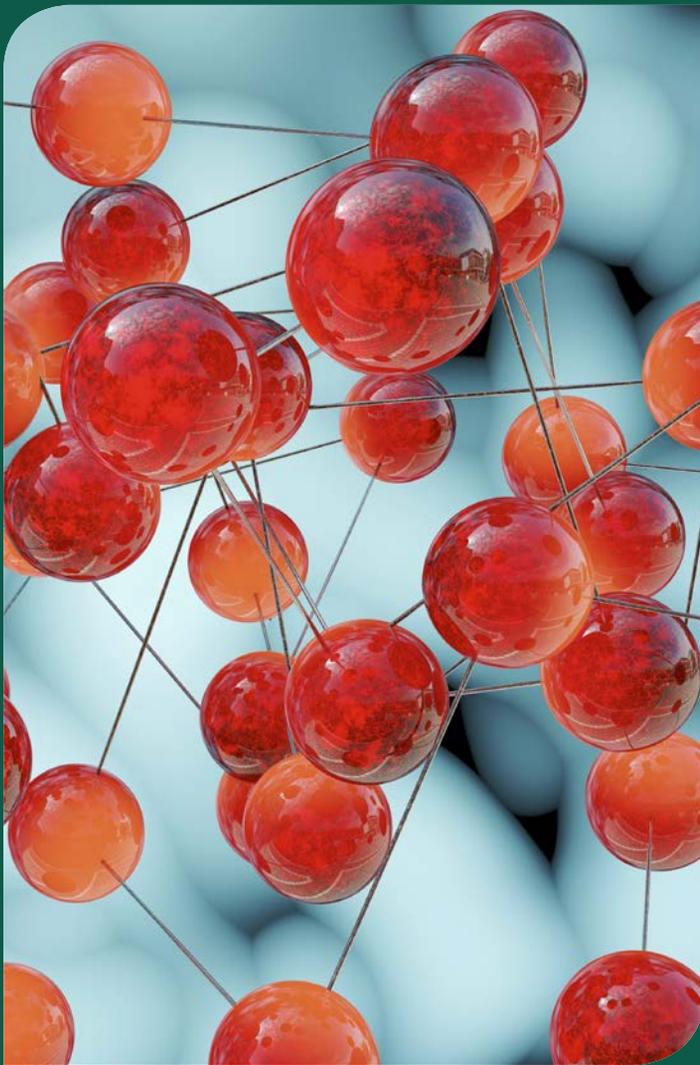


RADIOPROTECCIÓN

LA REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Nº 80 • OCTUBRE 2014

edición digital



- ▶ MÉTODO RÁPIDO PARA LA MEDIDA SECUENCIAL DE ISÓTOPOS DE AM Y PU EN MATRICES LÍQUIDAS POR ESPECTROMETRÍA ALFA
- ▶ ESTUDIOS DEL EQUILIBRIO ^{210}Pb - ^{210}Po EN VIDRIOS
- ▶ ESTIMACIÓN DE DOSIS DE EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES MEDIANTE DOSIMETRÍA BIOLÓGICA
- ▶ ESTUDIO DE LA RADIOSENSIBILIDAD Y ESTADO ANTIOXIDANTE-OXIDANTE EN TRABAJADORES EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES EN EL ÁMBITO HOSPITALARIO

ENTREVISTA:

Joan Francesc Barquinero

COORDINADOR DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN CONSOLIDADO, RADICAN



4 CONGRESO CONJUNTO
20 **SEFM** | 15 **SEPR**
Valencia **2015**



Infórmate

FÍSICA Y SALUD:
RETOS Y PERSPECTIVAS
DE LA FÍSICA MÉDICA Y
LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

20 SEFM - 15 SEPR

Sociedades Españolas de Física Médica
y de Protección Radiológica

del **23** al **26** de junio

Ciudad Politécnica de la Innovación



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.es

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 Octubre 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.

Esta edición está patrocinada por



RADIOPROTECCIÓN se publica con una frecuencia trimestral.

Indexeada: Latindex

S U M A R I O

- **Editorial** 4
- **Entrevista** 5
Joan Francesc BARQUINERO
Coordinador del Grupo de Investigación Consolidado, RADICAN
- **Cuarto Congreso Europeo IRPA 2014** 9
- **Colaboraciones** 14
 - Estimación de dosis de exposición a radiaciones ionizantes mediante dosimetría biológica
Rafael Herranz Crespo, Mercedes Moreno Domene, María Jesus Prieto Rodríguez y Miguel Ángel Lozano Barriuso 14
 - Estudio de la radiosensibilidad y estado antioxidante-oxidante en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes en el ámbito hospitalario
Natividad Sebastià, Regina Rodrigo, David Hervás, Lorena Olivares-González, Óscar Alonso, Laura Martí, Esther Jambriña, Ana Sarrias, José Pérez-Calatayud, Teresa García, Pilar Gras, Juan Ignacio Villaescusa, José Miguel Soriano, Zacarías León y Alegria Montoro 21
 - Método rápido para la medida secuencial de isótopos de Am y Pu en matrices líquidas por espectrometría alfa
Juan Mantero Cabrera 29
 - Estudios del equilibrio ^{210}Pb - ^{210}Po en vidrios
J. De la Torre Pérez, A. Martín Sánchez y A.B. Ruano Sánchez 33
- **Nota Técnica** 36
- **Noticias** 38
 - de la SEPR
 - de España
 - del Mundo
- **Proyectos I+D** 45
- **Publicaciones** 46
- **Convocatorias y Cursos** 48

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.

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.

Tras el anterior número extraordinario –en todos los sentidos– dedicado a las “Nuevas aplicaciones de imagen molecular en investigación biomédica”, que tuvimos la oportunidad de disfrutar en nuestras pantallas gracias al esfuerzo de todo el Comité de Redacción de la Revista, y a la estupenda coordinación de María Teresa Macías, retomamos la forma “ordinaria” de la revista en este número... no sin antes agradecerles el gran trabajo realizado.

