativos. La estadística se ve limitada por este motivo, al no tener descrito lo que ocurre a bajas dosis. Sería interesante repetir los tests de modelos teóricos con datos que no tengan restado el fondo natural.

La distribución normal rectificada tiene en cuenta la posibilidad de restar el fondo pero, aun así, la distribución ha sido rechazada. Cabe la posibilidad de evaluar en un futuro una versión rectificada de la distribución gamma desplazada hacia los valores negativos una cantidad igual al fondo natural restado por el CND. La distribución gamma, entre otras aplicaciones, ha sido usada para modelar la pluviometría [5]. La recogida de agua de lluvia y la captación de dosis pueden considerarse procesos similares, ya que la fluencia de gotas y de fotones están descritas por una distribución de Poisson y los fotones tienen diferentes energías, al igual que las gotas pueden tener diferentes tamaños. La distribución gamma decrece más lentamente que la normal, lo que es compatible con el valor encontrado para $\varepsilon=3.467$ en la ecuación (1).

Este trabajo asume tres hipótesis:

- Los grupos dosimétricos están formados por TPE que realizan el mismo tipo de trabajo.
- Todos los grupos dosimétricos se describen por la misma familia de distribuciones de dosis.

– Los parámetros de dicha familia varían anualmente y entre grupos dosimétricos.

El valor de $\varepsilon=3.467$ ha sido ajustado y validado con datos de nuestro centro, teniendo validez sólo en él. El hecho de que podamos usar el mismo coeficiente en años diferentes a los utilizados en el ajuste, y que el diagrama Q-Q haya proporcionado un resultado positivo, es indicio de que existe una única familia de distribuciones para todos los grupos dosimétricos. Con objeto de contrastar ésta hipótesis, sería deseable obtener y analizar datos dosimétricos de servicios homólogos de diferentes centros, lo que permitiría aumentar el tamaño muestral y realizar estudios con suficiente significación.

El mismo método descrito en este trabajo es útil para hallar la dosis grupal para diferentes valores de f_i , pudiendo encontrar empíricamente una distribución de dosis.

CONCLUSIONES

Con este trabajo se ha iniciado una línea de investigación que pretende evaluar de manera exacta las probabilidades que definen la clasificación dosimétrica de los TPE. En concreto, se ha definido explícitamente la probabilidad de superar un límite de dosis establecido en el RD 783/2001 como la probabilidad de que sólo un 1% de los trabajadores asignados a un grupo dosimétrico reciban dosis superiores a dicho límite. Además, hemos encontrado y validado un método para su cálculo.

El programa que implementa el método expuesto en este trabajo es útil para visualizar tendencias y sus resultados sirven como indicadores de calidad a la hora de determinar la efectividad de las acciones formativas de un SPR sobre los TPE a su cargo.

Por último, el programa nos proporciona información sobre el uso del dosímetro, permitiendo identificar los grupos dosimétricos que recambian su dosímetro inadecuadamente, y asignar dosis administrativas en base a los resultados obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RD 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el *Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes*. BOE n° 178 26-07-2001
- [2] Spiegel M.R.; Schiller J.; Srinivasan R.A. *Probabilidad y estadística*, McGrawHill Latinoamericana. 3ª Ed (2010) ISBN-13:9786071502704
- [3] CND Fondos ambientales utilizados en el cálculo de dosis personales. <http://www.cnd.es/cnd/dosimper4.php>
- [4] Francesch J. *Qué es y para qué sirve el Box-and-whiskers plot*. Jano 30 - Vol. XLIX N° 1131
- [5] Aksoy, H. *Use of Gamma Distribution in Hydrological Analysis*. (2000), Turk J. Engin Environ Sci, 24, 419 – 428
- [6] J. Winn *Variational Message Passing and its Applications* Ph.D. Thesis, Department of Physics, University of Cambridge, 2003
- [7] Chakravarti, Laha, and Roy. *Handbook of Methods of Applied Statistics*, Volume I, John Wiley and Sons (1967), pp. 392-394.
- [8] Hansen, Bertrand L.; Ghare, Prabhakar M., (aut.) Diorki, (tr.) *Control de Calidad. Teoría y Aplicaciones*. Ediciones Díaz de Santos, S.A. 1. ed.(12/1989) ISBN: 8487189318 ISBN13: 9788487189319

Alternativas de gestión para los residuos NORM

Juan C. 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, por ello llamadas industrias NORM.

En este artículo se analizan, tras la celebración en Madrid del Sexto EAN-NORM Workshop, en diciembre del año 2013, los avances producidos en la gestión de los materiales residuales NORM, junto con aquellas alternativas que se están analizando bajo el punto de vista de la protección radiológica.

ABSTRACT: The Natural Occurring Radioactive Materials (NORM) are generated in huge quantities in several industries, therefore named NORM industries.

In this article, after the celebration of the 6th EAN-NORM Workshop, in December 2013, the advances produced for the management of the NORM residual materials are analysed, along with the different alternatives which are being analysed under the Radiological Protection point of view.

Palabras clave: residuos, impacto radiológico, NORM, radiación natural y gestión de residuos.

Keywords: waste, radiological impact, NORM, natural radiation and waste management.

INTRODUCCIÓN

Si bien el control de las radiaciones ionizantes proveniente de fuentes naturales ya se había incorporado en el año 2001 al marco regulador, dentro del Título VII del Reglamento para la Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes [1], el establecimiento de medidas que den lugar a su aplicación práctica sobre los materiales naturales de procedencia natural, también llamados materiales NORM, incluyendo la de los materiales residuales generados en su uso (residuos NORM), ha precisado de varios avances legislativos posteriores, tanto a nivel internacional como nacional.

Con la última novedad de la publicación de las Normas Básicas de Seguridad Europeas a principios del corriente año 2014 [2], que ya habían sido adelantadas en gran medida en diversas modificaciones de la regulación nacional [3 - 6], se ha fijado de un modo preciso las industrias que generan dichos materiales NORM; se ha establecido la responsabilidad de asegurar la protección de los trabajadores y de los miembros del público en los titulares de las industrias que utilizan dichos materiales y gestionan sus materiales residuales y se han definido los niveles de protección que se consideran adecuados, tanto en términos de concentración de actividad como de dosis efectiva. De este modo puede considerarse que, salvo detalles, ya se poseen las herramientas legislativas que son necesarias para asegurar un nivel adecuado de protección en la utilización de estos materiales.

La aplicación práctica de dichos elementos legislativos, sin embargo, precisará de un esfuerzo que deberá llevarse a cabo de un modo progresivo. Para ello es necesario, entre otras

cosas, un alto grado de comunicación y colaboración entre la industria que debe aplicar la nueva regulación, el propio regulador y los agentes encargados de llevar a cabo los estudios que demuestren la seguridad de estas actividades industriales bajo el punto de vista de la protección radiológica.

Desde hace seis años la Unión Europea ha promovido ese diálogo dentro de la Red Europea Alara (EAN), creando un subgrupo dedicado a los NORM (EAN-NORM), que se reúne con una periodicidad anual, la última de ellas en la sede del Ciemat en Madrid, en diciembre del año 2013. En esa ocasión la reunión se dedicó a analizar las *Alternativas de gestión para los residuos NORM*, además de dedicar la última jornada a conocer cómo el uso y la gestión de los materiales NORM se han incluido en las recientemente aprobadas Normas Básicas de Seguridad, tanto del OIEA como de la Unión Europea, y cuál es la problemática específica que ello plantea con respecto al radón.

En este artículo se analizan las principales conclusiones a las que pueden llegarse tras dicha reunión.

GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN ESPAÑA

Uno de los aspectos principales que debe tenerse en cuenta con los residuos NORM es que no son residuos de nueva creación, sino que lo novedoso es la nueva regulación que controla el posible incremento a la exposición a las radiaciones que la gestión de esos materiales puede producir. Esta aparente obviedad es necesario destacarla para entender que ya eran residuos que estaban controlados por su carácter de residuos industriales. La regulación europea [7] para

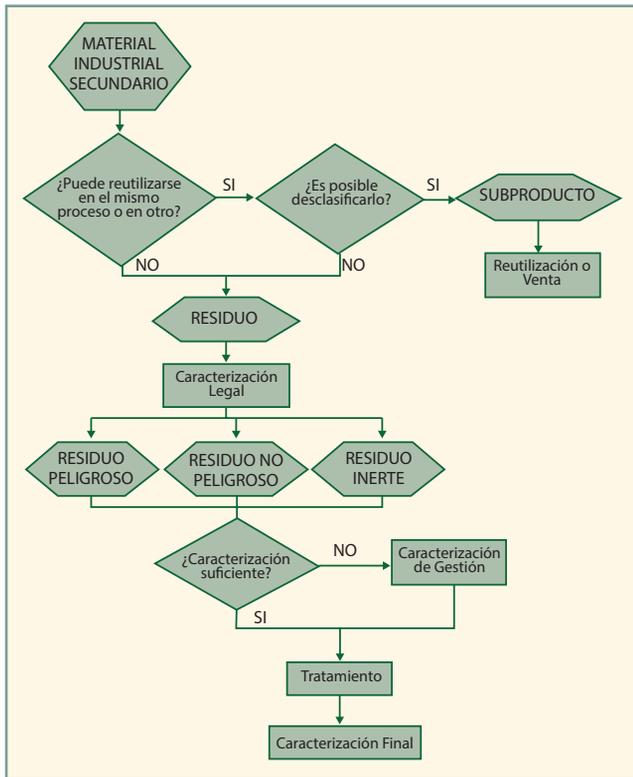


Figura 1. Diagrama utilizado para la gestión de residuos industriales.

estos residuos industriales asegura que su contenido tóxico, sin considerar la radiactividad, no afecte indebidamente al medio ambiente o a las personas.

Para ello se establece un protocolo de actuación en el que la prioridad es el reciclado y reutilización de dichos materiales, siempre que los niveles de toxicidad sean inferiores a los límites establecidos por la legislación. En función de la actividad industrial que da origen a dichos materiales y de los valores obtenidos en las medidas de cada elemento tóxico que debe ser controlado, cuando no es posible este reciclado o reutilización, se aislarán del entorno mediante las medidas adecuadas de protección, que serán mayores a medida que se incrementen dichos contenidos. Esta clasificación de los materiales se realiza siguiendo el esquema que se presenta en la Figura 1.

Una vez que se conoce que un material que no posee un uso posterior, puede clasificarse como peligroso, no peligroso o inerte, es posible su gestión en uno de los tipos de vertederos controlados contemplados en la legislación (ver Figura 2).

Esta forma de clasificar los residuos, que aseguraría un nivel adecuado de protección ante los elementos tóxicos que se contemplan en dicha legislación, debe ser adaptada de modo que incluya ahora el elemento del contenido radiactivo natural que estos materiales poseen.

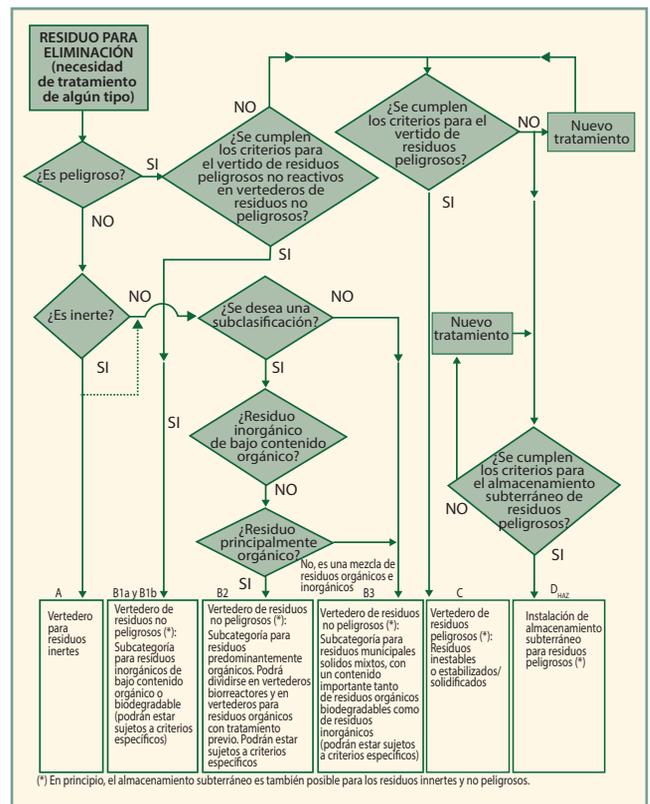


Figura 2. Opciones para la disposición de los residuos industriales en función de su procedencia y nivel de los distintos elementos tóxicos.

INCLUSIÓN DE LAS CONSIDERACIONES RESPECTO DE LA RADIATIVIDAD NATURAL EN LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES

La legislación que se ha desarrollado en los últimos años en nuestro país [8, 9], en armonía con la normativa internacional [10, 11], incluye las consideraciones que tienen que ver con el riesgo radiológico en la gestión de estos materiales. La base fundamental para ello es, evidentemente, la dosis efectiva que los trabajadores o el público puedan recibir en los distintos escenarios de exposición que se originen. La protección ante las radiaciones de estos residuos NORM, tal y como aparece en la legislación española, daría lugar a un esquema como el presentado en la Figura 3, que puede integrarse con las alternativas de gestión de los residuos convencionales que se han presentado en las figuras 1 y 2, priorizando la reutilización y el reciclado como opciones para minimizar las cantidades de residuos producidos, tal y como aparece en la Figura 4.

Las aproximaciones seguidas en otros países europeos son muy similares [13-15], siendo importante mencionar la definición de "vertederos evaluados" en el caso del Reino Unido, en los que una evaluación radiológica puede permitir

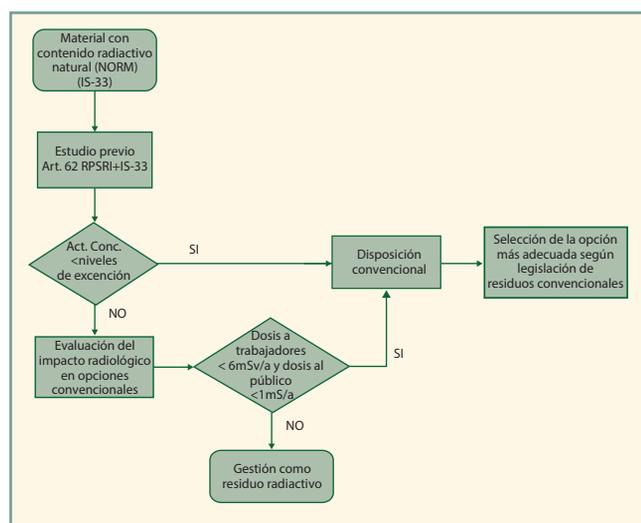


Figura 3. Proceso a seguir para la gestión de residuos NORM [11].

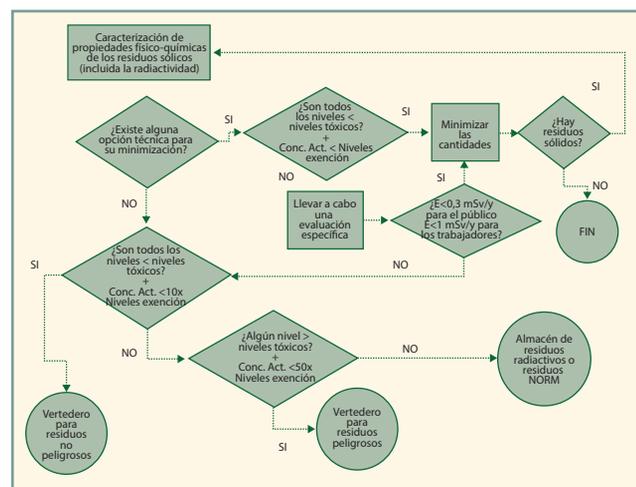


Figura 4. Diagrama de flujo con posibilidades para la gestión de residuos NORM [12]

el vertido de residuos NORM de concentraciones de hasta 10 Bq/g, o la definición de los *monolandfills* de Bélgica, en los que únicamente se depositarían residuos NORM bajo la condición de que las concentraciones sean inferiores a 0.1 Bq/g o, si se superan, una evaluación del impacto radiológico debe demostrar su seguridad. Es decir, la gestión en vertederos de residuos convencionales es algo que se contempla de forma habitual en la legislación de diversos países europeos, así como también la habilitación de vertederos dedicados en exclusiva a la disposición de residuos NORM de concentraciones de actividad elevadas.

Evidentemente los residuos NORM generados no sólo serán sólidos, sino que existirán otros gaseosos y líquidos, cuya gestión se debe controlar mediante la legislación medioambiental vigente y cumpliéndose también la legis-

lación que involucra la protección contra las radiaciones ionizantes. Este punto es especialmente importante cuando se tienen en cuenta ciertas opciones de gestión de los residuos sólidos, como la incineración, en la que se generarían efluentes gaseosos con contenido radiactivo y para lo que se necesitarán estudios específicos de su impacto radiológico.

Una alternativa que puede ser estudiada en mayor profundidad, indicada en las Normas Básicas de Seguridad Internacionales y que puede ayudar en una menor generación de residuos NORM a gestionar de forma específica, es la dilución de los materiales. En el marco de las NBS, estas actuaciones se podrían permitir en el caso en que la dilución tenga lugar en la operación normal, antes de que se consideren los aspectos relacionados con la radiactividad, o bien si la autoridad competente lo autoriza, en aquellas situaciones en las que la dilución de estos materiales promueva su reutilización y si reduce la exposición a los miembros del público. Es interesante mencionar en este punto la aproximación utilizada en los Países Bajos, donde se permite la dilución de ciertos residuos NORM hasta alcanzar niveles inferiores a los de exención, para promover su reutilización [16].

Y, por supuesto, la opción que debe contemplar en primer lugar el productor de residuos NORM, es si es posible reutilizarlos como materia prima en el mismo proceso o en otro distinto, con lo que el material será considerado subproducto y no residuo, siempre que se cumplan todos los criterios que fijen las distintas autoridades reguladoras. Evidentemente uno de los criterios deberá ser la protección radiológica, existiendo ya opciones de reutilización y reciclado en los que se han llevado a cabo estudios específicos.