Pero no pensemos que este número 80 es simplemente “ordinario”, ya que de ello no tiene nada más que su estructura, puesto que es extraordinario el nivel de los autores de los artículos y del entrevistado, a los que además reconocemos como socios muy destacados de la SEPR. Es también extraordinaria la publicación de trabajos de jóvenes investigadores, seleccionados entre los asistentes a las Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental, y resulta también extraordinaria la presencia internacional de los miembros de la SEPR, que se refleja en el resumen sobre el reciente Congreso Regional IRPA Europeo celebrado en Ginebra.

La magnífica entrevista al Dr. Joan Francesc Barquiner ilustra en muy breve espacio cuáles son las capacidades y las tendencias de la dosimetría biológica y la radiobiología, por lo que su lectura es altamente recomendable para los especialistas y para los que no lo son. En los artículos se refleja la actividad de grupos de investigación punteros en tres campos tan relevantes como la radiación natural y su medida, la dosimetría biológica mediante la técnica de dicéntricos y los estudios de radiosensibilidad individual. Sobre el primer tema, en una nota técnica, el Grupo Radón de la Universidad de Cantabria, liderado por el Prof. Luis S. Quindós, presenta el laboratorio

de radiación natural para calibraciones bajo condiciones naturales “in situ”. En el segundo, se aborda la dosimetría biológica mediante la técnica de dicéntricos, en la que el laboratorio del Centro de Radiopatología del Hospital General Universitario Gregorio Marañón ha conseguido la acreditación internacional por la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 con alcance a la norma ISO 19238:2004, que nos presentan el Dr. Rafael Herranz y colaboradoras. Y sobre el tercero, un amplio equipo del Hospital Universitario y Politécnico La Fe y de la Universidad de Valencia, nos ilustra acerca de los estudios que desarrollan, aun no concluyentes, empleando biomarcadores para estudiar la radiosensibilidad de trabajadores del ámbito hospitalario y su relación con el estado oxidante-antioxidante celular.

La parte científica del número la completan dos artículos de los jóvenes que merecieron las becas de participación en las VIII Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental, celebradas en Huelva el pasado mes de junio. Ambos trabajos muy meritorios y cuya publicación satisface al demostrar que “hay cantera” y de calidad en dicho campo. El primero, de Julián de la Torre Pérez, de la Universidad de Extremadura, se refiere al estudio de dosimetría retrospectiva de radón, basándose en el equilibrio en vidrios entre el ^{210}Po y su progenitor, el ^{210}Pb , ambos descendientes del ^{222}Rn , mientras que en el segundo, de Juan Mantero de la Universidad de Sevilla, se presenta un método para generar en matrices acuosas las fuentes de medida necesarias en la detección de isótopos de Pu y Am para ser medidas con posterioridad por espectrometría alfa.

Sin duda, esta excelencia de los trabajos que van apareciendo en RADIOPROTECCIÓN

se transferirá el año próximo al IV Congreso conjunto de las Sociedades Españolas de Protección Radiológica y Física Médica, que tendrá lugar del 23 al 26 de junio de 2015, en la Ciudad Politécnica de la Innovación de la Universidad Politécnica de Valencia, bajo el lema: “Física y salud: retos y perspectivas de la Física Médica y la Protección Radiológica”. Estamos seguros de que la respuesta a la convocatoria de nuestro Congreso no tendrá tampoco nada de “ordinaria”, y hacia ello están trabajando ya desde hace unos meses los Comités Organizador y Científico, a los que deseamos el mayor de los aciertos en su labor. Desde las páginas de RADIOPROTECCIÓN les seguiremos la pista muy de cerca...

Para terminar, hay que destacar muy especialmente la reciente creación de la nueva Plataforma Nacional de I+D en Protección Radiológica (PEPRI), promovida por la SEPR e impulsada por el CSN, en cuya sede se celebró el día 3 de julio su asamblea constituyente. Allí se constituyó el primer Consejo Gestor y se eligió como presidente a Francisco Fernández, ex consejero del CSN y catedrático emérito de la Universidad Autónoma de Barcelona. La SEPR ha asumido la secretaría de la PEPRI, aceptando nuestro expresidente, Pío Carmena, la responsabilidad de dicha labor. Las funciones y objetivos de la PEPRI se describen con más detalle en este número. Con el entusiasmo de sus miembros, en particular el presidente, el secretario y los miembros del Consejo Gestor, estamos seguros de que esta iniciativa de la SEPR tendrá gran trascendencia en el futuro de la investigación en nuestro campo, lo cual es también extraordinariamente importante para desarrollar una adecuada y cada vez más excelente protección radiológica.

EDUARDO GALLEGO
Presidente de la SEPR

SEPR



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
PROTECCIÓN RADIOLÓGICA
www.sepr.es

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**
Vicepresidenta: **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**



Joan Francesc BARQUINERO

Coordinador del Grupo de Investigación Consolidado, RADICAN

Joan Francesc Barquinero, tiene competencias en materias como la radiobiología, la citogenética, genética humana, genética del cáncer, la biología celular y cultivos celulares. Sus estudios sobre los efectos citogenético de exposición a las radiaciones ionizantes en los seres humanos se iniciaron hace 25 años en la Universidad Autónoma de Barcelona. Posteriormente realizó una etapa post-doctoral en la antigua GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH (Alemania). Después de eso, tubo varios cargos como profesor universitario en España, y desde septiembre 2011 se encontraba en Francia en el IRSN como jefe del Laboratorio de Dosimetría Biológica.

Durante su carrera ha participado en estudios sobre la exposición ocupacional a dosis bajas, la respuesta adaptativa, efectos de la radioterapia, estudios citogenéticos de las aberraciones cromosómicas inducidas por la radiación, radioprotectores, estudios sobre la eficacia biológica relativa de los rayos X de baja energía, y la respuesta de los portadores de la mutación BRCA1 para exposiciones a la radiación, y más recientemente en los estudios para mejorar la respuesta de dosimetría biológica en caso de víctimas en accidentes radiológicos con múltiples víctimas.

Desde 2007, el OIEA le solicita regularmente como experto en dosimetría biológica. En este sentido, ha participado en la elaboración del nuevo manual del OIEA sobre la dosimetría biológica.

El Dr Joan Francesc Barquinero es el coordinador de un Grupo de Investigación Consolidado cuyo nombre y acrónimo son: Estudiis Citogenètics i Moleculars dels efectes de les radiacions ionitzants i del càncer (RADICAN).



Equipo de efectos genéticos de las radiaciones ionizantes de la Universidad Autónoma de Barcelona. De izquierda a derecha, Mireia Borràs, Leonard Barrios, Mònica Pujol i Joan-Francesc Barquinero.

El grupo "Estudios citogenéticos y moleculares de los efectos de las radiaciones ionizantes y del cáncer" es un grupo multidisciplinar con diferentes líneas de investigación donde la participación de los diferentes miembros ayudan a alcanzar los objetivos que se han ido proponiendo. Los conocimientos físicos o bien biológicos se integran para realizar una investigación de calidad.

Los objetivos del grupo son mantener su reconocimiento internacional en el campo de la dosimetría biológica, es decir la estimación de la dosis de radiación recibida utilizando biomarcadores, en el campo de los estudios citogenéticos y moleculares del cáncer, y en el campo de la optimización de la radioterapia. Se pretende consolidar los estudios sobre la variabilidad interindividual a los efectos de las RI tanto en individuos sanos, y del efecto de radioterapia y quimioterapia en personas afectas de neoplasias. Continuar y aumentar el nivel de colaboración con otras instituciones para el estudio de aspectos fundamentales sobre la radiosensibilidad y radioresistencia, la deposición de energía en el núcleo celular, la señalización del daño inducido y las modificaciones epigenéticas en el reconocimiento de este de daño, el análisis genético y molecular de leucemias.

UNA AMPLIA EXPERIENCIA EN DOSIMETRÍA BIOLÓGICA

¿Cuál ha sido el avance en esta materia en los últimos años?

La estimación de la dosis absorbida mediante un parámetro biológico empieza su andadura hacia finales de los 60 principios de los 70 con el análisis de aberraciones cromosómicas, particularmente los cromosomas dicéntricos presentes en linfocitos de sangre

periférica, y, aunque parezca mentira, en los últimos años se han realizado avances importantes. Yo los clasificaría en dos aspectos: 1) rapidez: el análisis al microscopio de cromosomas dicéntricos es tedioso y limita el número de casos que se pueden analizar, en este sentido la utilización de microscopios motorizados acoplados a sistemas de imagen que detectan automáticamente los dicéntricos supone una mejora considerable. 2) La utilización de otros

parámetros biológicos: el análisis de dicéntricos está indicado para exposiciones agudas y recientes a un rango de dosis de entre 0.1 y 5 Gy. Actualmente se pueden realizar estimaciones retrospectivas mediante el análisis de otro tipo de aberraciones cromosómicas, las translocaciones, y se pueden aplicar distintas técnicas para estimar exposiciones a dosis muy elevadas como fue el caso del accidente de Tokaimura.

¿Qué importancia tienen las redes existentes para la respuesta en accidentes nucleares?

Yo preferiría accidentes o incidentes radiológicos, puesto que existen otros escenarios en los que la población puede resultar expuesta a las radiaciones ionizantes. Es justamente el estudio de estos escenarios el que ha mostrado que existen situaciones en las que las capacidades operativas de un laboratorio quedarían desbordadas, y la única forma de dar respuesta es mediante la creación de redes, ya sean de ámbito nacional, regional o global. Sin embargo, para que una red sea funcional uno de los requisitos es que los métodos de análisis estén armonizados. Es por ello que existen convenios como RENE (auspiciada por la Unión Europea), BioDose-Net (auspiciada por La Organización Internacional de la Salud), que reúnen laboratorios de dosimetría biológica de distintos países y apoyan acciones como ejercicios de intercomparación, o el aprendizaje de nuevas metodologías.

Quiero destacar también el trabajo que realiza el OIEA, con su red RANET, en este caso tras un accidente radiológico, y a petición del país, el OIEA puede solicitar ayuda a otro país para una acción concreta. Esta puede incluir cualquier aspecto relacionado con la respuesta al accidente, no sólo la dosimetría biológica.

¿Qué aplicación tiene la dosimetría biológica en respuesta a accidentes radiológicos en relación a la estimación de dosis y efectos?

La dosimetría biológica es un elemento más a considerar en un accidente radiológico, y tiene por objetivo ayudar a reconstruir el accidente. La frecuencia de dicéntricos *per se* tiene un valor limitado, y sólo cuando se combinan los resultados de dosimetría biológica, con los de la dosimetría física y los de reconstrucción de la dosis, el estudio adquiere su sentido. En cuanto al efecto del accidente, este estará ligado a la dosis recibida, que no necesariamente ha de ser la estimada mediante dosimetría biológica. Pongo como ejemplo accidentes recientes ocurridos con aparatos de gammagrafía industrial, en los que una parte del cuerpo ha recibido dosis extremadamente elevadas. En este tipo de accidentes la dosimetría biológica permite orientar al hematólogo al estimar una dosis media recibida, pero no ayuda al cirujano plástico a conocer la evolución de la zona altamente irradiada.

¿Está prevista la utilización de la dosimetría biológica en el control de los

trabajadores de las instalaciones nucleares?

Por definición la dosimetría biológica es un elemento a considerar en casos de accidentes radiológicos. Por lo tanto sin sobreexposición sería un dispendio realizar estudios de dosimetría biológica. Una opción que sí creo sería factible, es que en aquellos sectores industriales o médicos, no necesariamente las instalaciones nucleares, en los que exista un riesgo de sobreexposición crónica o aguda, se establezcan unos bancos de muestras control. La existencia de estas muestras control permitiría una mayor precisión en el estudio de dosimetría biológica que se realizase tras una posible sobreexposición.

Otra cosa que sí que creo útil a nivel de protección radiológica, es realizar estudios caso-control sobre el posible efecto de exposiciones a bajas y muy bajas dosis en trabajadores expuestos, en este caso biomarcadores de exposición como las aberraciones cromosómicas, no sólo dicéntricos, pueden ser de utilidad.

¿Pueden aplicarse las técnicas utilizadas en dosimetría biológica a otros agentes nocivos para la salud diferentes a las radiaciones ionizantes?