REUTILIZACIÓN Y RECICLADO DE MATERIALES NORM

Una opción evidente para el reciclado de los materiales NORM es su uso como materiales de construcción. Este reciclado está sujeto también a que sea una opción segura, bajo el cumplimiento de la regulación que es aplicable. En este caso, a que el índice de concentración de actividad para la radiación gamma emitida por los materiales de construcción, definido a partir de la ecuación 1 [2], sea inferior a 1. Este índice, que debe aplicarse al material de construcción como tal, no a cada uno de sus componentes, puede usarse como herramienta de cribado conservadora, correspondiendo el valor de 1 a una dosis efectiva adicional de 1 mSv por año.

$$I = C_{Ra226}/300 + C_{Th232}/200 + C_{K40}/3000 \quad \text{Ecuación 1}$$

Existen además factores modificadores de este índice, para tener en cuenta correcciones de densidad y espesor de los materiales de construcción en los edificios, de forma que no



que se usan como coberturas finas, como ocurre por ejemplo con los azulejos. Debe indicarse, además, que ya existen propuestas para incorporar en dicho índice la influencia del radón como las que se presentan en las ecuaciones 2 y 3 (en la Ecuación 3 el factor α tiene en cuenta todos los parámetros relacionados con el radón) [17]. Mencionar por último la existencia de una base de datos, a nivel europeo, en la que se han recopilado datos de los materiales NORM más utilizados como materiales de construcción [18].

$$I_{\text{nuevo}} = C_{\text{Ra226}} (1/A_{\text{Ra226}} + 1/A_{\text{Rn222}}) + C_{\text{Th232}}/A_{\text{Th232}} + C_{\text{K40}}/A_{\text{K40}}$$

Ecuación 2

$$I_{\text{+Rn}} = C_{\text{Ra226}} (1+\alpha)/300 + C_{\text{Th232}}/200 + C_{\text{K40}}/3000$$

Ecuación 3

Para optimizar su reutilización como materiales de construcción se ha lanzado, a nivel europeo, una iniciativa COST denominada NORM4Building, con cuatro grupos de trabajo: un primer grupo desarrollará una base de datos del estado del arte de este tipo de reciclado, un segundo grupo se encargará de buscar nuevas opciones, un tercero de mejorar las medidas de radiactividad que se deben realizar a estos materiales de construcción y el cuarto y último de mejorar los modelos con los que se evalúa el impacto radiológico de estos materiales [19].

Existen variantes del uso como materiales de construcción para viviendas, como por ejemplo su utilización en la construcción de carreteras, presas, diques, instalaciones deportivas u otras obras en las que las limitaciones utilizadas en viviendas no tienen sentido. Para este tipo de construcciones dicho índice gamma, utilizado como indicador de una dosis efectiva calculada a partir de un escenario dosimétrico específico, pierde su valor, y sin embargo una evaluación del impacto radiológico debería constituir la base de su seguridad radiológica. En estos casos es importante asegurar que los modelos y parámetros utilizados en la definición de dichos escenarios de exposición, encuentren un equilibrio adecuado entre conservadurismo y realismo.

Otro uso, ampliamente reconocido internacionalmente, es la enmienda de suelos agrícolas con fosfoyesos, un residuo generado en la producción de ácido fosfórico partiendo de roca fosfática [20], de los lodos generados en las depuradoras [21] o de las cenizas volantes y yesos provenientes de las centrales de combustión de carbón [22]. Estas prácticas pueden provocar un incremento detectable en algunos radioisótopos como el ^{226}Ra o el ^{210}Po , así como en algunos elementos pesados como el cadmio o el mercurio, pero su impacto radiológico suele ser bajo y el impacto de otros contaminantes tampoco debería constituir un riesgo importante. Si bien ambas cuestiones aún deben ser estudiadas en profundidad.

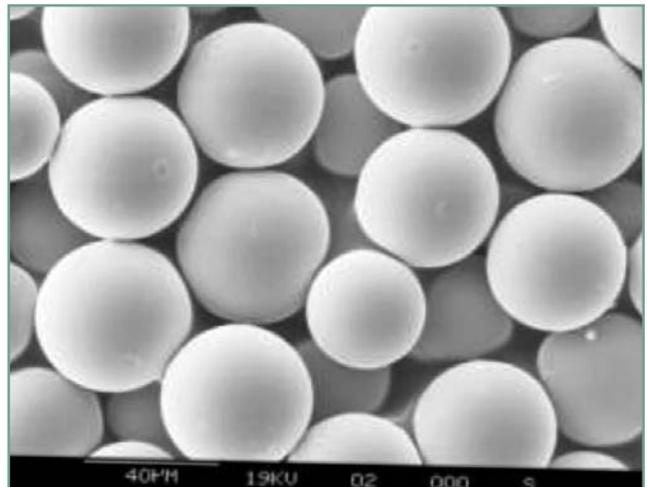


Figura 5. Imagen microscópica de cenosferas obtenidas a partir de las cenizas volantes.

Mencionar además los estudios que muestran que los fosfoyesos pueden ayudar a mejorar los procesos de descomposición microbiológicos en los vertederos de RSU, por lo que se ha planteado la opción de que sean utilizados como aditivos y como cubierta en estos vertederos [23].

Además de estos, existen otras técnicas en las que se reutilizan todos o parte de los residuos NORM, algunas de ellas incipientes debidas a la aparición de nuevas tecnologías. Por poner un ejemplo las cenosferas (Figura 5), que constituyen alrededor del 1-2% de las cenizas volantes producidas en la combustión de carbón, se utilizan como rellenos en aplicaciones donde es necesaria una baja densidad, como aislantes en la industria aeroespacial, como revestimientos para la absorción de frecuencias de radar en aplicaciones militares o en aplicaciones biotecnológicas entre otras [24].

GESTIÓN DE LOS RESIDUOS NORM

Como se mencionó anteriormente, la reutilización de todos esos materiales generados como subproductos en las industrias NORM, está sujeta a la demostración de que se cumplen los criterios radiológicos establecido por los organismos reguladores a nivel nacional. Esto debe cumplirse para cualquier elemento tóxico, incluidos los radioisótopos naturales. Para estos últimos podrían emplearse los niveles de exención y dispensa genéricos o bien otros niveles que el regulador aceptara para aplicaciones específicas.

Cuando no existen métodos que permitan el reciclado de dichos materiales, o si los niveles se encuentran por encima de los considerados intrínsecamente seguros, es cuando es necesario considerar la gestión de los que, ahora ya sí, se considerarían residuos NORM. Es en este caso cuando se deben

desarrollar las distintas opciones técnicas de gestión, de forma que tengan en cuenta preferiblemente las opciones que ya se utilizaban anteriormente para estos residuos. A partir de la publicación de la orden ministerial que regula la gestión de este tipo de residuos sólidos [6], se determina que aquellos residuos NORM que, bien posean un contenido en los radioisótopos naturales superior a los niveles de exención, bien un estudio del impacto radiológico demuestre que las dosis efectivas a los trabajadores y público se encuentran por debajo de los criterios establecidos, podrán ser gestionados por vías convencionales. Entre esas vías convencionales se encuentra la gestión en vertederos de residuos industriales, que ha sido objeto de estudio en España [25] obteniendo resultados muy similares a los obtenidos en otros países. Otras opciones convencionales, tales como la incineración de algunos de estos materiales, como los lodos, deberán ser estudiados del mismo modo.

Además de esas opciones convencionales de gestión, en otros países como en Bélgica o en Noruega, se utilizan vertederos destinados exclusivamente a almacenar residuos NORM. Estos vertederos, que pueden ser superficiales o subterráneos y que poseen barreras adicionales de protección, deben ser también objeto de análisis que demuestren su seguridad radiológica, según los mismos criterios dosimétricos. Y como caso extremo, dichos residuos NORM podrían ser tratados como residuos radiactivos en el caso en que la actividad sea muy elevada.

Es interesante mencionar aquí la iniciativa de la EPA para el uso de los vertederos de residuos NORM para la producción de energía renovable [26]. Dicha opción necesita también ser evaluada bajo los criterios expuestos anteriormente.

EVALUACIONES DEL IMPACTO RADIOLÓGICO

El cumplimiento de las legislaciones desarrolladas para controlar las exposiciones debidas a los materiales NORM, incluidas las guías que proporcionan los métodos a seguir para llevar a cabo las evaluaciones del impacto radiológico [27], precisa desarrollos tanto en los aspectos relacionados con las medidas de la radiactividad como en los modelos que deben ser utilizados para analizar las dosis asociadas en los escenarios de exposición elegidos.

Un primer paso es comprobar que las calibraciones de los detectores de radiactividad, son los adecuados para los residuos NORM. Para ello se ha iniciado una red europea denominada *Metronorm* que revisará los métodos utilizados en la fabricación de patrones y promoverá intercomparaciones entre laboratorios [28].

Además gran parte de los resultados obtenidos en las evaluaciones de impacto radiológico están basados en modelos, y es conocida la incertidumbre que dichos modelos poseen.

Es por ese motivo por el que varios grupos, a nivel internacional, se encuentran mejorando los modelos de predicción radioecológicos desde hace años, también para los radionucleidos naturales de los residuos NORM [29-31].

Además en el caso específico de los NORM es necesario considerar de forma conjunta los potenciales riesgos a la salud que podrían venir provocados por la existencia de contaminantes distintos. Es por este motivo que existe un gran interés en investigar dichas interacciones entre los contaminantes convencionales y los radioisótopos [32], haciendo que las evaluaciones integren la protección de la biota y del ser humano.

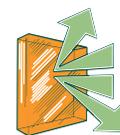
CONCLUSIONES

El resultado de la nueva regulación exige que los residuos industriales con contenido radiactivo de origen natural generados en estas industrias, deberán ser además controlados bajo el punto de vista de la protección radiológica. Esto ha implicado definir de una forma clara a partir de qué valores de concentración de actividad ese control es necesario, utilizando niveles de exención y dispensa derivados de forma genérica, pero también valores de dosis efectiva asociados con el modo de gestión elegido, a partir de los cuales se necesitará un nivel de control más elevado. A nivel nacional ya se han definido de un modo claro dichos niveles, que pueden ser utilizados. Sin embargo hay cuestiones prácticas para su aplicación plena y operativa que necesitan aún atención y ulteriores desarrollos.

El reciclado y la reutilización de los materiales residuales siempre ha sido considerado la opción primaria en cualquier proceso industrial, y debe ser también en el caso de los materiales NORM el primer criterio a ser considerado. Además de ello, se hace necesario ahora definir cuáles de las opciones de gestión convencional, que ya eran utilizados para gestionar los residuos NORM, necesitan revisarse bajo el prisma de la protección radiológica, llevando a cabo evaluaciones de su impacto radiológico siempre que fuera necesario. Esas evaluaciones deberán basarse evidentemente en modelos del comportamiento de los radionucleidos en el medio ambiente, que mejoran de forma continua, y los resultados obtenidos a partir de esos modelos deberán ser verificados experimentalmente siempre que sea posible.

Las opciones innovadoras, tanto en la reutilización de esos materiales, como en la gestión de otro modo de los residuos NORM, deberán ser exploradas para reducir los inmensos volúmenes que dichas industrias generan y optimizar por lo tanto los recursos, analizando en todo momento la seguridad radiológica de los procesos empleados.

Por supuesto, en todo momento deben considerarse las sinergias de los efectos que se producen al exponerse a elementos



radiactivos junto a otros contaminantes, además de asegurar una protección radiológica adecuada de la biota.

Todo ello ha merecido la atención de la Unión Europea, creando varias redes de intercambio de información, de las que deben mencionarse el EAN-NORM, NORM4Building o Metronorm, encaminadas a armonizar los esfuerzos realizados en este campo a nivel europeo, además de intentar optimizar los recursos disponibles.

Además, el principio Alara indica que debería existir un compromiso entre el detrimento que pueda causar el incremento a la exposición provocado por estas actividades, y el beneficio que obtiene la propia sociedad por las actividades en los que se generan.

REFERENCIAS

- [1] Real Decreto 783/2001 de 6 de julio de 2001, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.
- [2] Directiva 2013/59/Euratom del Consejo de 5 de diciembre de 2013 por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom.
- [3] 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.
- [4] 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. Publicada en el BOE nº 22 de 26 de enero de 2012.
- [5] Guía de Seguridad 11.3, de 12 de diciembre de 2012 del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre Metodología para la Evaluación del Impacto Radiológico de las Industrias NORM.
- [6] Orden IET/1946/2013, de 17 de octubre, por la que se regula la gestión de los residuos generados en las actividades que utilizan materiales que contienen radionucleidos naturales.
- [7] Directiva 91/689/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a los residuos peligrosos.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] International Atomic Energy Agency. *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3. INTERIM EDITION.* 2012.
- [11] Pedro Carboneras, M^a Teresa López y Ramón Morcillo. *Characteristics of Spanish NORM industries and technical ways for the management of their NORM waste.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [12] Juan C. Mora y Beatriz Robles. *NORM Management in Conventional Hazardous Waste Disposals.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [13] UK – EA. *Exemption guidance. Guidance for NORM industrial activities on how to comply with the radioactive substances exemption regime.* February 2013.
- [14] T. Anderson and S. Mobbs. *Conditional Exemption Limits for NORM Wastes.* HPA-CRCE-001. 2010.
- [15] G. Biermans, B. Dehandschutter, S. Pepin, A. Poffijn y M. Sonck. *Exemption levels and acceptance criteria for NORM residues in Belgian NORM regulations.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [16] Jeroen Welbergen y Rob Wiegers. *Re-use of NORM in Dutch waterworks.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [17] Cristina Nuccetelli, Federica Leonardi y Rosabianca Trevisi. *Health impact of recycling NORM residues in building materials.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [18] R Trevisi, M D'Alessandro, S Risica, C Nuccetelli. *Natural radioactivity in building materials in the European Union: a database and an estimate of radiological significance.* Journal of Environmental Radioactivity 105, 11-20. 2012.
- [19] Wouter Schroyers. *NORM4BUILDING: A new European network for reuse of NORM residues in innovative building materials.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [20] Rafael G^o Tenorio. *On the Use of Phosphogypsum in Agriculture.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [21] A. Baeza, A. Salas, J. Guillén y A. Muñoz. *NORM by-products from Drinking Water Treatment Plants: considerations for agricultural use.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [22] K.S. Sajwan, I. Twardowska, T. Punshon y A.K. Alva. *Coal Combustion Byproducts and Environmental Issues.* 2006.
- [23] V. Jacomino, MH Taddei, S. Cota, D. Silva y J. Mello. *Application of Phosphogypsum as a Material for Landfill Cover in Brazil.* IRPA 13. Glasgow. Mayo 2012.
- [24] L.K.A. Sear. *The properties and use of coal fly ash.* 2001.
- [25] J.C. Mora y B. Robles. *Incertidumbres en las evaluaciones dosimétricas de la gestión de NORM en repositorios de residuos convencionales.* Radioprotección nº 73. 2012.
- [26] EPA. *Handbook of Siting Renewable Energy Projects While Addressing Environmental Issues.* 2012.
- [27] CSN. Guía de Seguridad 11.3. *Metodología para la evaluación del impacto radiológico de las industrias NORM.* 2012.
- [28] Franz J. Maringer, Pierino de Felice, Virginia Peyres y M. Teresa Crespo. *Metrology for processing materials with high natural radioactivity.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [29] <http://www-ns.iaea.org/projects/emras/emras2/> (acceso 10 de abril de 2014)
- [30] <http://www-ns.iaea.org/projects/modaria> (acceso 10 de abril de 2014)
- [31] Danyl Pérez-Sánchez, Mike Thorne y Ryk Klos. *Developments in the modeling approach for radiological safety assessment of 238U-series radionuclides in waste disposal.* Presentación en el 6^o EAN-NORM Workshop. Madrid. Diciembre 2013.
- [32] Nathalie Vanhoudt, Hildegard Vandenhove, Almudena Real, Claire Bradshaw, Karolina Stark. *A review of multiple stressor studies that include ionising radiation.* Environmental Pollution. Volume 168, Pages 177–192. 2012.

Implicaciones de impurezas de Eu y Gd en la gestión de residuos de [¹⁵³Sm]Quadramet

M. A. Rossell^{1,2}, J. Carbajo^{1,2}, M. Jurado³, R. Sánchez⁴, J.J. Peña^{1,2} y J.I. Rayo⁵

¹Universidad de Extremadura. Facultad de Medicina, Cátedra de Física Médica.

²Hospital Universitario Infanta Cristina. Servicio de Protección Radiológica y Radiofísica.

³Universidad de Extremadura. Facultad de Ciencias, Área de Física Atómica y Nuclear.

⁴Hospital Universitario Infanta Cristina. Unidad de Radiofarmacia.

⁵Hospital Universitario Infanta Cristina. Servicio de Medicina Nuclear.

RESUMEN: El radiofármaco Quadramet, empleado en los Servicios de Medicina Nuclear para paliar el dolor debido a las metástasis óseas, contiene como impurezas radioisótopos de Eu y Gd, alguno de ellos con semiperiodo de desintegración superior a cinco años. El objetivo del presente estudio es considerar las implicaciones de estas impurezas en la gestión de los residuos generados. Para ello se realizan medidas por muestreo de los viales residuales de varios lotes del producto mediante espectrometría de radiación gamma. Se determinan las proporciones respecto a la actividad del ¹⁵³Sm de las actividades de los radioisótopos detectados: ¹⁵²Eu, ¹⁵⁴Eu, ¹⁵⁵Eu y ¹⁵³Gd. A partir de los resultados obtenidos, se estima que la contribución de estas impurezas a la actividad total de los residuos líquidos hospitalarios evacuados mediante un sistema de vertidos controlado convencional es del orden de una milésima del límite aceptado de 1 GBq. No obstante, su presencia en los residuos sólidos (viales, jeringuillas y agujas) supone la imposibilidad de clasificarlos como materiales residuales que potencialmente pueden evacuarse por vía convencional.

ABSTRACT: Quadramet, a radiopharmaceutical used in Nuclear Medicine in order to treat the pain associated with bone metastases, is contaminated with radioisotopes of Eu and Gd, some of them with a long physical half-life (more than 5 years). This paper tries to make some considerations about the implications of the radioisotope contamination of waste. We have obtained the gamma radiation spectrometry of some residual vials of several lots of the product. We have measured the activity percentage of the detected radioisotopes (¹⁵²Eu, ¹⁵⁴Eu, ¹⁵⁵Eu y ¹⁵³Gd) among the activity of ¹⁵³Sm. From the results, we have estimated that the increased activity in liquid waste due to detected radioisotopes is about 10⁻³ the accepted limit level of 1 GBq. However, the level of the contaminating radioisotopes in solid wastes (vials, syringes and needles) are so elevated that they can't be disposal as conventional waste.

Palabras clave: samario, europio, espectrometría gamma, impurezas, residuos.

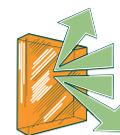
Keywords: samarium, europium, gamma spectrometry, impurities, waste.

INTRODUCCIÓN

El fármaco *Quadramet* se utiliza en los Servicios de Medicina Nuclear para el tratamiento del dolor debido a las metástasis óseas osteoblásticas. Es un radiofármaco cuyo principio activo es el samario [¹⁵³Sm] leixidronam pentasódico formado a su vez, por el ácido etilendiaminotetrametileno fosfónico (EDTMP) unido al radionúclido ¹⁵³Sm. El ácido EDTMP presenta una gran afinidad por el tejido óseo, concentrándose especialmente en zonas de rápido crecimiento óseo, como las metástasis osteoblásticas. De este modo, la radiación beta emitida por el ¹⁵³Sm actúa a nivel local y contribuye a aliviar el dolor óseo.

La actividad administrada en el tratamiento es 37 MBq por kilogramo de peso del paciente, es decir, entre 2220 y 6290 MBq de actividad total. Se generan como residuos líquidos acuosos la orina de los pacientes tratados, y como residuos

sólidos contaminados principalmente viales, jeringuillas y agujas que contienen restos del radiofármaco. En nuestro hospital, la orina de estos pacientes se almacena en depósitos de 4000 litros de capacidad junto con la orina proveniente de otros pacientes sometidos a tratamiento o diagnóstico con otros isótopos y se deja decaer hasta que la dosis efectiva comprometida derivada por incorporación sea inferior a 1/20 del límite anual de dosis (LAD) para miembros del público. Los residuos sólidos se tratan, en un principio, como materiales residuales que potencialmente pueden evacuarse por vía convencional (periodo de semidesintegración del ¹⁵³Sm = 46,3 horas) dejándolos decaer durante tres meses desde la generación de estos residuos, siguiendo de forma conservadora las recomendaciones de la guía técnica de la SEPR y Enresa [1].



La Guía de Seguridad 9.2 del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) [2], establece que “debería garantizarse que la gestión de los materiales residuales con contenido radiactivo no supone riesgos radiológicos inaceptables para los trabajadores, para el público y para el medio ambiente” y por tanto, “previamente a su salida de la instalación, los materiales que vayan a ser evacuados como residuos convencionales deberían ser sometidos a una serie de medidas de control, para que dicha evacuación se realice con todas las garantías de seguridad y protección radiológica”, debiéndose realizar la “comprobación de los niveles de radiación o contaminación antes de la salida de la instalación”.

Atendiendo a las recomendaciones metodológicas de esta guía, la determinación de la tasa de dosis en contacto con contenedores en cuyo interior se alojaban jeringuillas y viales contaminados con ^{153}Sm y que iban a ser eliminados tras el tiempo mencionado de decaimiento, arrojaban valores de 10 a 100 veces por encima del fondo radiactivo natural. Los mismos resultados se obtienen cuando el periodo de decaimiento es superior a 1 año. Esto ponía en evidencia la presencia junto al ^{153}Sm de radionúclidos contaminantes de periodo más largo.

Según se describe en la bibliografía, en la producción del ^{153}Sm mediante activación neutrónica a partir de Sm_2O_3 enriquecido con ^{152}Sm (98%), se producen impurezas indeseadas de diferentes radioisótopos, fundamentalmente de Eu.

Los objetivos de este trabajo son dos: identificar los radionúclidos presentes en estos residuos, mediante una revisión bibliográfica y mediante espectrometría de radiación gamma; y cuantificar los niveles de actividad presentes a partir de los espectros obtenidos para replantear los procedimientos de evacuación.

MATERIAL Y MÉTODO

Se han realizado medidas de tasa de dosis en contacto con recipientes que contienen residuos de ^{167}Ga , ^{123}I , ^{153}Sm y otros isótopos con periodos de semidesintegración del orden de 0,5 a 3 días y que iban a ser eliminados como residuos

convencionales obteniéndose valores de tasa de dosis que oscilan entre 4 y 25 $\mu\text{Sv/h}$. Tras las medidas, se segregaron de ellos los viales de ^{153}Sm y se midieron las tasas de dosis en contacto. Las medidas se realizaron con el monitor UMo-123 conectado a la sonda de radiación ambiental LB 1236. De entre todos los viales de ^{153}Sm , se seleccionaron viales representativos de cada año del conjunto de viales segregados.

Se obtuvieron, en primer lugar, los espectros de emisión gamma de los viales utilizando el detector de centelleo Inspector 1000 de Canberra. La baja resolución del NaI impide determinar las impurezas presentes. Por este motivo, se han obtenido los espectros gamma utilizando un detector coaxial de germanio hiperpuro tipo p (20%) de Canberra, referencia B87016 de brazo vertical (modelo 7500), perteneciente al Grupo Experimental de Radiaciones Nucleares del Departamento de Física de la Universidad de Extremadura (GERN). Los espectros obtenidos se utilizarán para analizar las muestras con el fin de determinar y cuantificar las impurezas presentes. La eficiencia relativa del detector es del 20% respecto a la eficiencia del NaI(Tl) de 3"x3" y su resolución en energía, de 1.93 keV ambas referidas a la energía de 1332 keV del ^{60}Co , suficiente para nuestros propósitos.

El sistema se ha calibrado con una muestra patrón, suministrada también por el GERN, y adquirida al Ciemat, con la misma geometría que las muestras a analizar. Los datos necesarios para el análisis del espectro de la muestra patrón y los distintos espectros problema se han obtenido de las bases de datos [3] y [4] de la bibliografía.

Se ha empleado el programa comercial Genie 2000 [5] y el código DETEFF [6] para calibrar el sistema de espectrometría de radiación gamma y analizar los espectros obtenidos.

Las medidas de interés en el presente trabajo se realizan sobre residuos sólidos contaminados que habitualmente se presentan como restos líquidos sobre viales de vidrio. La presentación comercial de *Quadramet* ^{153}Sm es en vial de vidrio incoloro tipo I de la farmacopea europea, de 15 ml, cerrado con tapón de caucho natural/clorobutilo recubierta de teflón y cápsula de aluminio. Los viales tienen un peso aproximado

Muestra	Fecha de referencia de actividad	Volumen original de QUADRAMET (ml)	Volumen de residuo en el vial (ml)	Volumen de residuo en la muestra (ml)
GeUEx Sm-153-2005	29/9/2005 12 h CET	3,4	1,3	0,5
GeUEx Sm-153-2008	13/11/2008 12 h CET	3,0	1,2	0,5
GeUEx Sm-153-2009	30/4/2009 12 h CET	—	—	0,7
GeUEx Sm-153-2010	29/7/2010 12 h CET	3,8	1,8	0,7
GeUEx Sm-153-2011	28/7/2011 12 h CET	2,0	—	0,7
GeUEx Sm-153-2012	14/5/2012 12 h CET	4,8	1,4	0,3

Tabla I. Características de residuos líquidos en los viales de QUADRAMET ^{153}Sm -EDTMP analizados.

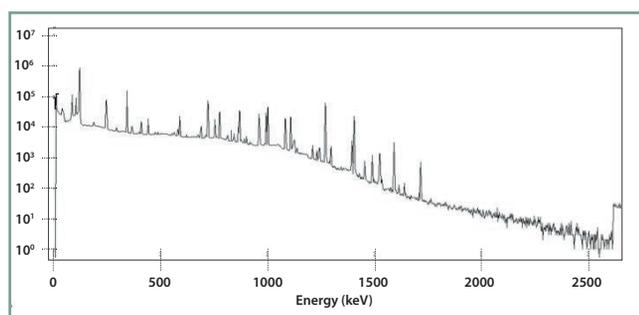


Figura 1.

de 15 g. El patrón se ha preparado sobre uno de estos viales, vertiendo 50 µl de disolución y completando hasta 5 ml con HCl 1 N para evitar la adsorción de los radionúclidos en las paredes del vial.

La Tabla I muestra las características de los viales seleccionados para su análisis espectrométrico. Las muestras se preparan para que presenten la misma geometría que el patrón de calibración del Ciemat. Se extraen cantidades entre 0,3 a 0,7 ml del residuo y se vierten en un nuevo vial vacío, añadiendo HCl 1 N hasta completar 5 ml.

Sobre el espectro se determinaron los radionúclidos presentes en la muestra. Posteriormente, de cada línea del espectro (E_i) correspondiente a un determinado radionúclido (k) podemos calcular su actividad mediante la expresión:

$$A_k = \frac{N_i}{\Delta t \cdot \varepsilon_i \cdot p_k(E_i)} \quad (1)$$

- A_k : actividad del radionúclido k .
- ε_i : eficiencia de detección para la energía E_i .
- N_i : número de cuentas en el pico de energía E_i .
- Δt : tiempo real de medida del espectro.
- $p_k(E_i)$: probabilidad de emisión de la línea de energía E_i del radionúclido k .

RESULTADOS

La Figura 1 muestra un ejemplo de los espectros adquiridos de los viales analizados. Se han identificado cuatro impurezas: ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu y ^{153}Gd . En la Tabla II se muestran las concentraciones de las distintas impurezas obtenidas de los espectros, referidas a la fecha de referencia de cada vial, que se muestra en la etiqueta del radiofármaco *Quadramet*. La concentración de ^{153}Sm en cada vial es de 1,3 GBq/ml en la fecha de calibración.

DISCUSIÓN

Pureza radionúclida

En la 44ª reunión del Comité de Expertos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre Especificaciones

para las Preparaciones Farmacéuticas, llevada a cabo en 2009 con el objetivo de preparar la 4ª Edición de la Farmacopea Internacional, se prepara un documento relativo a las características del radiofármaco $^{153}\text{Sm-EDTMP}$ [7]. En lo relativo a la pureza radionúclida se menciona:

“Se registrarán los espectros gamma y RX utilizando un instrumento apropiado y midiendo la vida media mediante un método igualmente apropiado. Se determinarán las cantidades relativas de ^{153}Sm , ^{154}Eu y otras impurezas radionúclidas que puedan estar presentes. No menos del 99,8% de la radiactividad será debida al ^{153}Sm y no más del 0,01% de la radiactividad total será debida al ^{154}Eu . La suma del resto de impurezas emisoras gamma será menor de 0,2%”.

En este sentido, en el *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) existe un “valor de referencia clave para comparación” de medidas de actividad de ^{153}Sm [8]. Los laboratorios nacionales de metrología envían periódicamente muestras medidas localmente en ampollas suministradas por el BIPM, que llenarán con 3,6 g del radionúclido en forma líquida. Los resultados relativos a las concentraciones de impurezas presentes en las muestras se resumen en la Tabla III.

Finalmente, en la bibliografía consultada relativa a la producción de impurezas del ^{153}Sm , resumida en la Tabla IV, resulta difícil extraer valores absolutos de las magnitudes de interés: actividades de europios relativas a la actividad del ^{153}Sm en la fecha de referencia incluida en el vial del radiofármaco EDTMP. Las dificultades para ello son de diversa naturaleza:

- No se informa adecuadamente del blanco del que se obtiene el ^{153}Sm : enriquecimiento en ^{152}Sm , tiempo de bombardeo,...
- No hay coincidencia entre los diferentes autores sobre el momento en el que se mide la actividad de referencia del ^{153}Sm al que se refieren las actividades de las distintas impurezas de Eu: final del bombardeo (EOB), fecha de referencia del radiofármaco en el vial.
- Se usan distintos métodos de medida: espectrometría con semiconductor, con INa, contadores de cuerpo entero, gammacámaras o por centelleo líquido.
- Son diferentes los objetivos de los artículos científicos: producción de ^{153}Sm o estudio metabólico del radiofármaco en los pacientes.

Niveles de exención

En la Tabla V se amplían los cálculos descritos en la Tabla 3.1 del Informe de Actividades del Grupo de Efluentes del Foro de Protección Radiológica en el medio hospitalario [9], incluyendo las aportaciones debidas a los radionúclidos de Eu y Gd en las proporciones detectadas.

La eliminación de estos residuos líquidos de ^{153}Sm y de los radionúclidos contaminantes se realiza conjuntamente con el resto de isótopos utilizados en Medicina Nuclear, constituyendo un volumen total de aproximadamente 4000 l

Radionúclido	Muestra	Concentración de Actividad (MBq/ml)	Media de Concentración de Actividad (MBq/ml)	Porcentaje de A en vial relativo a A (¹⁵³ Sm) (%)	Media de Porcentaje de Actividad (%)
¹⁵² Eu	GeUJEX Sm-153-2005	0,013	0,018±0,004	0,0010	0,0014±0,0003
	GeUJEX Sm-153-2008	0,014		0,0011	
	GeUJEX Sm-153-2009	0,020		0,0015	
	GeUJEX Sm-153-2010	0,022		0,0017	
	GeUJEX Sm-153-2011	0,020		0,0015	
	GeUJEX Sm-153-2012	0,019		0,0015	
¹⁵⁴ Eu	GeUJEX Sm-153-2005	0,020	0,022±0,004	0,0015	0,0017±0,0003
	GeUJEX Sm-153-2008	0,017		0,0013	
	GeUJEX Sm-153-2009	0,030		0,0023	
	GeUJEX Sm-153-2010	0,020		0,0016	
	GeUJEX Sm-153-2011	0,024		0,0019	
	GeUJEX Sm-153-2012	0,024		0,0018	
¹⁵⁵ Eu	GeUJEX Sm-153-2005	0,003	0,004±0,001	0,0003	0,0003±0,0001
	GeUJEX Sm-153-2008	0,003		0,0003	
	GeUJEX Sm-153-2009	0,005		0,0004	
	GeUJEX Sm-153-2010	0,005		0,0004	
	GeUJEX Sm-153-2011	0,005		0,0004	
	GeUJEX Sm-153-2012	0,005		0,0003	
153Gd	GeUJEX Sm-153-2005	—	0,0014±0,0002	—	0,00011±0,00001
	GeUJEX Sm-153-2008	0,0012		0,00009	
	GeUJEX Sm-153-2009	0,0013		0,00010	
	GeUJEX Sm-153-2010	0,0015		0,00012	
	GeUJEX Sm-153-2011	0,0014		0,00010	
	GeUJEX Sm-153-2012	0,0016		0,00013	

Tabla II. Distribuciones de las concentraciones de actividad y concentraciones relativas de las impurezas a la actividad por unidad de volumen de ¹⁵³Sm presente en los viales en la fecha de referencia de cada vial.

Laboratorio	Composición Química	Disolvente (mol/dm ³)	Soluto (μ/g)	Densidad (g/cm ³)	Impureza	Actividad relativa %
NIST	SmCl ₃ en HCl	1,05	SmCl ₃ : 265	1,016	¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁶ Eu	0,034±0,002 0,105±0,008
PTB	SmCl ₃ en HCl	0,1	Sm ⁺⁺⁺ : 20	0,999	¹⁵² Eu ¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁵ Eu ¹⁵⁶ Eu ¹⁵³ Gd	0,000990±0,000010 0,00395±0,00005 0,000535±0,000016 0,009±0,008 0,00014±0,00003
NPL	SmCl ₃ en HCl	1,0	Sm: 20	1,05	¹⁵² Eu ¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁶ Eu	0,002±0,002 0,0037±0,0006 0,005±0,006
BNM-LNHB	SmCl ₃ en HCl	0,1	Sm: 20	1	¹⁵² Eu ¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁶ Eu ¹⁵³ Gd	0,0014±0,0001 0,002±0,002 0,0049±0,0005 0,00025±0,00013

Tabla III. Actividad relativa (a la actividad del ¹⁵³Sm en la fecha de referencia) de las impurezas detectadas por laboratorios nacionales de metrología.

de orina por vertido. La Tabla VI recoge la dosis efectiva comprometida teniendo en consideración los porcentajes de impureza obtenidos en este trabajo y los valores de dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación por ingestión para miembros del público extraídos de la Tabla A del Anexo III RD 783/2001 [10]. Se considera una actividad anual de 49,95 GBq de ¹⁵³Sm. El consumo de agua por persona se estima en 600 l/año. Para efectuar los cálculos se considera que los residuos procedentes de los depósitos

(flujo de evacuación: 7000 l/h) se mezclan con el resto de residuos líquidos del hospital (flujo: 10000 l/h) y que la evacuación se realiza bajo las condiciones de tiempo de llenado (3 meses) y tiempo de almacenamiento (3 meses) equivalentes a las mencionadas en el Informe de Actividades del Grupo de Efluentes [9].

Con respecto a los contenedores de residuos sólidos, que contienen viales con restos líquidos de ¹⁵³Sm, se considerarán los valores de exención que se recogen en la orden

Referencia	Blanco	Impurezas	Actividades (Bq)	% A respecto a A(¹⁵³ Sm)	Tiempo de medida
(Marcus, y otros, 1997)	— ¹⁵² Sm natural (26,7%)	¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁵ Eu ¹⁵⁶ Eu		0,0093 0,0018 0,017 0,226	Inyección 2 d después EOB
(Saraswathy, y otros, 2001)	¹⁵² Sm ₂ O ₃ enriquecido (98%)	¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁵ Eu ¹⁵⁶ Eu ¹⁵⁴ Eu	148	0,0014 0,00017 — 0,0004	2 d después EOB EOB
(Ramamoorthy, y otros, 2002)	¹⁵² Sm ₂ O ₃ (98%)	¹⁵⁵ Eu ¹⁵² Eu	300 30 60 15000	0,0008 0,00008 0,00016	2 d después EOB EOB 2 d después EOB
(Fischer, y otros, 2004)	¹⁵² Sm ₂ O ₃ enriquecido	¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁶ Eu ¹⁵² Eu ¹⁵³ Eu	7000 19000		
(Ratel, y otros, 2004)		¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁵ Eu ¹⁵⁶ Eu		Varios laboratorios de referencia nacionales	
(Moro, y otros, 2006)	¹⁵² Sm ₂ O ₃ enriquecido	¹⁵⁴ Eu		0,0012	Inyección
(Pérez, y otros, 2007)	¹⁵² Sm ₂ O ₃ (98%)	¹⁵⁴ Eu		0,0027	
(World Health Organization, 2009)	Estándar sobre ¹⁵⁴ Eu y el resto de impurezas			Estandar: ¹⁵⁴ Eu < 0.01% Resto de impurezas < 0,2%	
(Bahrami-Samani, y otros, 2009)	¹⁵² Sm ₂ O ₃ (98,7%)	¹⁵⁴ Eu ¹⁵⁵ Eu		< 4,7x10 ⁻⁵ < 2,4x10 ⁻⁵	EOB
(Hayes, y otros, 2010)		¹⁵⁴ Eu			

Tabla IV. Resumen de búsqueda bibliográfica con medidas de concentraciones relativas de impurezas en ¹⁵³Sm.