El principio de la dosimetría biológica es utilizar un biomarcador de exposición a las radiaciones ionizantes. Este biomarcador debe mostrar una buena relación dosis-respuesta, tener una baja presencia basal, y no mostrar variabilidad interindividual, es decir que a una misma dosis de radiación la respuesta de distintos individuos sea más o menos homogénea. Con este biomarcador se realizan curvas de calibración dosis-efecto que, a su vez, se utilizarán después para inferir la dosis de una muestra proveniente de una persona expuesta. Existen biomarcadores de exposición a otros agentes; en la medida que se cumplan los requisitos que he indicado anteriormente, no veo por

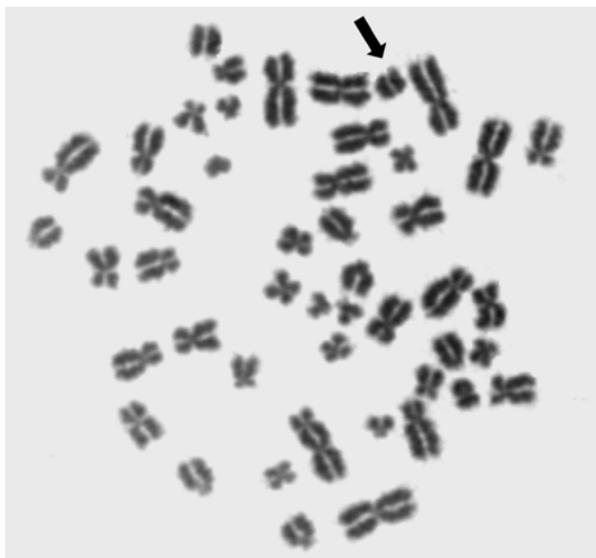


Figura 1. Imagen de una célula en metafase teñida uniformemente en la que se puede apreciar un cromosoma dicéntrico y un fragmento cromosómico acéntrico.

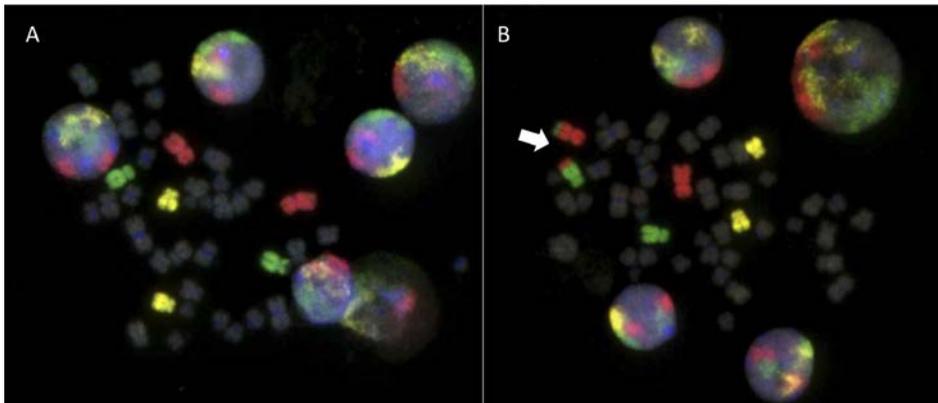


Figura 2. Imágenes de dos células en metafase en las que los cromosomas 2, 4 y 12 se han pintado utilizando sondas de ADN específicas para estos cromosomas. El cromosoma número 2 está marcado de color rojo, el cromosoma número 4 en verde y el número 12 en amarillo. A – Célula normal sin aberraciones cromosómicas que impliquen los cromosomas pintados. B – Célula con una translocación recíproca entre los cromosomas número 2 y 4.

qué no se puede trasladar el mismo principio para estimar la exposición a otros agentes.

De su trabajo como jefe del Laboratorio de Dosimetría Biológica del IRSN, ¿Cuáles fueron las principales experiencias?

La más importante, ¡vivir en París durante dos años y medio!. Bien, yo vengo del mundo universitario y, por tanto, la radioprotección forma parte de la línea de investigación que desarrollo con mis colegas. Mi estancia en el IRSN me permitió trabajar en una institución exclusivamente dedicada a la radioprotección, en la que tuve contacto con profesionales de todo ámbito, desde radiopatólogos hasta expertos en dosimetría interna o simulación Montecarlo. Incluso pude participar en reuniones donde se discutía cómo gestionar un incidente radiológico de gran envergadura. Quiero indicar también que debido al reconocimiento internacional del IRSN, pude participar en la gestión de diversos accidentes radiológicos relevantes, algunos con consecuencias graves sobre algún individuo.

¿Qué papel tiene la investigación española en dosimetría biológica con relación a los países de nuestro entorno?

Es difícil poner una fecha de inicio de la investigación en dosimetría biológica

en España, y aunque ya se había utilizado el estudio de las alteraciones cromosómicas para relacionarlo con la dosis de radiación recibida en algunos incidentes, yo pondría como inicio formal el año 1990. En ese año el Dr. Rafael Herranz del Hospital del Gregorio Marañón organiza la primera reunión internacional de dosimetría biológica en Madrid. En aquel entonces había diversos grupos de investigación interesados y gracias a convenios con el Consejo de Seguridad Nuclear se establecieron distintos laboratorios de dosimetría biológica. Si bien actualmente no están todos los que eran, y han aparecido nuevos laboratorios, creo que en mayor o en menor medida los trabajos realizados en España han contribuido de manera evidente a la mejora de la dosimetría biológica. La publicación de artículos especializados en revistas internacionales, la recepción de investigadores extranjeros, la participación en proyectos europeos, y una participación más que relevante en la redacción de documentos técnicos auspiciados por organismos internacionales como puede ser el OIEA, son una prueba evidente que la investigación que se desarrolla en España ha sido de primer nivel. Quiero indicar que esta posición está en peligro. Actualmente, para ser compe-

titivo se requiere de una parte de equipos multidisciplinarios y transversales y no sé hasta qué punto los distintos laboratorios, formados por 2-4 personas, serán capaces de buscar sinergias con otros grupos. Por otra parte, cada vez la investigación es más costosa y en el momento económico actual este es un elemento preocupante.

¿Hacia dónde avanza, en su opinión, el futuro de la dosimetría biológica?

En el campo de la radioprotección, la dosimetría biológica avanza obligatoriamente a integrarse como un elemento imprescindible y necesario en toda reconstitución de dosis. En cuanto a ella, como técnica, creo que actualmente se está trabajando en distintos aspectos que mejorarán su capacidad de respuesta: el desarrollo de nuevas técnicas que puedan responder mejor a exposiciones en las que una parte del cuerpo haya estado expuesta a dosis muy elevadas; la incorporación de sistemas automáticos de análisis que permitan una mayor eficacia; la armonización entre de las técnicas establecidas en diferentes laboratorios, aumentando el potencial de personas a analizar; la posibilidad de estimar exposiciones internas, etc.

LA RADIOBIOLOGÍA

¿Cuáles son los principales retos a los que se enfrenta esta área de la ciencia?

Existen muchos retos, desde aquellos que lo son desde hace tiempo como es la comprensión de lo que sucede tras la exposición a bajas dosis o poder encontrar biomarcadores que permitan identificar un cáncer como radioinducido entre otros. Hay otros retos que vienen dados por la mejora en los tratamientos contra el cáncer. Creo que minimizar y/o paliar los efectos secundarios de la radioterapia será un objetivo prioritario en radiobiología.

¿Cuáles son las líneas de investigación más relevantes del Grupo de Investiga-

ción Consolidado RADICAN, del que es usted coordinador?

El grupo aúna tres subgrupos concretos que incluyen: comprender la genética del cáncer, con especial interés por las leucemias; aumentar el conocimiento del efecto genético de las radiaciones ionizantes, siendo de especial relevancia las aplicaciones en dosimetría biológica; y la optimización de la radioterapia, concretamente la sincronización de la irradiación con el movimiento respiratorio. Pretendemos mantener el reconocimiento internacional de cada uno de los subgrupos, y consolidar los estudios sobre la variabilidad interindividual en los efectos de las radiaciones ionizantes, como en personas afectadas de neoplasias. Continuar y aumentar el nivel de colaboración con otras instituciones de ámbito internacional para el estudio de aspectos fundamentales sobre la radiosensibilidad y radioresistencia, la deposición de energía en el núcleo celular, la señalización del daño inducido y las modificaciones epigenéticas en el reconocimiento de este año, y el análisis genético y molecular de leucemias.

¿Cómo podrían ayudar las técnicas citogenéticas a conocer la predisposición de un individuo a desarrollar cáncer radioinducido?

La pregunta es compleja, y supongo que la respuesta no gustará mucho a alguno de mis colegas, pero... el cáncer radioinducido es un efecto tardío y estocástico a una exposición a las radiaciones ionizantes. En ausencia de neoplasia o estados preneoplásicos nuestras células son normales, es decir muestran un cariotipo normal. Existen autores que sugieren que utilizando células normales de individuos sanos y sometiéndolas *in vitro* a un estrés, por ejemplo irradiándolas, aquellos individuos que muestren más daño serán los que tendrán una mayor predisposición a un cáncer radioinducido. Esto presupone que los mecanismos implicados en la respuesta al stress producido por la irradiación son los mismos que los que iniciarán el proceso neoplásico, y no tiene que

ser necesariamente así. Además, los últimos estudios parecen indicar que las células de un mismo individuo no siempre reaccionan de la misma manera al estrés *in vitro*.

Es verdad que existen ciertos síndromes en los que existen mutaciones en genes ligados a la reparación del ADN que muestran una mayor predisposición a desarrollar algún tipo de cáncer. Estos síndromes son enfermedades raras y afectan pocos individuos, pero nos indican que sí que existe una relación entre la deficiencia en reparar el ADN y la probabilidad de desarrollar un cáncer. Esto ocurre para los portadores de estas mutaciones, para el resto de la población no está tan claro. En todo caso sí existen polimorfismos genéticos que aumentan el riesgo de padecer cáncer radioinducido. Una manera que se me ocurre para detectarlos sería comparar mediante técnicas de genética molecular leucemias de novo con leucemias relacionadas con un tratamiento de radioterapia anterior. En todo caso, el factor de riesgo más importante creo que siempre será la dosis de exposición.

¿Cuál es su opinión sobre el riesgo de cáncer radioinducido en pediatría por el uso de la tomografía computerizada?

Es evidente que el uso de técnicas de radiodiagnóstico está cada vez más extendido, y creo que es un beneficio sanitario evidente. Sin embargo, no se debe menospreciar que cualquier aumento de exposición a las radiaciones ionizantes aumenta la probabilidad de padecer cáncer. Por lo tanto, se debería minimizar en lo posible su uso.

Desde la perspectiva profesional en el ámbito de la protección radiológica, ¿considera de interés su incorporación en determinadas licenciaturas?

Los grados o licenciaturas son cortos, y probablemente ahora pasaremos de grados de cuatro años a grados de tres. Con esta reducción es difícil reivindicar la incorporación de una asignatura de radioprotección. Creo que su lugar está en estudios más avanza-

dos, por ejemplo, en un máster. En otro tipo de estudios, más profesionalizados, incorporar temas de radioprotección es imprescindible.

¿Pueden trasladarse las técnicas de evaluación de la radiosensibilidad en pacientes de la investigación al campo asistencial?

La radiosensibilidad es un concepto muy amplio, y depende del marcador que se analice. Utilizando muestras *ex vivo* del paciente, la radiosensibilidad se puede medir analizando la muerte celular, la inducción de alteraciones cromosómicas, el numero de focos de la proteína γ H2AX, entre otras cosas. El problema está en si estos marcadores clasifican siempre de la misma manera. Es decir, si los individuos que muestran más sensibilidad con un marcador la muestran también con los otros, o si los resultados de un mismo marcador son reproducibles. Cuando hacemos estudios de radiosensibilidad en pacientes, no debemos olvidar que lo hacemos utilizando una muestra *ex vivo* y que lo que le ocurra a la muestra no tiene porqué ser extrapolable a lo que le ocurrirá al paciente. Cuando se habla de radiosensibilidad en pacientes se supone que queremos conocer cuáles serán aquellos que mostrarán los efectos adversos de una forma más severa, y de efectos adversos también hay unos cuantos desde una radiodermatitis hasta la osteonecrosis. Si consideramos la población general, y excluimos ciertos síndromes conocidos por su sensibilidad a las radiaciones, en el estado de conocimiento actual yo no modularía un tratamiento de radioterapia a partir del resultado de un test. El objetivo de la radioterapia, y la quimioterapia, es infringir el mayor daño posible a las células tumorales. Sin embargo sí que el estudio de los mecanismos implicados en la aparición de los efectos no deseados en tejido sano, nos puede ayudar a conocer qué factores, genéticos o ambientales, influyen en la respuesta adversa. Estos conocimientos serían de gran ayuda, para individualizar los riesgos y poder actuar antes de que aparezcan. ■