Isótopo	Proporción (%)	Act/aplic (Bq)	Nº Apl.	Actividad Utilizada (Bq/a)	Eliminación	Actividad incorporada S. Tratamiento (Bq/a)	Actividad final mes 1 (Bq/mes)	Actividad final mes 2 (Bq/mes)	Actividad total recogida en 3 meses (Bq)	Actividad tras 3 meses de almacenamiento (Bq)	Actividad anual vertida (4 tanques/a) (Bq/a)
¹⁵³ Sm	100	3,33E+09	15	5,00E+10	0,5	2,50E+10	4,87E+04	1,140E+00	2,08E+09	2,66E-05	1,06E-04
¹⁵² Eu	0,0014			6,99E+05	0,5	3,50E+05	2,90E+04	2,89E+04	2,91E+04	8,60E+04	3,44E+05
¹⁵⁴ Eu	0,0017			8,49E+05	0,5	4,25E+05	3,51E+04	3,49E+04	3,54E+04	1,03E+05	4,13E+05
¹⁵⁵ Eu	0,0003			1,50E+05	0,5	7,49E+04	6,17E+03	6,10E+03	6,24E+03	1,79E+04	7,14E+04
¹⁵³ Gd	0,00011			5,49E+04	0,5	2,75E+04	2,26E+03	2,24E+03	2,29E+03	6,55E+03	2,62E+04

Tabla V. Estimación de los vertidos efectuados desde el Sistema de Control de efluentes. Tabla similar a la tabla 3.2 del Anexo 3 del Informe de Actividades del Grupo de Efluentes del Foro de Protección Radiológica en el Medio Hospitalario.

Isótopo	Proporción (%)	Act/aplic (Bq)	Nº Apl.	Actividad Utilizada (Bq/a)	Eliminación	Dosis Efectiva Comprometida por Ingestión (Sv/Bq)	Actividad tras 3 meses de almacenamiento (Bq)	Concentración de A tras 3 meses de almac. (Bq/l)	Concentración de A a la salida (Bq/l)	Dosis efectiva comprometida (para ing. 600 l) (mSv)
¹⁵³ Sm	100	3,33E+09	15	5,00E+10	0,5	7,40E-10	2,66E-05	6,65E-09	4,65E-09	2,70E-12
¹⁵² Eu	0,0014			6,99E+05	0,5	1,40E-09	8,60E+04	2,15E+01	1,50E+01	1,26E-02
¹⁵⁴ Eu	0,0017			8,49E+05	0,5	2,00E-09	1,03E+05	2,58E+01	1,81E+01	2,17E-02
¹⁵⁵ Eu	0,0003			1,50E+05	0,5	3,20E-10	1,79E+04	4,46E+00	3,12E+00	6,00E-04
¹⁵³ Gd	0,00011			5,49E+04	0,5	2,70E-10	6,55E+03	1,64E+00	1,15E+00	2,00E-04

Tabla VI. Dosis efectiva comprometida debida a los residuos de ¹⁵³Sm, teniendo en cuenta las proporciones de impurezas obtenidas y bajo las suposiciones de consumo mencionadas en la tabla 3.2 del Anexo 3 del Informe de Actividades del Grupo de Efluentes del Foro de Protección Radiológica en el Medio Hospitalario.

Caracterización de residuos sólidos contaminados									
Etapa	Tipo de residuo	Descripción del residuo	Actividad inicial (Bq)	% Actividad Residual	Peso Total (g)	Volumen Total (ml)	Actividad másica (Bq/g)	Nivel de Exención (Bq/g)	Tiempo almacenamiento
Inyección	Sólido	Vial ^{153}Sm	2,96E+09	100	17,28	2,28	1,71E+08	1E+02	40 días
Inyección	Sólido	Jeringuilla ^{153}Sm	2,96E+09	100	4,78	2,28	6,19E+08	1E+02	44 días
Inyección	Sólido	Aguja ^{153}Sm	2,96E+09	100	2,88	2,28	1,03E+09	1E+02	45 días
Inyección	Sólido	Vial $^{152}\text{Eu} = 0,0014\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	4,14+04	100	17,28	2,28	2,40E+03	1E+01	107 años
Inyección	Sólido	Jeringuilla $^{152}\text{Eu} = 0,0014\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	4,14+04	100	4,78	2,28	8,67E+03	1E+01	132 años
Inyección	Sólido	Aguja $^{152}\text{Eu} = 0,0014\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	4,14+04	100	2,88	2,28	1,44E+04	1E+01	142 años
Inyección	Sólido	Vial $^{154}\text{Eu} = 0,0017\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	5,03+04	100	17,28	2,28	2,91E+03	1E+01	70 años
Inyección	Sólido	Jeringuilla $^{154}\text{Eu} = 0,0017\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	5,03+04	100	4,78	2,28	1,05E+04	1E+01	86 años
Inyección	Sólido	Aguja $^{154}\text{Eu} = 0,0017\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	5,03+04	100	2,88	2,28	1,75E+04	1E+01	93 años
Inyección	Sólido	Vial $^{155}\text{Eu} = 0,0003\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	8,88+03	100	17,28	2,28	5,14E+02	1E+02	11 años
Inyección	Sólido	Jeringuilla $^{155}\text{Eu} = 0,0003\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	8,88+03	100	4,78	2,28	1,86E+03	1E+02	20 años
Inyección	Sólido	Aguja $^{155}\text{Eu} = 0,0003\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	8,88+03	100	2,88	2,28	3,08E+03	1E+02	24 años
Inyección	Sólido	Vial $^{153}\text{Gd} = 0,0001\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	2,96+03	100	17,28	2,28	1,71E+02	1E+02	187 días
Inyección	Sólido	Jeringuilla $^{153}\text{Gd} = 0,0001\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	2,96+03	100	4,78	2,28	6,19E+02	1E+02	632 días
Inyección	Sólido	Aguja $^{153}\text{Gd} = 0,0001\% \text{ } ^{153}\text{Sm}$	2,96+03	100	2,88	2,28	1,03E+03	1E+02	808 días

Tabla VII. Caracterización de residuos sólidos contaminados según el formato IV del Anexo III: Formato para caracterización de técnicas, de la Guía de SEPR-Enresa [1].

ECO/1449/2003 de gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo [11]. La Tabla VII recoge, en este sentido y siguiendo el procedimiento establecido en la Guía Técnica de Materiales Residuales de SEPR-Enresa [1], los tiempos de almacenamiento para viales, jeringuillas y agujas teniendo en cuenta las proporciones de impurezas halladas.

CONCLUSIONES

Pureza radionúclida

A efectos de comparación de las concentraciones de impurezas relativas al ^{153}Sm obtenidas en el presente trabajo y por los motivos arriba mencionados, se toman en mayor consideración los resultados del BIPM y los límites impuestos por la OMS relativas a la Farmacopea Internacional. En este sentido:

- Se identifican y cuantifican las impurezas de: ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu y ^{153}Gd .

- Las proporciones en que se hallan las impurezas están de acuerdo con las recomendaciones del documento relativo a las características del radiofármaco ^{153}Sm -EDTMP preparado para la 4ª Edición de la Farmacopea Internacional [7].
- Las proporciones en que se hallan las impurezas se mantienen dentro de los órdenes de magnitud de los resultados presentes en el BIPM de los laboratorios: PTB, NPL y BNM-LNHB. No concuerdan con los resultados del laboratorio NIST, que se desvían también de aquéllos.
- No todos los radionúclidos detectados en nuestros residuos están presentes en las muestras de todos los laboratorios nacionales. No detectamos el ^{156}Eu , debido a su menor semiperiodo (15,2 días).

Niveles de exención

La cantidad de residuos añadidos al sistema de vertido controlado, teniendo en cuenta las impurezas y un consumo de

^{153}Sm -EDTMP equivalente al mencionado en el Informe de Actividades del Grupo de Efluentes, es del orden de una milésima parte del límite de actividad anual que potencialmente se podría descargar al sistema de alcantarillado desde el hospital, que es de 1 GBq.

Sin embargo, considerando una ingestión anual de 600 l, la dosis efectiva comprometida debida a las impurezas de ^{152}Eu y ^{154}Eu es del orden de 0,035 mSv. Por ello, deberá considerarse la contribución de estos isótopos a la hora de calcular la concentración de actividad en el punto final de vertido a la red general de alcantarillado.

En cuanto a los residuos sólidos, se demuestra que al contemplar la presencia de las impurezas de Eu y Gd en viales, jeringuillas y agujas, los tiempos de almacenamiento obtenidos obligan a clasificar estos residuos como de periodo superior a cinco años. Aún cuando redujésemos la hipótesis conservadora de considerar que el 100% de la actividad permanece en el residuo sólido a un 1%, este resultado permanece. Se cuestiona la posibilidad de decaimiento en el centro para el ^{153}Sm como se muestra en la Tabla 2.1 de la Guía Técnica de Materiales Residuales de SEPR-Enresa [1]. La forma más idónea para eliminar estos residuos estimamos que es extraer el líquido remanente en los viales y proceder a su eliminación como residuos líquidos, diluidos en el volumen total de residuos líquidos del hospital.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] SEPR Sociedad Española de Protección Radiológica and ENRESA Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, *Guía técnica de gestión de materiales residuales con contenido radiactivo procedente de instalaciones de ámbito sanitario*, 2002.
- [2] Consejo de Seguridad Nuclear, *Guía Seguridad 9.2 Gestión de residuos sólidos en instalaciones radiactivas*, diciembre 12, 2001.
- [3] International Atomic Energy Agency, *Update of X Ray and Gamma Ray Decay Data Standards for Detector Calibration on other applications*, 2007.
- [4] Alejandro Sonzogni. [2010] <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>. [Online]. <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>
- [5] Canberra Industries Inc., *Genie2000. Spectroscopy System. Operations*, 923084621st ed.: Canberra Industries Inc., 2002.
- [6] N. Cornejo Díaz and M. Jurado Vargas, *Improving the trade-off between simulation time and accuracy in efficiency calibrations with the code DETEFF*, Applied radiations and isotopes, pp. 1413-1417, 7-8 2010.
- [7] World Health Organization, *Samarium (^{153}Sm) Ethylenediamine Tetramethylene Phosphonate [EDTMP] Complex Injection: Final text for addition in The International Pharmacopoeia*, 2009.
- [8] G. Ratel and C. Michotte, *BIPM comparison BIPM.RI(III)-K1. Sm-153 of activity measurements of the radionuclide ^{153}Sm* , Bureau International des Poids et Measures, 2004.
- [9] Marisa Chapel Gómez, Nati Ferrer García, Lucila M^o Ramos Salvador, and Marina Sánchez Sánchez, *Grupo de Efluentes del Foro de Protección Radiológica en el Medio Hospitalario*, Informe de Actividades 2002.
- [10] Boletín Oficial del Estado, Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes, julio 26, 2001.
- [11] Boletín Oficial del Estado, Orden ECO/1449/2003, de 21 de mayo, sobre gestión de materiales residuales sólidos con contenidos radiactivos generados en las instalaciones radiactivas de 2^o y 3^o categoría en las que se manipulen o almacenen isótopos radiactivos no encapsulados, junio 5, 2003.
- [12] P. Saraswathy et al., *Radiochemical and biological studies, including in non-human primates, towards indigenous development of ^{153}Sm -EDTMP for metastatic bone palliation*, in IAEA TECDOC-1228 Therapeutic applications of radiopharmaceutical, Hyderabad, 2001, pp. 236-246, Proceedings of an international seminar held in Hyderabad, India, 18-22 January 1999.
- [13] N. Ramamoorthy, P. Saraswathy, M. K. Das, K. S. Mehra, and M. Ananthakrishnan, *Production logistic and radionuclidic purity aspects of ^{153}Sm for radionuclide therapy*, Nuclear Medicine Communications, vol. 23, pp. 83-89, 2002.
- [14] M. C. Plancha Mansanet et al., *Determinación del factor de calibración para el samario-153 en el activímetro de dosis CRC-35R*, Revista Española de Medicina Nuclear, vol. 26, n^o. 6, pp. 354-358, 2007.
- [15] S. Pérez, A. Ruiz, and M. Roca, *Gestión de residuos marcados con ^{153}Sm a partir del análisis de impurezas de ^{154}Eu que contienen*, in Trabajos y Comunicaciones del XI Congreso Nacional de la Sociedad Española de Protección Radiológica, Tarragona, 2007.
- [16] Barbara Palumbo, Irmgard Neumann, Ernst Havlik, Renato Palumbo, and Helmut Sonzinger, *Triggering alarm at security checks. Patients should be informed even after diagnostic nuclear medicine procedures*, Hellenic Journal of Nuclear Medicine, vol. 12, n^o. 1, 2009.
- [17] Mohammed Najeeb Al Hallak, Matt McCurdy, Nicolas Zouain, and Justin Hayes, *The Level of Europium-154 Contaminating Samarium-153-EDTMP Activates the Radiation Alarm System at the US Homeland Security Checkpoints*, Case Report in Oncology, vol. 2, pp. 157-161, 2009.
- [18] L. Moro, D. Fantinato, F. Frigerio, G. Shanhon, and G. Angelovski, *Europium-154 contamination levels in Samarium-153-EDTMP for radionuclide therapy*, in Journal of Physics: Conference Series, vol. 41, 2006, pp. 535-537.
- [19] C. Michotte, G. Ratel, and L. Lucas, *First Measurement of ^{153}Sm in the SIR*, Bureau International des Poids et Measures, 1999.
- [20] C. S. Marcus, D. Applebaum, and C. Minami, *Samarium (Sm)-EDTMP Basic Radiation Measurement Data, Calibration and Procedure Recommendations*, 1997. [Online]. <http://www.acnp-cal.org/SM153INS.html>
- [21] Justin J. Hayes, John Pfund, and Nicolas Zouain, *Detection of ^{154}Eu in Patients Post ^{153}Sm -EDTMP Therapy using a Clinical Gamma Camera*, Health Physics, vol. 98, no. 3, pp. 537-541, Mar 2010.
- [22] Gordon R. Gilmore, *Practical Gamma-ray Spectrometry (2nd Edition)*: John Wiley & Sons Ltd., 2008.
- [23] H. Fischer et al., *Radionuclidic purity aspects of ^{153}Sm for radionuclide therapy*, in 2004 11th IRPA International Congress, vol. session 4d6, Madrid, 2004.
- [24] Ali Bahrami-Samani et al., *Production Quality Control and Biological Evaluation of ^{153}Sm -EDTMP in Wild-Type Rodents*, Iran Journal of Nuclear Medicine, vol. 17, no. 2, pp. 12-19, 2009.
- [25] Boletín Oficial del Estado, Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, diciembre 31, 1999.
- [26] Servicio de Protección Radiológica y Radiofísica., PRIN-081-RE03-26/04/04. Gestión y evacuación de residuos radiactivos (Medicina Nuclear), 2004.
- [27] Boletín Oficial del Estado, Instrucción IS/05, de 26 de febrero de 2003, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se definen los valores de exención para nucleidos según se establece en las tablas A y B del anexo I del Real Decreto 1836/1999., abril 10, 2003.
- [28] European Medicines Agency, Informe público europeo de evaluación (EPAR). QUADRAMET. Resumen del EPAR para público en general (versión en español), 2008.
- [29] International Atomic Energy Agency, IAEA Safety Standards. Management of Waste from the Use of Radioactive Material in Medicine, Industry, Agriculture, Research and Education, 2005.
- [30] International Atomic Energy Agency, IAEA Safety Standards Classification of Radioactive Waste, 2009.
- [31] Consejo de la Unión Europea, Directiva 96/29/Euratom del Consejo de 13 de mayo de 1996 por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes, junio 36, 1996.
- [32] Canberra Industries Inc., *Genie2000. Spectroscopy System. Customization Tools*, 923084721st ed.: Canberra Industries Inc., 2002.

Implementación de dosimetría en vivo

Ingrid Hurtado¹, Gabriel Zelada² y Marcia García¹

¹Universidad de La Frontera, Chile

²Clínica Alemana de Santiago, Chile

RESUMEN: En este trabajo se presenta el proceso de calibración de un conjunto de diodos Sun Nuclear y la determinación de sus respectivos factores de corrección para el cálculo de la dosis absorbida, con el fin de comparar las dosis prescritas durante el proceso de planificación con las dosis absorbidas obtenidas por los diodos.

ABSTRACT: This paper presents the calibration process for a set of diodes Nuclear Sun and determines its respective correction factors for the calculation of the absorbed dose, in order to compare the dose prescribed during the planning process with the absorbed doses obtained by diodes.

Palabras clave: dosimetría en vivo, diodos, maniquí de agua, cámara de ionización, sistema planificación XIO, factores de corrección.
Keywords: *In vivo* dosimetry, diodes, water phantom, ionization chamber, XIO planning system, correction factors.

INTRODUCCIÓN

Cada vez más, la dosimetría en vivo está siendo una parte importante en la práctica de Radioterapia. Ésta compara la dosis (dosis absorbida) prescrita con la entregada y, además permite mantener un nivel de calidad mediante accesorios portales y chequeos computacionales.

De la variedad de detectores disponibles para utilizar en dosimetría en vivo, los más utilizados son los diodos de silicio dopados. Su tamaño pequeño los hace perfectamente adecuados para las respectivas mediciones con gradiente de dosis. Son resistentes y pueden ser puestos directamente sobre el paciente para los propósitos de la dosimetría en vivo. Estas características permiten obtener una medida directa de la dosis absorbida después de ser calibrados respecto a una cámara de ionización y los convierten en una alternativa atractiva para dosimetría en vivo.

A diferencia de otros métodos de control de calidad, la dosimetría en vivo comprueba la dosis administrada al paciente durante el tratamiento. Según la AAPM TG-40 [7], actualmente la mayoría de la dosimetría en vivo se realiza con diodos de silicio, que se han popularizado desde la década de 1980, debido a su tiempo de procesamiento rápido y a su alta sensibilidad.

Factores que influyen en la señal del diodo semiconductor

La sensibilidad de un detector basado en un material semiconductor depende de la vida media de los portadores de carga y consecuentemente de la cantidad de centros de recombinación en el cristal, lo que depende del tipo de diodo, el nivel de dopaje y la dosis acumulada. Como la radiación induce centros de recombinación en la red cristalina, la sensibilidad podría disminuir con la dosis acumulada [3].