Cuarto Congreso Europeo IRPA 2014

Los pasados días 23 a 27 de junio, la ciudad de Ginebra acogió el Cuarto Congreso Europeo IRPA, tras sus antecesoras Florencia (2002), París (2006) y Helsinki (2010). Organizado por la Sociedad Germano-Suiza de Protección Radiológica (FS) en colaboración con la Asociación Francófona Suiza de Radioprotección (ARRAD) bajo el lema *Radiation protection culture - a global challenge*, el evento reunió a 636 participantes de 48 países, entre los que se incluían representantes de organizaciones internacionales de la importancia de OIEA, ICRP, ICNIRP, EU, WHO, ILO, OCDE/NEA, ICRU y Unsear, entre otras.



En la foto, de izquierda a derecha, durante la sesión de clausura, aparecen Ferid Shanoun (Unsear), Miroslav Pinak (OIEA), María Pérez (OMS), Shengli Niu (OIT), Hans Menzel (ICRU e ICRP), Renate Czarwinski (presidenta de IRPA), Rolf Michel (presidente del Comité Científico) y Klaus Henrichs (presidente del Congreso).

La representación española contó con 16 delegados, con una amplia presencia de la SEPR encabezada por el presidente, Eduardo Gallego, y la vicepresidenta, Mercè Ginjaume, que también presentaban trabajos científicos. Cabe destacar que Alejandro Úbeda formó parte del Comité científico y del Comité del premio a los mejores pósters mientras que, Eduardo Gallego, fue vicepresidente del Comité del premio a jóvenes científicos y profesionales.

El día 23, tras la apertura del Congreso que corrió a cargo de su presidente, Klaus Henrich, se dio el pistoletazo de salida al contenido científico del mismo, iniciándose con una sesión plenaria sobre cultura de protección radiológica y cultura de seguridad, en la que en primer lugar se presentaron los fundamentos éticos del sistema de protección radiológica que, actualmente, se están debatiendo en una serie de talleres organizados conjuntamente por la IRPA y la ICRP, y se presentó el documento de principios sobre cultura de la protección radiológica elaborado por IRPA, poniendo de manifiesto su importancia para anticiparse a los problemas y obtener el compromiso de los profesionales de la materia, finalizando el bloque con un lema que se repetiría a lo largo de todo el Congreso, *la cultura de protección radiológica es un modo de vida que se aprende*.

Asimismo, como complemento a las sesiones científicas, se contó con una exposición técnica de 26 compañías u organizaciones relacionadas con la materia, que mostraron sus últimos desarrollos, y con una exposición artística, en la

- que 47 artistas textiles, de más de 12 países, mostraron su visión sobre el tema de la radiación.

Foro de asociaciones IRPA

- Los congresos de la IRPA son la mejor oportunidad para poder intercambiar experiencias y debatir temas de interés común entre las asociaciones; por ello se incluye una sesión especial para el *Foro de las asociaciones*. En esta ocasión el Foro tuvo lugar en la mañana del día 25, y en él participaron, representando a la SEPR, el presidente y la vicepresidenta, Eduardo Gallego y Mercè Ginjaume. En el Foro se presentaron las iniciativas actualmente en marcha, como son los talleres dedicados a debatir las bases éticas del sistema de protección radiológica, que se están celebrando en colaboración con la ICRP. La SEPR se ha ofrecido a organizar el siguiente taller europeo, en febrero de 2015, en colaboración con las sociedades francesa, italiana y británica. También hubo breves intervenciones de otras asociaciones, en particular la de los Países Bajos, que se ofreció a organizar el siguiente Congreso regional europeo en La Haya, en 2018.

- Por parte de IRPA, destacaron las presentaciones del Plan Estratégico, a cargo de la presidenta, Renate Czarwinski, los principios sobre cultura de la protección radiológica, a cargo del secretario ejecutivo, Bernard LeGuen, las acciones para potenciar la participación de los jóvenes, a cargo



Eduardo Gallego.

de Alfred Hefner, y el plan de acción sobre educación y formación, a cargo de Eduardo Gallego.

La SEPR presentó su estructura organizativa, y cómo a través de los grupos de trabajo y, en particular, de los foros con el CSN, se espera contribuir a la adecuada implementación de la nueva directiva europea.

SESIONES CIENTÍFICAS

Entre los días 24 y 27 tuvieron lugar las sesiones científicas que cubrieron ampliamente todos los campos de las radiaciones ionizantes y no ionizantes, contando con más de una centena de trabajos orales y más del doble de pósteres científicos. Los temas tratados se agruparon en las siguientes materias:

- Fundamentos y regulación en protección radiológica.
- Efectos biológicos.
- Medidas y dosimetría.
- Radioecología y medioambiente.
- Protección radiológica del público.
- Protección radiológica del paciente.
- Protección radiológica de los trabajadores.
- Educación e interacción con la sociedad.
- Seguridad radiológica y física en emergencias.
- Premio a los jóvenes científicos y profesionales.

Fundamentos y regulación

En relación con la normativa europea, se habló sobre la consolidación de ésta en materia de protección radiológica en la nueva directiva de Euratom y su transposición a las reglamentaciones nacionales de los estados miembros. Se planteó asimismo la situación de las otras dos directivas que, junto con la anterior, conforman el marco fundamental legislativo europeo en materia de PR, la directiva 2009/71/Euratom de 25 de junio sobre seguridad nuclear

- de instalaciones nucleares y la 2011/70/Euratom de 19 de julio sobre gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos, destacando la necesidad de su actualización y armonización con la nueva directiva.