El efecto del daño de la radiación representa una limitación significativa en los diodos de silicio. Además deben

considerarse otros efectos que influyen en la señal del diodo relacionados con el material del detector:

- Dependencia de la energía del fotón: Esto es debido al alto número atómico del silicio ($Z=14$) comparado con un tejido suave ($Z=7$) y la correspondiente alta contribución de la señal del diodo por efecto fotoeléctrico [3].
- Dependencia de la tasa de dosis: A altas tasas de dosis, los centros de recombinación podrían ser ocupados resultando en una relativamente baja tasa de recombinación [3]. Esto lleva proporcionalmente a alta respuesta a altas tasas de dosis. Este efecto es mucho más pronunciado para detectores de silicio tipo n que para detectores tipo p altamente dopados. La dependencia de la tasa de dosis podría cambiar con la dosis acumulada debido al daño de la radiación [2].
- Dependencia por la temperatura [3]: En general, la sensibilidad aumenta con el aumento de la temperatura. Este efecto es menos pronunciado para un diodo sin irradiar y podría aumentar con la dosis acumulada. Sin embargo, la tasa de cambio de la sensibilidad con la temperatura tiende a estabilizarse a medida que aumenta la dosis acumulada. Debido a estas dependencias, la dosis de entrada medida por los diodos depende de algunos parámetros de geometría como distancia fuente-superficie, tamaño de campo, presencia de cuñas, bandejas y bloques, lo que podría dar lugar a una variación en la señal del diodo. Por esta razón, deben ser determinados los factores de corrección correspondientes.

Calibración de diodos semiconductores

Cuando se usan diodos en los pacientes durante el tratamiento de radioterapia, se pueden realizar mediciones de las dosis de entrada. Primeramente, se deben realizar mediciones en un maniquí de agua para calibrar la señal del diodo contra la dosis medida usando una cámara de

ionización. Entonces se correlaciona la dosis medida en la superficie de entrada, utilizando el diodo en la superficie del maniquí con los valores calculados usando la distribución del porcentaje de dosis en profundidad y la medida usando la cámara de ionización [1].

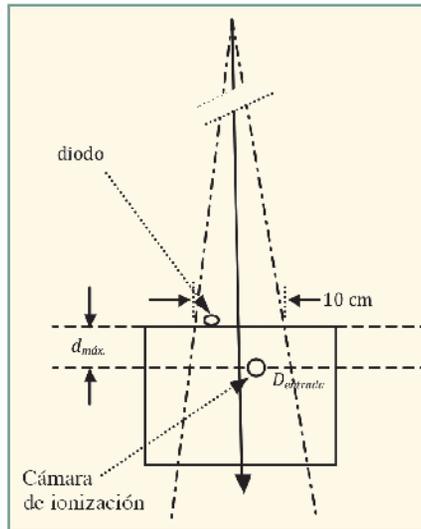


Figura 1.

Con el objetivo de convertir la señal de un diodo en una dosis, se debe determinar un factor de calibración F_{cal} . Este factor de calibración (F_{cal}) se determinará en un maniquí de agua comparando, como se mencionó anteriormente, la lectura del diodo (L_{diodo}) y la dosis de la cámara de ionización calibrada ($Dosis$). La calibración de la dosis de entrada se realiza con una cámara de ionización a la profundidad $d_{máx}$ y el diodo (*build up* determinado) en la superficie del maniquí de agua. Al comparar la dosis de los dos detectores, para el mismo tiempo de tratamiento, se obtendrá el factor F_{cal} . La calibración será realizada en condiciones de referencia [2], es decir, tamaño de campo 10 cm x 10 cm en la superficie del equipo, disposición que se aprecia en la Figura 1.

$$F_{cal} = \left(\frac{Dosis}{L_{diodo}} \right)_{cond.ref.} \quad (1)$$

El valor de la dosis [6] con el que finalmente se trabaja, D_{entr} , está dado por la ecuación:

$$D_{entr} = L_{diodo, entr} * F_{cal} * \Pi FC_i \quad (2)$$

La recalibración debido a los daños por radiación será realizada solamente cuando las variaciones en la respuesta del diodo sean mayores que un 3%. También debe ser estudiada para cada diodo en particular las variaciones de su respuesta con la temperatura [3].

Factores de corrección del diodo

En el rango de tasas de dosis donde es aplicada la dosimetría en vivo no es necesario correcciones por no linealidad en la respuesta de los diodos. Para cada diodo, se deben considerar los factores de corrección correspon-

dientes a: la influencia de la apertura del colimador (FC_{FS}), la distancia fuente superficie (FC_{SSD}), la presencia de filtros en cuña ($FC_{cuña}$) y bandejas porta plomos ($FC_{bandeja}$) para bloqueo de órganos críticos, así como la dependencia direccional de incidencia del haz de radiación ($FC_{ángulo}$). Con la determinación de los diferentes factores de corrección (FC_i), la señal del diodo puede ser convertida en dosis medida para las diferentes condiciones de tratamiento en la práctica médica.

$$FC_i = FC_{FS}, FC_{SSD}, FC_{CUÑA}, FC_{BANDEJA}, FC_{BLOCK}, FC_{ÁNGULO} \quad (3)$$

$$FC = \frac{(L_{cámara} / L_{diodo})_{condición clínica}}{(L_{cámara} / L_{diodo})_{condición referencia}} \quad (4)$$

Los factores de corrección serán determinados como la razón de las medidas de una cámara de ionización calibrada y las medidas del diodo bajo las diferentes condiciones, dividido por la misma razón para las condiciones de referencia.

El factor de corrección por tamaño de campo se calcula según:

$$FC_{FC} = \frac{(M_{diodo} / M_{ci})_{10 \times 10}}{(M_{diodo} / M_{ci})_{FS}} \quad (5)$$

El factor de corrección por distancia fuente-superficie se determina según:

$$FC_{SSD} = \frac{(M_{diodo} / M_{ci})_{100}}{(M_{diodo} / M_{ci})_{SSD}} \quad (6)$$

El factor de corrección por cuña 60° se calcula para una distancia fuente-superficie de referencia, según:

$$FC_{cuña} = \frac{(L_{cuña} / L_{campo abierto})_{diodo}}{(L_{cuña} / L_{campo abierto})_{cámara}} \quad (7)$$

MATERIALES Y MÉTODO

Para la calibración de los diodos del sistema de dosimetría en vivo IVD Solutions de Sun Nuclear es necesario estudiar el comportamiento de estos dispositivos para diferentes energías. Este procedimiento se realizó en el equipo Elekta Synergy Platform de Clínica Alemana Santiago en la unidad de Radioterapia, el cual está acondicionado para realizar tratamientos con dos tipos de haces de radiación: fotones y electrones. Para el caso del uso de fotones las energías nominales son: 6MV y 15MV y para el caso de haces de electrones, las energías disponibles son: 6MeV, 9 MeV, 12MeV, 15MeV y 18MeV. Las mediciones se realizaron utilizando el sistema informático habilitado.

El sistema se presenta en la Figura 2 e incluye lo siguiente:

1. Módulo de control
2. Puerto Inalámbrico
3. Puerto Base



4. Fuente de alimentación
5. Cable teléfono (1m)
6. Cable teléfono (25 m)
7. Cable USB
8. Cable de poder
9. Cable para impresora
10. Soporte de carga
11. Soporte de módulo control
12. Adaptador BNC

Mediciones para haces de fotones de 6MV y 15 MV

Para este procedimiento se utilizó el sistema de dosimetría en vivo IVD Solutions con los diodos IsoRad 6 MV (color amarillo) y los diodos IsoRad 15 MV (color rojo), de Sun Nuclear. La calibración se realizó respecto a una cámara de ionización Farmer IC-70 (Iba) situada en $d_{máx}$.

Las mediciones se realizaron colocando un maniquí de placas 30 cm x 30 cm RW3 Scanditronix Wellhöfer sobre la camilla de tratamiento, sobre el cual se ubicaron 10 diodos alineados sobre el eje central, separados respectivamente a una distancia de 3,5 cm y conectados mediante tres puertos inalámbricos: N° 3, N° 7 y N° 9, cada uno de los cuales posee 4 entradas: A, B, C y D, todo lo cual se aprecia en las Figuras 3 y 4. La geometría utilizada en este procedimiento fue un tamaño de campo de 20 cm x 20 cm, una SSD de 100 cm y una exposición de 100 UM.

Mediciones para haces de electrones

Este procedimiento se realizó con el sistema de dosimetría en vivo IVD Solutions y los diodos IsoRad 15 MV, Sun Nuclear, para haces de electrones de 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 15 MeV y 18 MeV, utilizando el maniquí de placas RW3 y un aplicador con tamaño de campo en isocentro de 20 cm x 20 cm. Para estas mediciones se utilizó el mismo montaje que para el caso de los haces de fotones, descrito anteriormente, según se aprecia en la Figura 5. La cámara de ionización Farmer IC-70 se ubicó a la profundidad Z_{ref} .

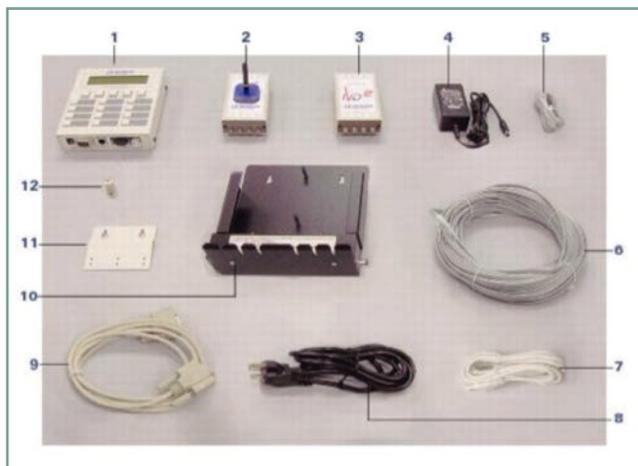


Figura 2.

Evaluación de la respuesta de los diodos a diferentes UM

En este caso, encima del maniquí de placas, montado sobre la camilla de tratamiento, se ubicaron 4 diodos: 2 para fotones, 1 para electrones y 1 de piel, tal como se presenta en la Figura 6. Para la conexión de los diodos se utilizó un solo puerto, el cual tenía 4 entradas: A, B, C y D. El tamaño de campo de fue de 20 cm x 20 cm y la SSD de 100 cm. Para este procedimiento se tomaron lecturas con diferentes UM a fin de observar el comportamiento de todos los diodos a distintos tiempos de exposición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factor de calibración para haces de fotones y electrones

Una vez calculados los factores de calibración para cada uno de los diodos y para cada haz de energía, éstos fueron ingresados al programa informático IVD Solution para

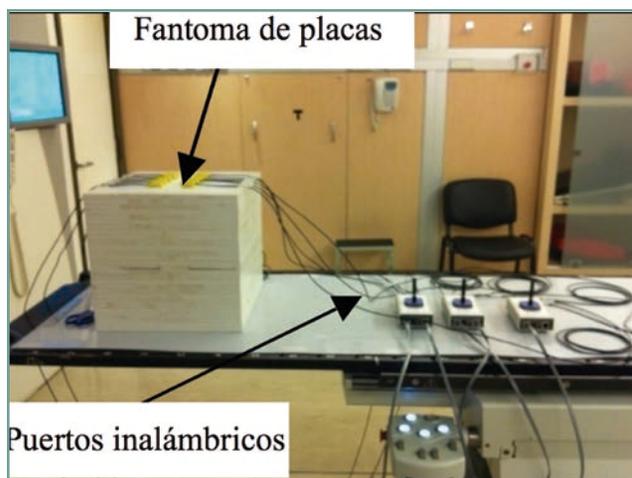


Figura 3.

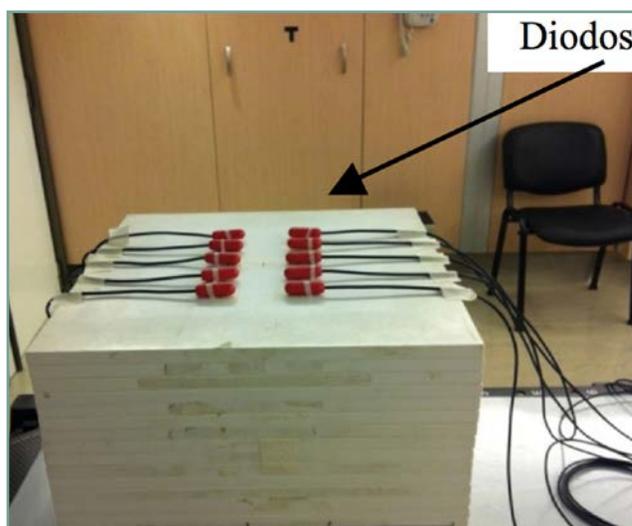


Figura 4.

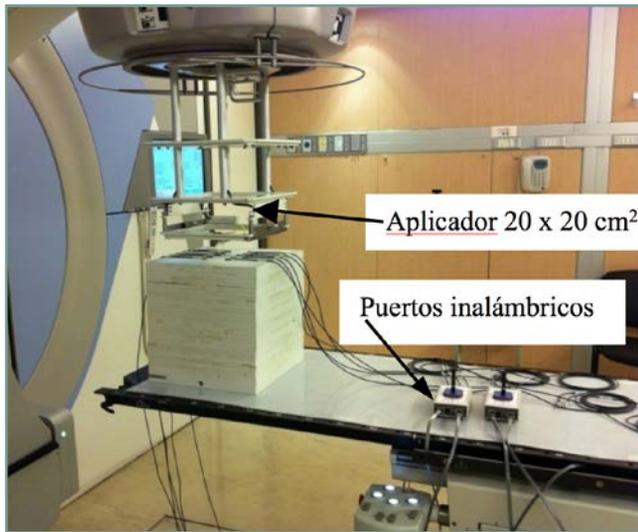


Figura 5.



Figura 6.

configurar el programa de dosimetría en vivo para los tratamientos de Radioterapia.

Para el caso de los electrones, la cámara de ionización se sitúa a Z_{ref} , cuyos valores correspondientes a cada energía del haz se presentan en la Tabla I.

Los factores de calibración promedio correspondientes a cada diodo para cada energía de los haces de fotones y electrones se recogen en la Tabla II.

Los factores de calibración calculados para cada uno de los diodos para una misma energía presentan valores similares, de modo general, lo que denota un comportamiento semejante entre el conjunto de diodos del sistema analizado.

Factores de corrección para cálculo de dosis de cada diodo

a) Factor de corrección por tamaño de campo

Los factores de corrección por tamaño de campo fueron determinados a partir de las mediciones realizadas con cam-

pos cuadrados de: 3 cm x 3 cm, 5 cm x 5 cm, 7 cm x 7 cm, 10 cm x 10 cm, 12 cm x 12 cm, 15 cm x 15 cm, 20 cm x 20 cm, 25 cm x 25 cm y 30 cm x 30 cm, a SSD de referencia de 100 cm, para 100 UM, tanto para haces de fotones como para haces de electrones.

La Tabla III muestra los factores de corrección correspondientes a cada uno de los dos haces de fotones y la Tabla IV recoge los valores correspondientes a los cinco valores de energía de los haces de electrones, para uno de los diodos representativos del conjunto estudiado.

Se puede observar que, para un tamaño de campo de 10 cm x 10 cm, el factor de corrección por tamaño de campo da un valor igual a 1 ya que corresponde a las condiciones de referencia. Para tamaños de campo menores el factor calculado es < 1 y a medida que el tamaño de campo aumenta el factor es > 1 . Se aprecia un aumento proporcional del factor de corrección a medida que aumenta el tamaño de campo para cada una de las energías analizadas. Para este caso la desviación estándar fue de 0,17%.

Para tamaños de campo pequeños el factor de corrección calculado es ligeramente mayor que 1 en la mayoría de las energías de los electrones, mientras que para campos mayores el factor es ligeramente menor que 1 en todos los casos. Aquí la desviación estándar fue de 0,16%.

b) Factor de corrección por SSD

Los factores de corrección para SSD se determinaron en un rango de valores según las condiciones clínicas, por ejemplo:

Energía (MeV)	Z_{ref} (cm)
6	1,4
9	2,0
12	2,7
15	3,5
18	4,2

Tabla I. Parámetros Z_{ref} a distintas energías del haz de electrones.

Fotón 6 MV	Fotón 15 MV	Electrón 6 MeV	Electrón 9 MeV	Electrón 12 MeV	Electrón 15 MeV	Electrón 18 MeV
-3,80	-3,85	-3,93	-3,75	-3,52	-3,39	-3,33
-3,81	-3,83	-3,67	-3,59	-3,39	-3,27	-3,21
-3,68	-3,75	-3,73	-3,64	-3,47	-3,35	-3,30
-3,60	-3,78	-3,59	-3,54	-3,38	-3,24	-3,19
-3,71	-3,84	-3,77	-3,71	-3,54	-3,38	-3,29
-3,83	-4,03	-3,42	-3,36	-3,20	-3,09	-3,01
-3,83	-4,02	-3,49	-3,48	-3,32	-3,20	-3,14
-3,89	-3,91	-3,70	-3,70	-3,52	-3,40	-3,35
-3,91	-3,84	-3,84	-3,71	-3,49	-3,37	-3,30
-3,83	-4,26	-3,55	-3,50	-3,32	-3,22	-3,16

Tabla II. Parámetros Z_{ref} a distintas energías del haz de electrones.



80 cm, 90 cm, 100 cm, 110 cm, 120 cm y 130 cm, para un tamaño de campo de 10 cm x 10 cm con 100 UM, para los haces de fotones. La Tabla V presenta los valores del factor de corrección por SSD para los dos haces de fotones de un diodo representativo del conjunto estudiado.

En la tabla V se observa que para ambas energías el factor de corrección es menor a 1 mientras menor sea la distancia fuente superficie, se hace igual a 1 para las condiciones de referencia y para mayores distancias fuente superficie los valores son mayores a 1. Para este caso la desviación estándar fue de 0,06%.

Para calcular el factor de corrección en el caso de haces de electrones se utilizaron tamaños de campo de 6 cm x 6 cm, 10 cm x 10 cm, 14 cm x 14 cm y 20 x 20 cm, con una distancia fuente superficie de 100 cm, 110 cm, 120 cm y 130 cm para cada una de las energías analizadas; los valores obtenidos se recogen en la Tabla VI. De ella se puede observar que los valores de los factores de corrección, en la mayoría de los casos, aumentan ligeramente a medida que aumenta la SSD para un mismo tamaño de campo y para cada una de las energías analizadas. La desviación estándar del factor de corrección por SSD fue de 0,44 %.

c) Factor de corrección por cuña.