En el marco internacional se debatió sobre el estado del nuevo borrador de recomendaciones de ICRP en materia de protección radiológica contra la exposición al radón, y sobre el compromiso adquirido por parte de la OMS en la implementación a nivel nacional de las normas básicas de seguridad internacionales en su Programa de Protección Radiológica y Salud Pública.

En otro orden de cosas, se expuso la necesidad de abordar la gestión de la cultura de protección radiológica en medicina veterinaria. Se planteó la necesidad de evaluar y realizar recomendaciones en aquellas áreas donde la ética médica se superpone a los principios de protección radiológica y se presentaron estudios sobre temas diversos, como los posibles efectos no cancerígenos de las radiaciones ionizantes o los resultados del estudio internacional realizado por la OMS sobre las distintas políticas nacionales de gestión de los riesgos relacionados con los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, que presentaba la situación actual en un total de 85 países.

Efectos biológicos

Bajo este epígrafe se presentaron, en tres sesiones, los resultados de diversos estudios epidemiológicos, tomando como cohorte poblaciones de Hiroshima y Nagasaki, Chernobyl o los trabajadores de distintas actividades minero-industriales, y se establecieron grandes objetivos como la identificación de biomarcadores para arrojar luz sobre los mecanismos de carcinogénesis para poder ser integrados en estos y otros estudios epidemiológicos.

De gran acogida fue la exposición sobre las conclusiones obtenidas hasta la fecha a través de la estrategia europea de investigación a bajas dosis, la plataforma Melodi, y el programa Doremi asociado.

Medidas y dosimetría

Temas igualmente interesantes se trataron en las sesiones dedicadas a esta temática, en las que se presentaron estudios sobre dosimetría ocupacional en distintos gremios, como los trabajadores de la industria del metal o el de los astronautas, junto con las recomendaciones surgidas del proyecto europeo Multibiodose a las organizaciones europeas de respuesta ante emergencias.

También hubo momentos para la reflexión, en los que se plantearon grandes interrogantes, como la necesidad de un cambio en la revisión de cantidades operacionales de dosimetría de la exposición externa definidas por ICRU

o la fiabilidad de los métodos de medida de radón, y se presentaron trabajos muy especializados relacionados con dosimetría biológica y microdosimetría, aportando estudios de intercomparaciones llevadas a cabo en los últimos años y exponiendo el estado del arte en materias concretas como la dosimetría del cristalino en relación con los nuevos límites recomendados por ICRP.

Finalmente, se debatió acerca de las estrategias de medida y monitorización ambiental, poniendo ejemplos concretos en distintos países allí representados, y se expusieron las tendencias y grandes líneas de investigación en este ámbito para los próximos veinte años establecidas en la agenda estratégica de Eurados.

Radioecología y medioambiente

Para la radioecología se reservaron dos sesiones muy fructíferas en las que se pudo apreciar la importancia que cobra este tema a nivel europeo e internacional a través de una presentación sobre la Alianza Europea de Radioecología, en la que se expuso la necesidad de desarrollar un sistema de protección radiológica del medioambiente, que abre un amplio abanico de líneas de investigación asociadas a la materia.

Protección radiológica del público

En relación con la protección radiológica del público destacó la implementación de los nuevos estándares internacionales de protección contra el radón en viviendas, poniendo el ejemplo concreto del caso de Suiza. Las consecuencias de Fukushima también tuvieron cabida en esta sesión mediante la presentación de nuevos modelos para la inferencia de la contaminación superficial de bienes de consumo no alimentarios, contenedores y transportes tras accidentes nucleares a largas distancias.

Protección radiológica del paciente

Un bloque muy prolífico fue el de la protección radiológica del paciente, al que se dedicaron cuatro sesiones, en las que se hizo una revisión de las nuevas políticas europeas, profundizando en temas como la exposición de individuos asintomáticos, información al paciente, registro y reporte de dosis y prevención y seguimiento de exposiciones accidentales y no intencionadas, entre otras, con objeto de enfrentarse a las nuevas técnicas en constante desarrollo y a la integración de estas premisas en los procedimientos habituales de trabajo en el medio sanitario.

Protección del personal médico

Cabe destacar bajo este epígrafe la presentación realizada por un miembro prominente de la SEPR, Eliseo Vañó, quién transmitió al público la necesidad de colaboración entre

- los expertos en física médica y los expertos en protección radiológica para tratar de minimizar la exposición de los trabajadores santuarios en determinadas prácticas clínicas, teniendo en cuenta el creciente uso de técnicas que utilizan radiaciones ionizantes en la actualidad. También destacó la presentación de Mercè Ginjaume con sus colaboradores de la Universidad Politécnica de Cataluña y el Hospital Clínico San Carlos, referida a la influencia de la posición del dosímetro en la determinación de la dosis al cristalino durante cardiología intervencionista.

Protección radiológica de los trabajadores

- En esta materia se presentó una gran cantidad de contenido científico tratando temas variados y novedosos, como la protección de los trabajadores involucrados en la gestión de residuos radiactivos en aceleradores de alta energía, en instalaciones no reguladas, con una interesante presentación de M^o Teresa Ortiz y Elena Alcaide, de Enresa, así como en el campo de la gestión de fuentes radiactivas en desuso o en veterinaria equina, entre otros.

Educación e interacción con la sociedad

- La cuestión básica de la educación y la comunicación en protección radiológica fue recogida en dos sesiones específicas en la materia, en las que se describieron las actividades llevadas a cabo por el Comité de Protección Radiológica y Sanidad Pública (CRPPH) de la NEA (Agencia de Energía Nuclear), que desde 1993 dirige sus esfuerzos a mejorar el compromiso de todos los stakeholders en materia de protección radiológica. Ahondando en la temática se presentaron ejemplos concretos de esta problemática, como las lecciones aprendidas en materia de interacción con la sociedad en el controvertido caso alemán de la mina de sal de ASSE utilizada como repositorio de residuos radiactivos en el pasado y a la espera de ser retirados, y el conflicto surgido entre los principios de protección radiológica y la presión social y política en el caso.