Los factores de corrección de cuña de 60° son calculados para una SSD de referencia y para campos cuadrados de: 5 cm x 5 cm, 10 cm x 10 cm y 15 cm x 15 cm con 100 UM para haces de fotones de 6 y 15 MV. Los valores obtenidos se recogen en la Tabla VII, donde se aprecia que el factor de corrección por cuña no varía significativamente con el aumento del tamaño de campo.

SIMULACIÓN DE PACIENTES

En este procedimiento se utilizaron los datos recogidos en el planificador XIO (versión CMS) de una serie de pacientes que previamente habían sido tratados y enviados al equipo para su posterior irradiación. Dentro de los planes de tratamiento se escogieron tanto tratamientos convencionales como tratamientos más específicos (SBRT y Arcoterapia).

Para cada plan de tratamiento se escogió el campo más significativo dentro de todo el tratamiento para medir la dosis recibida con el diodo. Para esto se utilizó el maniquí de placas, el cual se situó de acuerdo a las especificaciones dadas por el tratamiento. Una vez listo, se posicionó una cámara de ionización tipo PinPoint a la profundidad correspondiente y el diodo en el área del campo a irradiar. En los casos de tratamientos con fotones se escogió el diodo Isorad N° 1 para realizar las medidas dejándolo como patrón de verificación. Para los tratamientos con electrones se escogió el diodo QED N°3 como patrón para las verificaciones. Una vez montado el sistema de dosimetría en vivo, se tomaron las lecturas para cada uno de los pacientes seleccionados,

Tamaño de campo (cm ²)	Fotón 6 MV	Fotón 15 MV
	Factor	Factor
3 x 3	0,98	0,93
5 x 5	0,99	0,93
7 x 7	0,99	0,95
10 x 10	1	1
12 x 12	1,00	1,03
15 x 15	1,01	1,06
20 x 20	1,02	1,12
25 x 25	1,03	1,16
30 x 30	1,04	1,17

Tabla III. Factor de corrección por tamaño de campo para haces de fotones.

Tamaño de campo (cm ²)	e- 6 MeV	e- 9 MeV	e- 12 MeV	e- 15 MeV	e- 18 MeV
	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor
4 x 4	1,08	1,04	1,04	1,02	0,98
6 x 6	1,08	1,04	1,04	1,01	0,99
10 x 10	1	1	1	1	1
14 x 14	0,99	0,98	0,99	0,99	0,98
20 x 20	0,98	0,98	0,98	0,99	0,98

Tabla IV. Factores de corrección por tamaño de campo para haces de electrones.

SSD (cm)	Fotón 6 MV	Fotón 15 MV
	Factor	Factor
80	0,66	0,96
90	0,68	0,97
100	1	1
110	1,03	1,49
120	1,04	1,49
130	1,05	1,50

Tabla V. Factores de corrección por SSD para haces de fotones.

las que fueron ingresadas en una planilla realizada para tal fin que permitía calcular la dosis recibida por el diodo. Los valores de dosis obtenidos fueron comparados con las dosis esperadas para cada tipo de tratamiento y en general pueden considerarse satisfactorios (Tabla VIII).

CONCLUSIONES

Se implementó el sistema de dosimetría en vivo en el servicio de Radioterapia de la Clínica Alemana de Santiago. El protocolo seguido sirve para verificaciones futuras y de referencia para otras unidades de Radioterapia existentes en Chile que deseen implementar esta técnica.

Los resultados obtenidos de las comparaciones entre la dosis prescrita y la dosis calculada, para los diferentes diodos utilizados, luego de sus respectivas calibraciones, incluyen-

SSD	Tamaño de campo	e ⁻ 6 MeV	e ⁻ 9 MeV	e ⁻ 12 MeV	e ⁻ 15 MeV	e ⁻ 18 MeV
(cm)	(cm ²)	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor
100	6 x 6	1,08	1,04	1,04	1,01	0,99
110	6 x 6	1,32	1,11	1,09	1,08	0,99
120	6 x 6	1,36	1,17	1,13	1,01	0,98
130	6 x 6	1,44	1,20	1,17	1,14	0,99
100	10 x 10	1	1	1	1	1
110	10 x 10	1,06	1,04	1,05	1,05	0,99
120	10 x 10	1,08	1,08	1,07	1,08	0,99
130	10 x 10	1,09	1,09	1,09	1,09	0,98
100	14 x 14	0,99	0,98	0,99	0,99	0,97
110	14 x 14	1,05	1,02	1,04	1,03	0,97
120	14 x 14	1,08	1,03	1,05	1,09	0,96
130	14 x 14	1,09	1,05	1,06	1,10	0,96
100	20 x 20	0,98	0,98	0,98	0,99	0,96
110	20 x 20	1,05	1,01	1,02	1,02	0,95
120	20 x 20	1,06	1,03	1,04	1,08	0,95
130	20 x 20	1,08	1,04	1,06	1,08	0,96

Tabla VI. Factores de corrección por SSD para haces de electrones.

Cuña 60°	Fotón 6 MV	Fotón 15 MV
Tamaño campo (cm ²)	Factor	Factor
5 x 5	0,95	0,99
10 x 10	0,95	0,99
15 x 15	0,95	0,98

Tabla VII. Factores de corrección para cuña de 60°.

Paciente N°	Energía (MeV)	Técnica	Dosis Prescrita (cGy)	Dosis calculada (cGy)
1	6	SBRT	44,2	39,0
2			3	3,4
3			19	19,4
4			8	8,1
5			84	84,0
6			9	9,5
7	6	Arco	9	9,5
8			13	12,5
9			100	101,0
10	6	Electrones	100	100,7
11	9	Electrones	100	100,0
12			100	100,0
13			100	100,6

Tabla VIII. Dosis prescrita versus dosis calculada

do todos los factores considerados en este estudio, fueron satisfactorios, permitiendo asegurar las dosis administradas a los pacientes durante los tratamientos de Radioterapia y garantizando el cumplimiento de los parámetros de protección radiológica exigidos a nivel mundial, lográndose un control de calidad dosimétrico con altos estándares.

AGRADECIMIENTOS

A todos los miembros del servicio de Radioterapia de la Clínica Alemana de Santiago, por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1]. C. J. Millwater, MA, MRCP. "In vivo semiconductor dosimetry as part of routine quality assurance". Br. J. Radiol.71: 661-668. (1998).
- [2]. The Royal College of Radiologist, Society and College of Radiographers, Institute of Physics and Engineering in Medicine, British Institute of Radiology. "Implementing In Vivo Dosimetry", http://www.rcr.ac.uk/docs/oncology/pdf/Invivo_joint.pdf (2008).
- [3]. G. F. Knoll. Radiation Detection and Measurement, Third Edition, Chapter 11, John Wiley and Sons. Inc. (1999).
- [4]. Alecu, R. y T.Loomis, "Guidelines on the Implementation of diode in vivo dosimetry programs for photon and electron external beam therapy". Med. Phys.24, N° 1, 5-12.(1999).
- [5]. J.Van Dam yG.Marinello, "Methods for In Vivo Dosimetry in External Radiotherapy". ESTRO Booklet N° 1. Brussels. Belgium. (2006).
- [6]. J. Aizcorbe. y N.Padilla, Protocolo de dosimetría in vivo para el tratamiento de tumores con acelerador lineal. Universidad Nacional de Entre Ríos. <http://www.rosario2009.sabi.org.ar/uploadsarchivos/p182.pdf>(2009).
- [7]. A. Singh Saini, "In vivo Radiation Diode dosimetry for therapeutic photons beam".University South Florida. (2007).

Reunión Anual de Eurados AM2014

Budapest, 10-13 de febrero 2014

La Reunión Anual de Eurados AM2014 tuvo lugar entre los días 10 y 13 de febrero en el Hotel Danubius Flamenco, en Budapest, organizada por el *Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences*, con un total de 230 participantes, principalmente europeos, pero también de América, Asia y África. La reunión incluyó la 7ª edición de la *EURADOS Winter School*, esta vez sobre *Eficacia Biológica Relativa, factores de ponderación de la radiación y el factor de calidad: su papel en la cuantificación de la eficacia de la radiación ionizante*. Durante la Asamblea General de Eurados se eligieron por votación el nuevo director (Werner Rühm, Helmholtz Zentrum München, Alemania) y subdirector (Filip Vanhavere, SCK-CEN, Bélgica). La representante del Ciemat renovó cargos como miembro del *Council*.

EURADOS (*European Radiation Dosimetry Group*) es una organización europea en constante crecimiento y evolución, compuesta actualmente por 61 *Voting members* (VM = instituciones miembro) y 300 *Associate members* o expertos relacionados con la Dosimetría de Radiaciones Ionizantes. Ciemat, INTE/UPC, Tecnatom y UPM son, entre otros, VM españoles y *sponsors*, implicados en distintas actividades de esta organización y participando en los grupos de trabajo *WG2 Harmonization on Individual Monitoring*, *WG3 Environmental Dosimetry*, *WG6 Computational Dosimetry*, *WG7 Internal Dosimetry*, *WG9 Radiation protection dosimetry in medicine*, *WG10 Retrospective Dosimetry* y *WG12 Dosimetry in medical imaging*.

Es de destacar el desarrollo desde Eurados de la Agenda Estratégica de Investigación o SRA (*Strategic Research Agenda*), un programa de investigación en Dosimetría de Radiaciones Ionizantes, que estará en conexión con las SRA de las otras tres plataformas europeas en protección radiológica: Alliance (Radioecología, www.er-alliance.org), Melodi (Efectos de las bajas dosis de radiación, www.melodi2013.org) y Neris (Emergencias, www.eu-neris.net), con quienes Eurados firmó un *Memorandum of Understanding* (MoU) el 5 de diciembre en Bruselas para confirmar su compromiso común hacia la consolidación y la aplicación de una visión estratégica de la investigación sobre protección radiológica en Europa. La cooperación de las plataformas Alliance, Eurados, Melodi y Neris se consolidará de cara a nuevos programas de investigación de protección radiológica en Europa: Euratom (H2020) y OPERRA (*Open Project for the European Radiation Research Area*).



- La Reunión Anual AM2014 de Eurados incluyó como parte fundamental del evento la reunión de los ocho grupos de trabajo de Eurados. Es de destacar acciones de colaboración inter-grupos en 2013 como fue la organización del curso *Eurados/KIT Training Course "Monte Carlo Calibration of Whole Body Counters"* organizado en el KIT (Karlsruhe Institute of Technology) en Karlsruhe (Alemania) por los grupos de trabajo WG7 y WG6 de Eurados en noviembre 2013. Miembros de la Unidad de Dosimetría de Radiaciones del Ciemat participaron en la organización, como ponentes, tutores y como alumnos. El objetivo: aprender e implementar la metodología de calibración mediante Métodos de Monte Carlo y maniqués tipo Voxel de Contadores de Radiactividad Corporal para la determinación de contaminantes internos emisores gamma incorporados al organismo.

- Respecto al grupo de trabajo WG7 que coordina Dosimetría-Interna Ciemat, se ha establecido también una colaboración con Dosimetría Biológica (WG10) en relación al estudio y aplicación de ambas técnicas de dosimetría aplicadas a escenarios de accidente con exposición interna. Se están estudiando evaluaciones dosimétricas realizadas en Techa River (Mayak), en trabajadores expuestos a plutonio/americio/uranio en la industria nuclear, en Chernobyl, en Semipalatinsk, en pacientes por exposiciones médicas (Medicina Nuclear) y otros. Esta línea de trabajo es realmente novedosa porque habitualmente la Dosimetría Biológica se aplica únicamente en escenarios de alta exposición externa.

- El Departamento de Dosimetría Numérica y el Laboratorio del CRC (Dosimetría Interna) del Ciemat han participado también en una acción conjunta de medidas *in vivo* y simulación Monte Carlo para la determinación de americio en tres maniqués tipo cráneo, con participación de laboratorios de Europa, América y Asia. Esta actividad de Eurados ha llegado a su fin y los resultados finales se presentarán en la reunión del WG7 en Varsovia, en octubre de 2014. Los resultados Ciemat de medidas en CRC y simulación Monte Carlo muestran una buena concordancia, y fueron presentados en el 3er Congreso Conjunto de SEPR/SEFM, celebrado en Cáceres, 18-21 de junio de 2013.

- Es de resaltar también la participación del Laboratorio de Bioeliminación (Dosimetría Interna) del Ciemat y de Tecnatom/Geocisa en la acción *Emergency Bioassay Intercomparison* organizada por Eurados, en relación a medidas *in vitro* de tasa de actividad en excretas en escenarios de emergencia nuclear. La jornada de presentación de resultados de dicha Intercomparación se celebrará en el Ciemat el 29 de septiembre de 2014.

- En el grupo de trabajo WG9, se han puesto en marcha dos subgrupos, *Dosimetry simulations*, en el que participa el INTE/UPC y un subgrupo en *Hadron Radiotherapy*. En el primer subgrupo se está estudiando principalmente el uso de diversos códigos de simulación en la determinación de las dosis periféricas recibidas por pacientes sometidos a tratamientos de radioterapia externa.

- El grupo de trabajo WG12 ha iniciado un nuevo plan de actividades una vez finalizados los compromisos relacionados con el proyecto EMAN para la creación de una red europea Alara en las aplicaciones médicas. En el ámbito de la dosimetría de pacientes se está focalizando en la puesta a punto de sistemas dosimétricos para la determinación de la dosis en piel



Plataforma flotante para la exposición de los dosímetros ambientales.

en radiología intervencionista. En dosimetría del personal sanitario, se concentran los esfuerzos en el campo de la dosimetría de cristalino. Este tema está coordinado por el INTE-UPC y a través de la SEPR se ha contribuido a la colección de datos sobre los procedimientos e iniciativas en marcha en Europa para la estimación de la dosis en cristalino. Así mismo se han seleccionado un grupo de servicios de dosimetría personal en Europa, para organizar, a nivel piloto, una primera campaña de intercomparación entre dosímetros de cristalino (en la figura, un maniquí con varios dosímetros de cristalino).

Respecto a las actividades a desarrollar por Eurados durante este año, del 13 al 15 de Mayo de 2014 se celebrará la 2nd EURADOS School - Voxel phantom development and implementation for radiation physics calculations (WG6), en Helmholtz Zentrum München, Alemania, con participación de Dosimetría Numérica del Ciemat.



Se han anunciado también en 2014 las acciones EURADOS photon Intercomparison 2014 for whole body doseimeters (WG2) y EURADOS Intercomparison 2014 of Passive H*(10) Area Photon Doseimeters for Environmental Monitoring (WG3) con participación de Dosimetría Externa del Ciemat y del INTE/UPC. Así mismo en el proyecto ENV57 Metrology for radiological early warning networks in Europe (WG3) de la UE

aprobado en 2014 por EMRP (European Metrology Research Programme) participan el Servicio de Protección Radiológica, la Unidad de Gestión de Residuos y el Laboratorio de Metrología de radiaciones ionizantes del Ciemat y el INTE/UPC.

Además, Eurados organizará la Conferencia IM2015 Individual Monitoring of Ionising Radiations del 20-24 de abril de 2015 en Brujas (Bélgica), con participación del Ciemat y el INTE/UPC en el comité científico.

La próxima Reunión Anual AM2015 de Eurados tendrá lugar en Dubrovnik, Croacia, en febrero de 2015.

María Antonia López Ponte. CIEMAT. Responsable de Dosimetría Interna Unidad de Dosimetría de Radiaciones / Div. de Medio Ambiente Radiológico

Congreso Europeo de Radiología 2014

Se ha celebrado en Viena, la primera semana de marzo, el Congreso Europeo de Radiología.

El objetivo presentado por las diferentes casas comerciales es mejorar los procesos, incrementando así el rendimiento clínico, pero también reduciendo las dosis de radiación que reciben los pacientes. Todas las casas comerciales cuentan con tecnologías de bajas dosis, pero además se presentan diferentes sistemas de control y gestión de la dosis de radiación.

Las presentaciones están orientadas a cumplir con la nueva directiva europea 2013/59/Euratom, ya que los centros sanitarios tienen un periodo de cuatro años para adecuar sus equipos a la nueva directiva.

Ante esta situación se plantea la siguiente pregunta: ¿Está España bien preparada para cumplir con la nueva directiva Europea?

En España ya existe una regulación al respecto y tenemos establecidos procedimientos para poder cumplirla, aunque esta directiva marca nuevas líneas de actuación y tendremos que tenerlas en cuenta.

De todos modos, hace ya muchos años que se llevan realizando sesiones de formación en los hospitales, para los distintos profesionales involucrados en la realización de pruebas diagnósticas. El esfuerzo está especialmente destinado a la concienciación de los médicos prescriptores de la necesidad de justificar la realización de estas pruebas, ya que controlar las dosis de radiación es labor de todo el hospital.

Comité de redacción.

Tercer proyecto de Eurosafe Imaging

La European Society of Radiology ha realizado el lanzamiento del tercer proyecto de EUROSAFE Imaging, titulado PIDRL, European Diagnostic Reference Levels for Paediatric Imaging.

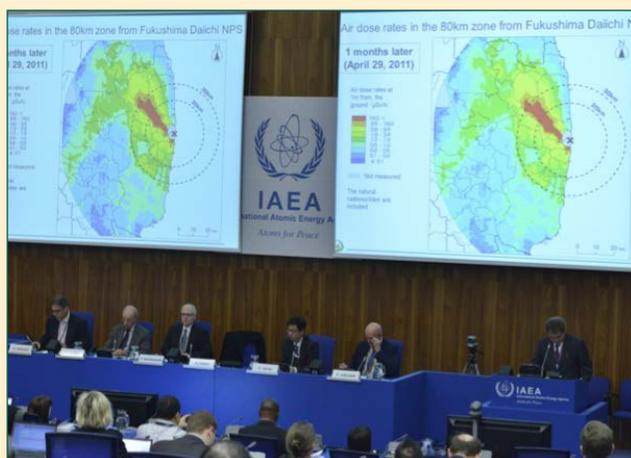
Eurosafe Imaging es una campaña de protección radiológica al paciente en diagnóstico que se ha presentado en el Congreso Europeo de Radiología, y que intenta actualizar las campañas americanas anteriores ImagenWisely y ImageGently.

Más información:

Reunión Internacional de Expertos en el OIEA sobre Protección Radiológica tras el accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi - IEM6

Durante la semana del 17 al 21 de febrero de 2014 se celebró, en la sede central del OIEA en Viena, la Reunión Internacional de Expertos sobre la Protección Radiológica tras el Accidente de la Central Nuclear de Fukushima Daiichi (IEM6).

Ésta es la sexta reunión de expertos internacionales de una serie de encuentros organizados, bajo el marco del Plan de Acción sobre Seguridad Nuclear del OIEA, para analizar todos los aspectos técnicos y lecciones aprendidas del accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi ocurrido en marzo de 2011. Específicamente, como parte de las actuaciones planificadas en el Área de Protección del Público y del Medio



Sesión de apertura del "International Experts Meeting on Radiation Protection after the Fukushima Daiichi Accident - Promoting Confidence and Understanding". Sede Central de la OIEA, Viena, Austria, 17 Febrero 2014. (Fuente: IAEA Imagebank).

Ambiente frente a las Radiaciones Ionizantes y, en conexión con las dirigidas a mejorar la comunicación y diseminación de la información, esta reunión se ha centrado en las complejas cuestiones técnicas, sociales, ambientales y económicas relacionadas con las mismas. Cuestiones que tienen amplia aplicación y que sería necesario abordar durante las operaciones de descontaminación y recuperación a largo plazo después de un accidente nuclear o radiológico.

Con esta idea, se han reunido más de 200 participantes de 75 estados miembros del OIEA y de 12 organizaciones internacionales que, representando un amplio espectro de expertos involucrados en la toma de decisiones, reguladores, operadores, representantes de organizaciones de apoyo técnico, así como a otras partes interesadas, incluidos los miembros del público, han propiciado un interesante y constructivo intercambio de información y de experiencias relacionadas con la protección radiológica, con especial hincapié en la preparación y gestión de las consecuencias a largo plazo de un accidente nuclear o radiológico.

El programa científico-técnico se ha estructurado en 15 sesiones técnicas, incluyendo conferencias magistrales realizadas por expertos internacionales invitados, mesas redondas y presentaciones orales y en formato de póster. Durante estas sesiones, además de presentar la aproximación a la problemática y la respuesta de las organizaciones internacionales, como Unsear, ICRP, OECD/NEA y OIEA, se han tratado los siguientes temas de interés:

1. **Exposiciones y vías de exposición**, con presentaciones centradas en las estimaciones y características del término fuente del accidente de Fukushima Daiichi, las descargas de agua contaminada al mar y sus consecuencias, la transferencia de los radionucleidos a través del medio ambiente y la evaluación de la exposición, incluyendo la modelación y la toma de muestras y vigilancia radiológica para reducir las incertidumbres.
2. **Problemática asociada con la Protección Radiológica**, donde se ha incidido en el control de alimentos y agua

contaminada, el impacto de los diferentes estándares internacionales sobre el mercado y sobre el sentimiento de protección de la población. También se trataron aspectos relacionados con la estimación de la dosis y los programas de vigilancia radiológica emprendidos tras el accidente de Fukushima Daiichi.

3. **Aspectos sociales y de salud pública, con la inclusión**, entre otras presentaciones, de una revisión de los efectos sobre la salud producidos como consecuencia del accidente de Chernobyl y las expectativas derivadas del accidente de Fukushima.

4. **Descontaminación**, en el que se ha discutido tanto de los aspectos técnicos de los procesos de descontaminación y descontaminación como de la necesidad de tener en cuenta los factores socioeconómicos y una implicación activa de las poblaciones afectadas en la toma de decisiones durante la fase de recuperación.

5. **Comunicación del riesgo**, en el que se han tratado el desarrollo y problemática de los medios sociales como fuentes de información a la población y la preparación y comunicación de mensajes adecuados, que resulten fiables, claros y simples, para el tipo de audiencia al que deben dirigirse, expertos responsables en toma de decisiones, administraciones o público en general.

6. **Intercambio y aprovechamiento de las experiencias obtenidas** en la gestión de las consecuencias radiológicas originadas en accidentes del pasado.

En la sesión de clausura se presentaron las principales conclusiones alcanzadas en esta reunión junto con las recomendaciones para desarrollar futuras actividades. En resumen, los Estados deberían elaborar y aplicar una estrategia nacional para fomentar y mantener la competencia en Protección Radiológica. Para tener éxito, los expertos responsables en toma de decisiones deberían involucrar a otras partes interesadas e informar al público acerca de los preparativos y las acciones que se tomarán en caso de un accidente nuclear o emergencia radiológica.

Finalmente, destacaremos que por parte española asistieron dos representantes del Ciemat con sendas comunicaciones en formato de póster. La primera, titulada *EURADOS Survey on in-vivo monitoring data of exposed foreigners in Japan, obtained at their respective countries at early stage after the Nuclear Accident of Fukushima Daiichi NPP* (Estudio Eurados de medidas *in vivo* de la contaminación interna de extranjeros expuestos en Japón, realizadas en sus respectivos países poco después del accidente nuclear de la central nuclear de Fukushima Daiichi), fue presentada por María Antonia López en la sesión dedicada a *Radiation Protection Issues*. La segunda, *Preparedness Exercises in Spain for Post-Accident Rehabilitation Involving Regional and Local Stakeholders* (Ejercicios de preparación en España para la rehabilitación post-accidente incorporando a los actores regionales y locales), fue presentada por Milagros Montero en la sesión dedicada a *Remediation*.

El programa y las presentaciones se pueden encontrar en la página web del IEMó:

Milagros Montero
CIEMAT.

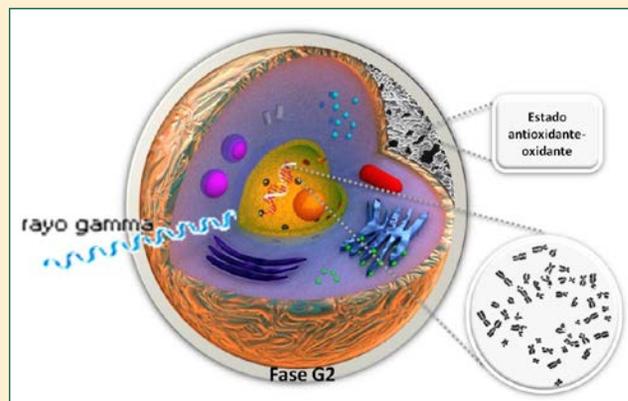


Proyecto "Evaluación de la radiosensibilidad del personal sanitario en procedimientos de tratamiento o diagnóstico médico con radiaciones"

Durante el pasado año 2013 se llevó a cabo el proyecto "Evaluación de la radiosensibilidad del personal sanitario en procedimientos de tratamiento o diagnóstico médico con radiaciones" dirigido desde el Laboratorio de Dosimetría Biológica del Servicio de Protección Radiológica del Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia (HULaFe). El estudio se desarrolló gracias a la financiación concedida por la Fundación Mapfre dentro de su programa anual de Ayudas a la Investigación.

Este proyecto se planteó en base a la idea de que la identificación de la radiosensibilidad individual en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes es un objetivo de gran relevancia para la prevención y protección contra los efectos adversos de la radiación desde el punto de vista de la salud y la seguridad ocupacional ya que la radiosensibilidad celular está relacionada con la predisposición al cáncer. En este sentido, el primer objetivo del proyecto fue evaluar la radiosensibilidad individual del personal sanitario en procedimientos de tratamiento o diagnóstico médico con radiaciones ionizantes. Además, también se determinó el estado antioxidante-oxidante de los mismos sujetos, con el firme propósito de que ambos parámetros se conviertan en una herramienta más dentro de las medidas preventivas ya instauradas frente al riesgo de exposición a radiaciones ionizantes.

Respecto a la evaluación de la radiosensibilidad, se ha ensayado y puesto a punto un biomarcador citogenético llamado test G2, mediante el cual se obtiene un parámetro de radiosensibilidad específico para cada individuo. La razón de esta metodología consiste en el hecho de que en los últimos años, se han obtenido evidencias que apoyan la hipótesis de que determinadas variantes genéticas juegan un papel importante en la respuesta a la radiación. Para el estudio de estas variantes pueden realizarse estudios moleculares o bien análisis citogenéticos como el que contempló el presente proyecto. Concretamente, el test G2 utilizado durante el estudio se basa en el análisis del daño cromosómico inducido por la irradiación de células de sangre periférica en fase G2 del ciclo celular y su utilidad como herramienta para la evaluación de la radiosensibilidad individual y la predisposición al cáncer ha sido reconocida en varias publicaciones científicas. En segundo lugar, la determinación del estado antioxidante-oxidante de los trabajadores es vivo justificada por el hecho de que el personal sanitario estudiado, al estar expuesto a bajas dosis de radiación de forma crónica, puede ver comprometido el equilibrio mantenido entre el estado antioxidante y oxidante. Esto se debe a que, como es bien conocido, durante la exposición a radiación ionizante los radicales libres formados durante la radiólisis del agua aumentan el estrés oxidativo y la formación de especies reactivas del oxígeno y del nitrógeno las cuales pueden llegar a dañar a macromoléculas como el ADN. Además, el interés de este



estudio derivó del hecho de que este tipo de exposición de los trabajadores puede llevarnos a dos escenarios: la afectación de las macromoléculas o bien a la llamada "respuesta adaptativa" que resultaría en una susceptibilidad menor de las células a la radiación ionizante al mantener activos los sistemas biológicos que contrarrestan los efectos de dicha radiación.

El personal del Hospital Universitario y Politécnico La Fe eligió en base a varios parámetros dependiendo de los puestos de trabajo o servicios catalogados como "profesionalmente expuestos a radiaciones ionizantes" según el Real Decreto 783/2001. Asimismo, se tomó un grupo control no expuesto a radiaciones ionizantes.

Durante el proyecto se llevó a cabo el ensayo de radiosensibilidad, Test G2, según la metodología descrita por Pantelias y Terzoudi (2011) que permitió calcular un parámetro de radiosensibilidad individual para cada sujeto. Para la evaluación del estado antioxidante se determinó la capacidad antioxidante total (TEAC), la actividad enzimática de la superóxido dismutasa extracelular (ecSOD), y el cociente entre glutatión reducido y oxidado (GSH/GSSG). Para la evaluación del estado oxidante se determinó la peroxidación lipídica mediante la formación de TBARS y la formación de nitritos y nitratos (NOX). Igualmente, a todos los sujetos se les realizó una encuesta clínica y un estudio nutricional a través de una entrevista dietética basada en un recordatorio de 24 horas. La dosimetría física se determinó con la dosis absorbida durante los 12 meses anteriores a la toma de muestra de sangre periférica, consultando el historial dosimétrico de los servicios de dosimetría personal externa, el CND y la empresa GD Energy Services, ambos autorizados por el CSN.

Los resultados de radiosensibilidad obtenidos al finalizar el proyecto mostraron que el 36% de los individuos estudiados, se clasificaron como "radiosensibles". Entre ellos, ocho fueron controles y tres fueron trabajadores, no teniendo ninguna relación que la mayoría fueran controles, ya que la característica de radiosensibilidad es considerada como genética o intrínseca al individuo. El 64% de los individuos estudiados, controles y los trabajadores, obtuvieron unos valores normales en el parámetro de radiosensibilidad.

Respecto al estudio del estado antioxidante-oxidante, se observaron diferencias entre los distintos grupos de trabajadores y el grupo control. Concretamente, el grupo de trabajadores del Servicio de Medicina Nuclear presentaba valores inferiores de TEAC y a su vez, valores superiores de TBARS respecto al grupo

control. Sin embargo, el grupo de trabajadores que realizan procedimientos de intervencionismo, se distinguió de los sujetos controles por presentar una actividad mayor de la enzima ecSOD. Ninguno de los grupos de trabajadores expuestos presentó diferencias significativas en los niveles de NOX. Los resultados preliminares del análisis del cociente GSH/GSSG mostraron que los intervencionistas presentaban un contenido más elevado de GSH que de GSSG sugiriendo un mayor poder reductor en este grupo. De forma general, en el estudio se concluyó que los trabajadores de medicina nuclear eran los más afectados, con una menor defensa antioxidante. Además, se consideró que el aumento de la peroxidación lipídica en este grupo, se podría deber a que en su práctica habitual trabajan con emisores β , con una energía lineal de transferencia superior a los fotones, que podría ser la causa de inducción de mayor nivel de estrés oxidativo. Por el contrario, los datos sugirieron que el grupo de intervencionistas podría haber desarrollado una "respuesta adaptativa" al estrés oxidativo aumentando la actividad de la enzima ecSOD y, probablemente, el cociente entre el GSH/GSSG.

Los resultados del estudio nutricional demostraron que la capacidad antioxidante de la población estudiada estaba en un 75.4% respecto al valor de la población española. Los investigadores atribuyeron este resultado a que la mayoría de trabajadores no realizaban las cinco comidas al día ni la ingesta de cinco raciones de fruta/verdura al día recomendadas a nivel nacional.

Gracias a la concesión de este proyecto, el Servicio de Protección Radiológica del HULaFe ha podido poner a punto el test de radiosensibilidad individual en fase G2 y obtener resultados preliminares de las características de determinados biomarcadores del estado antioxidante-oxidante, hábitos dietéticos, dosis de radiación absorbida y grado de radiosensibilidad.

Los resultados de este estudio van a ser publicados en la revista de la Fundación MAPFRE "Seguridad y Medio Ambiente" en el primer número de este año 2014. Y el trabajo se presentará en formato póster en el Congreso Europeo IRPA14.

Natividad Sebastián. Hospital La Fe.
Regina Rodrigo. IIS-La Fe.
y Alegría Montoro. Hospital La Fe.

PUBLICACIONES

Publicaciones IAEA

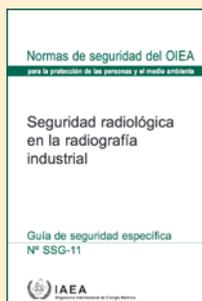
Radiation Safety in Industrial Radiography

Colección de normas de seguridad del OIEA SSG-11

En la presente Guía de Seguridad se formulan recomendaciones para garantizar la seguridad radiológica en la radiografía industrial. Se incluye el trabajo de radiografía industrial en que se utilizan fuentes de rayos X y gamma, tanto en instalaciones blindadas fijas que poseen controles técnicos, efectivos como en instalaciones blindadas externas que utilizan fuentes móviles (es decir, la radiografía *in situ*).

Sin embargo, no se analizan específicamente las orientaciones técnicas para las técnicas de radiografía neutrónica y gammagrafía subacuática, si bien se aplican los principios generales de seguridad.

(ISBN:978-92-0-338710-1) 112 pp



Disponible en:

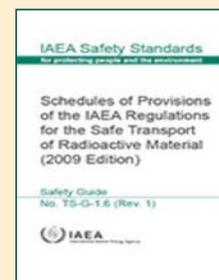
Schedules of Provisions of the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2009 Edition)

IAEA Safety Standards Series No. TS-G-1.6 (Rev. 1)

Esta Guía de Seguridad se emite en apoyo del Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos (Normas de Seguridad del OIEA Nº TS -R- 1 , edición de 2009). En ella se enumeran los números de los párrafos del Reglamento de Transporte que son relevantes para los tipos específicos de envío, clasificados de acuerdo con sus nú-

meros de la ONU. No proporciona recomendaciones adicionales. Esta guía de seguridad ayuda a los usuarios aportando una lista de requisitos pertinentes contemplados en el Reglamento de Transporte para cada tipo de material radiactivo, bulto o envío.

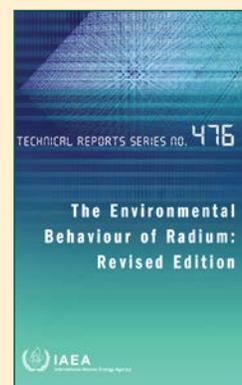
Disponible en:



The Environmental Behaviour of Radium: Revised Edition

Technical Reports Series nº 476

Esta publicación tiene como objetivo proporcionar a los Estados Miembros del OIEA la información más relevante y de utilidad en la evaluación radiológica de liberaciones accidentales ó rutinarias de radio en el medioambiente. Comprende el comportamiento del radio en los ambientes terrestres, de agua dulce y marinos. La información también podría servir de base para la planificación de la recuperación e identificación de estrategias óptimas de rehabilitación de áreas contaminadas por radio.



Disponible en:

Publicaciones ICRP

ICRP-124. Protection of the Environment under Different Exposure Situations

Ann. ICRP 43(1), 2014

Autores: R.J. Pentreath, J. Lochard, C.M. Larsson, D.A. Cool, P. Strand, J. Simmonds, D. Copplestone, D. Oughton, E. Iazo

En este informe, la ICRP describe el marco para la Protección Radiológica del Medio Ambiente y sus protocolos de aplicación. Se analiza la protección radiológica de la vida animal y vegetal (biota) dentro de su entorno natural. Se establece el uso de Especies de Referencia (animales y vegetales) para el estudio de la incidencia de las radiaciones ionizantes en un entorno natural. Se analizan los llamados *Derived Consideration Reference Levels (DCRLs)* que relacionan los efectos de la radiación con las dosis recibidas cuando éstas están por encima del fondo natural habitual en cada hábitat. También se estudian cuáles son las potenciales situaciones de exposición artificial en los medios naturales. El informe explica los principios claves que son relevantes en la protección del medio ambiente y cómo los valores de referencia de dosis basados en los DCRL pueden ser usados a la hora de establecer el nivel de esfuerzo requerido para garantizar la Protección Radiológica de un entorno determinado.

ICRP, 2014. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).
ISSN 0146-6453.
ISBN 978-1-4462-9614-1



Disponible en:

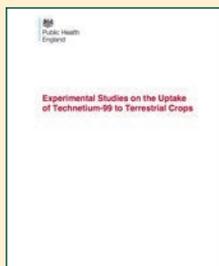
Publicaciones HPA

PHE-CRCE-008 Experimental Studies on the Uptake of Technetium-99 to Terrestrial Crops

Autores: L W Ewers y J Brown

El tecnecio 99 es dispersado al medioambiente desde distintas fuentes emisoras: las principales son las pruebas armamentísticas nucleares, las centrales nucleares, las instalaciones de procesamiento de combustible nuclear y los almacenes de residuos radiactivos. El ión pertecnecato, $^{99}\text{TcO}_4^-$, es el compuesto producido durante el ciclo del combustible nuclear y el que con más probabilidad puede ser liberado en el entorno.

Una revisión publicada en 2011 por la Agencia de Protección de Salud Británica encontró que la presencia de tecnecio en cosechas depende de si el tecnecio está en una forma química no reducida, como el TcO_4^- , o en una forma químicamente reducida, como es el caso del TcO_2 . Basado en esta revisión, se propusieron entonces unos Factores de Transferencia



- (TF) en cosechas para la forma reducida del tecnecio que eran alrededor de 10 veces más bajos que los Factores de Transferencia de la forma no reducida.
- El objetivo del presente estudio ha sido verificar experimentalmente algunas suposiciones realizadas en el estudio de 2011 y analizar factores adicionales como el tipo de tierra donde se cultiva (marga, turba....) y el periodo de tiempo necesario para la reducción química del tecnecio en el terreno.

ISBN: 978-0-85951-751-5

Disponible en:

PHE-CRCE-006 - Survey into the radiological impact of the normal transport of radioactive material by air

Autores: M P Harvey, A L Jones, T Cabianca, M Potter

En 2012 el *Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards* emprendió un estudio acerca del impacto radiológico del transporte de material radiactivo por avión a petición de la *Office for Nuclear Regulation* británica. El presente informe describe el resultado de la tercera fase de este estudio y lo compara con los resultados de las dos fases anteriores.

En este estudio se revisaron las principales operaciones de transporte de material radiactivo por avión hacia, desde y dentro del Reino Unido. Se visitó a los tres principales operadores que gestionan el envío de material radiactivo para obtener la información relevante y para evaluar las tasas de dosis ocupacionales de los trabajadores de estas empresas, la tripulación de los aviones y sus pasajeros.

El estudio encontró que aproximadamente 46.500 paquetes fueron transportados por avión en el Reino Unido en más de 4.400 vuelos. La mayoría de estos, eran fuentes médicas enviadas en vuelos de carga o de pasajeros internos; un pequeño número de fuentes industriales también fue embarcado por avión. Los materiales radiactivos asociados a la industria nuclear fueron transportados exclusivamente por tren o carretera.

La mayor dosis anual registrada a un trabajador de una empresa de manejo de carga fue de 7.0 mSv. Las dosis a la tripulación del avión y a sus pasajeros fueron generalmente muy bajas (menos de $75 \mu\text{Sv/año}$). El estudio también concreta recomendaciones sobre la ubicación de la carga radiactiva en la bodega del avión, de cara a maximizar las distancias entre ésta y la tripulación, pasajeros, etc.

ISBN: 978-0-85951-749-2

Disponible en:



CONVOCATORIAS 2014

“más información en www.sepr.es”

MAYO

- **15th European ALARA Network Workshop and 5th EUTERP Workshop**
Del 7 al 9 de mayo de 2014 en Rovinj (Croacia).
Más información:
- **International Workshop - Challenges in micro and nanodosimetry for ion beam cancer therapy (MiND-IBCT)**
Del 7 al 9 de mayo de 2014 en MedAustron, Wiener Neustadt (Austria).
Más información:
- **17th Radiochemical Conference**
Del 11 al 16 de mayo de 2014 en Mariánské Lázně (República Checa).
Más información:
- **XII Congreso Argentino de Física Médica, I Congreso Física Médica de las Américas y I Congreso de Medicina Nuclear y Diagnóstico por Imágenes**
Del 18 al 21 de mayo de 2014 en Buenos Aires (Argentina).
Más información:
- **II Simposio latinoamericano de radón - Brasil**
Del 19 al 23 de mayo de 2014 en Poços de Caldas, Minas Gerais (Brasil).
Más información:
- **IV Terrestrial Radionuclides in Environment International Conference**
Del 21 al 23 de mayo de 2014 en Veszprém (Hungria).
Más información:

- **RAD 2014 - Second International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research**
Del 27 al 30 de mayo de 2014 en Nis (Serbia).
Más información:
 - **International Conference on Radiation Protection in Medicine (RPM2014)**
Del 30 de mayo al 2 de junio de 2014 en Varna (Bulgaria).
Más información:
- ## JUNIO
- **European Alara Network Seminar**
Del 1 al 3 de junio de 2014 en Chantilly (Francia).
Más información:
 - **VIII Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental**
Del 11 al 13 de junio en Huelva (España).
Más información:
 - **EU-NORM2 Symposium**
Del 17 al 20 de junio de 2014 en Praga (República Checa).
Más información:
 - **IRPA Europeo 2014**
Del 23 al 27 de junio de 2014 en Ginebra (Suiza).
Más información:

JULIO

- **9^ª Conferencia internacional IRRMA**
Del 6 al 11 de Julio en Valencia (España).
Más información:
- **International Youth Nuclear Congress 2014**
Del 6 al 12 de julio de 2014 en Burgos (España).
Más información:

CURSOS 2014

MAYO

Curso de supervisores de instalaciones radiactivas (Ciemat)

Organizado por: La Unidad de Formación del Ciemat con la colaboración de Unesa y Enresa.

Fechas y horario: Ciemat, Avda. Complutense, 40. 28040 Madrid. Del 5 al 23 de mayo de 2014. 55 horas (en función del campo de aplicación realizado)

Objetivos: capacitar a los técnicos interesados en adquirir la formación necesaria para optar a la licencia de supervisor de instalaciones radiactivas. El curso incluye los conocimientos específicos de los siguientes campos de aplicación: Medicina Nuclear, Radioterapia, Fuentes no encapsuladas, Radiografía Industrial y Control de Procesos y Técnicas Analíticas.

Dirigido a: personas con titulación universitaria, como mínimo, de grado medio o equivalente. Programa homologado por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Documento de difusión:

Página web:

- **2nd EURADOS School on Voxel phantom development and implementation for radiation physics calculations (EURADOS School)**
Organizado por: EURADOS School, Helmholtz Zentrum München, IRNS y ENEA.
Lugar y fecha: Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Alemania. Del 13 al 15 de mayo de 2014
Objetivos: el Grupo de Trabajo 6 "Dosimetría Computacional" de Eurados organiza el Eurados School para el desarrollo del maniquí voxel y para la implementación de los cálculos de física de las radiaciones. Se dará información general y práctica sobre maniquíes voxel, su desarrollo y aplicación en varios paquetes de código Monte Carlo; así como sobre las aplicaciones seleccionadas.
Dirigido a: el curso está destinado a los científicos que son nuevos en el campo y los que quieren profundizar y ampliar sus conocimientos. El curso comprende conferencias, tutorías y ejercicios prácticos propuestos por expertos en la materia.
Documento de difusión: Ficha de inscripción:

JUNIO

Curso de capacitación para supervisores de instalaciones radiactivas (INTE)

Organizado por: El Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), el Hospital Clínic i Provincial de Barcelona, el Hospital de la Sta. Creu i St. Pau de Barcelona, la Sección de Ingeniería Nuclear del Departamento de Física e Ingeniería Nuclear de la UPC, el Instituto de Investigaciones Biomédicas de Barcelona (IIBB•CSIC) y la Escuela Española de Oncología Radioterápica de la Sociedad Española de Oncología Radioterápica (EOR•SEOR).

Cursos autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear, a propuesta del Servei de Coordinació d'Activitats Radioactivas de la Generalitat de Catalunya.

Lugar y fechas: Instituto de Técnicas Energéticas, Universidad Politécnica de Cataluña, Edificio ETSEIB, Avda. Diagonal, 647. 08028 Barcelona

Medicina Nuclear: 10 al 20 junio

Laboratorio con fuentes no encapsuladas: 10 al 19 junio

Control de procesos: 10 al 19 junio

Requisito previo: para poder realizar el curso de supervisores debe disponerse de titulación universitaria homologada en España.

Documento de difusión: [Ficha de inscripción:](#)

[Página web:](#)

Curso de formación para dirigir instalaciones de radiodiagnóstico médico general (Proinsa)

Organizado por: Proinsa.

Lugar y fecha: del 23 al 27 de junio de 2014, de 9:00 a 15:00 horas en EULEN Delegación Madrid, c/ Valle de Tobalina, 56 (Metro y tren de cercanías Villaverde Alto), 28021 Madrid.

Organizado por: Licenciatura en Medicina, Veterinaria y Odontología, Diplomatura en Podología

Documento de información e inscripción:

SEPTIEMBRE

Course on Monte Carlo Methods in Radiation Therapy (based on the CRC Press Taylor & Francis Book, 2013)

Directores del curso: Frank Verhaegen, MAASTRO Clinic, Maastricht, Holanda. Joao Seco, Massachusetts General Hospital, Boston, EE UU.

Lugar: Brasenose College at Oxford University, Reino Unido.

Fecha: del 4 al 6 de septiembre de 2014.

Tanto la matriculación como la adquisición del libro se pueden hacer a través de la página web que se indica.

[Página web:](#)

OCTUBRE

International School of Heavy Ions III. Course on Hadrons in Therapy and Space (EURADOS)

Organizado por: Eurados.

Lugar y fecha: Ettore Majorana Centre, Erice, Sicilia, Italia. Del 1 al 4 de octubre de 2014.

- Objetivo: los protones e iones pesados se utilizan en clínica para el tratamiento del cáncer, sin embargo representarían uno de los riesgos principales para la salud en una futura misión a Marte. En este curso se discutirá el estado actual de las terapias que utilizan partículas cargadas y cómo esta información puede utilizarse para estimar y mitigar el riesgo de radiación en futuras misiones a Marte.

Documento de difusión:

[Página web:](#)

Máster en energía nuclear y aplicaciones (MINA) (Ciemat)

- Organizado por: el Ciemat y la Universidad Autónoma de Madrid en colaboración con la Universidad de Cantabria, la Universidad del País Vasco, la Universidad Politécnica de Valencia, la Universidad Politécnica de Madrid y la Universidad Autónoma de Barcelona.

- Fecha, lugar y horario: del 1 de octubre de 2014 al 30 de junio de 2015. Ciemat. Avda. Complutense, 40. 28040-Madrid. Jornada completa.

- Objetivos: Proporcionar una formación general en el área de la Ciencia y la Tecnología Nuclear para postgraduados, que permita su integración profesional en el ámbito de la Industria Nuclear.

- El máster está estructurado en 575 horas de clases teóricas y prácticas a las que se suman 625 horas de estudio, y un Proyecto Fin de Máster de 300 h. Los alumnos que concluyan con éxito el proyecto obtendrán el título de Máster (1500 hr.). Existe la posibilidad de matricularse en asignaturas sueltas. Este máster tiene la consideración de "Estudio Propio" y se rige por la Normativa de Estudios Propios de la Universidad Autónoma de Madrid.

- Dirigido a: Titulados superiores o de grado de facultades o escuelas científicas o tecnológicas, tales como ingenierías, física, química, matemáticas, etc.; así como a profesionales relacionados con el sector nuclear.

Documento de difusión:

[Página web:](#)

Determinación de contaminación radiactiva por transuránicos en suelos: Metodología (Ciemat)

- Organizado por: la Unidad de Formación en Protección Radiológica y Tecnología Nuclear del Ciemat

- Fechas y lugar: del 20 al 23 de octubre de 2014. Ciemat, Avda. Complutense 40. 28040 Madrid.

- Objetivos: poner en conocimiento del personal interesado, técnicas que se han utilizado para la determinación de contaminación radiactiva en suelo. Durante todo el curso se hace referencia a los trabajos llevados a cabo en la caracterización radiológica de Palomares (Almería).

Documento de difusión:

[Página web:](#)

INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

1. PROPÓSITO Y ALCANCE:

La revista **RADIOPROTECCIÓN** es el órgano de expresión de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR).

Los trabajos que opten para ser publicados en **RADIOPROTECCIÓN** deberán tener relación con la Protección Radiológica y con todos aquellos temas que puedan ser de interés para los miembros de la SEPR. Los trabajos deberán ser originales y no haber sido publicados en otros medios, a excepción de colaboraciones de especial interés, según criterio del Comité de Redacción. Los trabajos aceptados son propiedad de la Revista y su reproducción, total o parcial, sólo podrá realizarse previa autorización escrita del Comité de Redacción de la misma.

La publicación de trabajos en **RADIOPROTECCIÓN** está abierta a autores de todo el país y distintas instituciones.

Los conceptos expuestos en los trabajos publicados en **RADIOPROTECCIÓN** representan exclusivamente la opinión personal de sus autores.

Todas las contribuciones se enviarán por correo electrónico a la dirección:

revista@sepr.es

2. RADIOPROTECCIÓN EN INTERNET

La revista **RADIOPROTECCIÓN** sólo se publica en formato electrónico y puede consultarse en la página de la Sociedad Española de Protección Radiológica (<http://www.sepr.es>).

3. NORMAS DE PUBLICACIÓN DE LA REVISTA RADIOPROTECCIÓN

3.1. Tipo de contribuciones que pueden enviarse a la revista

Las contribuciones que pueden enviarse a **RADIOPROTECCIÓN** son:

- Artículos de investigación
- Revisiones técnicas
- Noticias
- Publicaciones
- Recensiones de libros
- Convocatorias
- Cartas al director
- Proyectos de I+D

3.2. Normas para la presentación de artículos y revisiones técnicas

En todos los trabajos se utilizará un tratamiento de texto estándar (word, wordperfect). El texto debe escribirse a espacio sencillo en tamaño 12. La extensión máxima del trabajo será de 12 páginas DIN-A4 para los artículos y de 6 páginas para las revisiones técnicas, incluyendo los gráficos, dibujos y fotografías.

Los trabajos (artículos y revisiones técnicas) deberán contener:

3.2.1. Carta de presentación. Con cada trabajo ha de enviarse una carta de presentación que incluya el nombre, institución, dirección, teléfono, fax y correo electrónico del autor al que

hay que enviar la correspondencia. Los autores deben especificar el tipo de contribución enviada (ver apartado 3.1).

3.2.2. Página del título. Esta página debe contener, y por este orden, título del artículo, primer apellido e inicial(es) de los autores, nombre y dirección del centro de trabajo, nombre de la persona de contacto, teléfono, dirección de correo electrónico y otras especificaciones que se consideren oportunas. Cada autor debe relacionarse con la correspondiente institución usando llamadas mediante números.

El título, que irá en el encabezamiento del trabajo, no tendrá más de 50 caracteres (incluyendo letras y espacios).

Se incluirá un máximo de 6 palabras clave en español y 6 palabras clave en inglés que reflejen los principales aspectos del trabajo.

3.2.3. Resumen. Se escribirá un resumen del trabajo en castellano y en inglés que expresará una idea general del artículo. La extensión máxima será de **200 palabras en cada idioma**, que se debe respetar por razones de diseño y de homogeneización del formato de la revista.

- Es importante que el resumen sea preciso y sucinto, presentando el tema, las informaciones originales, exponiendo las conclusiones, e indicando los resultados más destacables.

3.2.4. Texto principal. No hay reglas estrictas sobre los apartados que deben incluirse, pero hay que intentar organizar el texto de tal forma que incluya una introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, referencias bibliográficas, tablas y figuras y agradecimientos.

Se deberían evitar repeticiones entre los distintos apartados y de los datos de las tablas en el texto.

Las abreviaturas pueden utilizarse siempre que sea necesario, pero siempre deben definirse la primera vez que sean utilizadas.

3.2.5. Unidades y ecuaciones matemáticas. Los autores deben utilizar el Sistema Internacional de Unidades (SI). Las unidades de radiación deben darse en el SI, por ejemplo 1 Sv, 1 Gy, 1 MBq. Las ecuaciones deben numerarse (1), (2) etc. en el lado derecho de la ecuación.

3.2.6. Anexos. Se solicita a los autores que no incluyan anexos si el material puede formar parte del texto principal. Si fuera imprescindible incluir anexos, por ejemplo incluyendo cálculos matemáticos que podrían interrumpir el texto, deberá hacerse después del apartado referencias bibliográficas. Si se incluye más de un anexo, éstos deben identificarse con letras. Un anexo puede contener referencias bibliográficas, pero éstas deben numerarse y listarse separadamente

(A1, A2, etc.). Debe hacerse mención a los anexos en el texto principal.

3.2.7. Tablas. Las tablas deben citarse en el texto. Deben ir numeradas con números romanos (I, II, III etc.) y cada una de ellas debe tener un título corto y descriptivo. Se debe intentar conseguir la máxima claridad cuando se pongan los datos en una tabla y asegurarse de que todas las columnas y filas están alineadas correctamente.

Si fuera necesario se puede incluir un pie de tabla. Éste debe mencionarse en la tabla como una letra en superíndice, la cual también se pondrá al inicio del pie de tabla correspondiente. Las abreviaturas en las tablas deben definirse en el pie de tabla, incluso si ya han sido definidas en el texto.

3.2.8. Figuras, gráficos y fotografías. Las figuras deben citarse en el texto numeradas con números arábigos. **Todos los gráficos, figuras y fotografías aparecerán en color en la revista.** Las **fotografías** deberán entregarse como **imágenes digitalizadas en formato de imagen** (jpg, gif, tif, power point, etc.) con una **resolución superior a 300 ppp**. Aunque las imágenes (fotos, gráficos y dibujos) aparezcan insertadas en un documento de word es necesario enviarlas también por separado como archivo de imagen para que la resolución sea la adecuada.

Cada figura (foto, tabla, dibujo) debe ir acompañada de su **pie de figura** correspondiente.

3.2.9. Referencias Bibliográficas. Debe asignarse un número a cada referencia siguiendo el orden en el que aparecen en el texto, es decir, las referencias deben citarse en orden numérico. Las referencias citadas en una tabla o figura cuentan como que han sido citadas cuando la tabla o figura se menciona por primera vez en el texto.

Dentro del texto, las referencias se citan por número entre corchetes. Dentro del corchete, los números se separan con comas, y tres o más referencias consecutivas se dan en intervalo. Ejemplo [1, 2, 7, 10-12, 14]. Las menciones a comunicaciones privadas deben únicamente incluirse en el texto (no numerándose), proporcionando el autor y el año. La lista de referencias al final del trabajo debe realizarse en orden numérico.

Se seguirán las normas Vancouver para las referencias bibliográficas:

http://es.wikipedia.org/wiki/Estilo_Vancouver

3.2.10. Enlaces y descargables. Se pueden incluir **enlaces** que los autores consideren interesantes **a direcciones web** siempre que se referencien en el texto entre paréntesis. Asimismo, se podrán incluir otros **documentos** de especial interés **para ser descargados**; para ello es necesario que dichos documentos estén **en formato pdf**, se referencien en el texto y sean **incluidos junto al resto de la documentación**.

Socios colaboradores de la SEPR



ALMARAZ
TRILLO



PHILIPS

FUJIFILM



PROINSA
GRUPOEULEN

GRUPO  ENUSA



GEOCISA