- De interés general fueron asimismo las disertaciones acerca del impacto del accidente de Fukushima en la opinión pública internacional, de la necesidad de revisión del sistema de educación y entrenamiento en los países de la Unión Europea a raíz de la publicación de las últimas BSS en relación con las nuevas cualificaciones de los profesionales de la PR, de los recientes desarrollos en la materia y nuevos programas educativos, así como del análisis de la Agencia Austríaca de Seguridad sanitaria y alimentaria sobre los costes y aproximaciones para involucrar al ciudadano en la protección contra el radón.

- Cabe destacar en este ámbito, la participación de Eduardo Gallego como responsable de formación en la ejecutiva de la IRPA, quien en el marco de uno de los principales



Presentación de Eduardo Gallego.

objetivos estratégicos de IRPA, que es la promoción de la excelencia en los profesionales de protección radiológica, incidió en la importancia de la educación y formación para el establecimiento de la cultura de protección radiológica, así como el plan de acción en educación y entrenamiento (E&T) desarrollado por IRPA para avanzar en la consecución de este objetivo.

Seguridad radiológica y física en emergencias

En materia de emergencias, hubo una gran cantidad de trabajos de muy diverso alcance. Como cabía esperar, el accidente de Fukushima tuvo un gran protagonismo, siendo la base de distintos estudios sobre la evaluación de las dosis recibidas por los trabajadores de la central accidentada y los posibles efectos sobre su salud, o la experiencia de la Comisión Europea en materia de intercambio de información radiológica internacional durante el accidente, entre otros, dejando espacio para debatir sobre la problemática de la transmisión de la información técnica relacionada con el accidente al público y a los medios de comunicación.

Asimismo, se realizaron varias ponencias acerca de la red de laboratorios de biodosimetría en emergencias, RENEb, en las que se expusieron los principales objetivos, métodos y técnicas utilizadas, explicando las líneas de trabajo presentes y futuras de esta red.

La preparación ante emergencias cobró protagonismo con la exposición de los resultados de distintos ejercicios interfronterizos realizados en los últimos años, como el ejercicio conjunto de los países nórdicos Refox desarrollado en Suecia o el ejercicio europeo INEX-4 sobre la gestión de consecuencias tras un accidente y la transición a la fase de recuperación de la emergencia.

Finalmente, en este ámbito se presentaron las líneas de trabajo de la plataforma Neris, establecida en 2010 para fomentar la cooperación entre los distintos agentes rela-

cionados con la gestión de emergencias nucleares y la recuperación postaccidental, de cara al mantenimiento de la competencia profesional, la promoción de enfoques más coherentes entre los distintos países, la identificación de aspectos pendientes y desarrollos necesarios para afrontar los nuevos retos planteados tras el accidente de Fukushima, todo ello en beneficio de los ciudadanos europeos. También se presentó el proyecto de investigación Prepare surgido en el marco de Neris, que tiene el objetivo de integrar todas las herramientas innovadoras y plataformas para la preparación frente a emergencias y respuesta postaccidental en Europa, y cuyo plazo de ejecución se extiende hasta 2016.

Premio a los jóvenes científicos y profesionales

En su política de apoyo a los jóvenes, IRPA ha establecido como norma que en todos sus congresos, internacionales o regionales, se organice una competición para seleccionar los mejores trabajos presentados por los menores de 35 años (o con menos de 10 años de experiencia en protección radiológica), que previamente hayan sido seleccionados por su asociación. Las asociaciones deben apoyar económicamente la participación de los jóvenes candidatos al premio. En el caso de la SEPR, se realizó un proceso de selección el pasado mes de enero, y como resultado del mismo se eligió como candidata a María Pinto Monedero, quedando finalista Natividad Sebastià Fabregat. María Pinto había recibido además uno de los premios a la mejor ponencia en el Congreso conjunto SEFM-SEPR de Cáceres.

La brillante presentación de María Pinto tuvo por título: *Real Time Dosimetry System in Catheterisation Laboratory: Utility as a Learning Tool in Radiation Protection*, y aunque lamentablemente no resultó premiada, queremos felicitarla por el excelente trabajo.

Como era de esperar, todos los trabajos fueron de un gran nivel, ya que representaban lo más selecto de "la cantera" de cada país, y el jurado, de nueve miembros, no lo tuvo nada fácil. De los doce candidatos, finalmente el vencedor fue Lukas Jägerhofer, de Austria, con el trabajo *Radiation Protection for the MedAustron facility*, y quedaron en segundo lugar, *ex aequo*, Fabien Panza, de Francia, con el trabajo *Mapping of Contaminated Sites Using Mobile Gamma Spectrometry: MAR-CASSIN System* y Lieven Verweken, de Bélgica, con el trabajo *Dynamic external dose assessment by LES modeling of radioactive pollutant dispersion over an open field*.

PRESENTACIONES PÓSTER

En la edición de 2014 del Congreso de IRPA, el tamaño de la sala reservada y el uso de paneles adecuados permitieron la exposición simultánea de los 244 pósteres, incluidos en un total de 12 áreas temáticas, seleccionados por el Comité Científico. El Comité del Premio para Pósteres, liderado por



El jurado y los candidatos al premio a los jóvenes científicos y profesionales.

Christophe Murith (presidente) y Thierry Schneider (vicepresidente) estaba formado por nueve miembros de países europeos diferentes, elegidos entre los componentes del Comité Científico. Tras una primera reunión en la que se establecieron definitivamente los procedimientos y criterios de evaluación, previamente discutidos en contactos anteriores al Congreso, todos los miembros del Comité del Premio visitaron, sólo o en compañía, cada uno de los pósteres.

Para la concesión del premio se dio prioridad a un conjunto de características, que incluían: la calidad y originalidad científico-técnica del trabajo, el interés general de la temática abordada y la calidad y claridad de la presentación. También se valoró la condición de joven científico del primer autor. El gran volumen y la excelente calidad general de los trabajos presentados fueron, al mismo tiempo, fuente de satisfacción y de inquietud para el Comité que, después de tres reuniones adicionales y nuevas visitas a los pósteres mejor valorados, llegó a la conclusión de que no era posible elegir un único ganador. Por eso se acordó repartir el premio entre tres pósteres, *ex aequo*, y aún se lamentó no poder ampliar el número de ganadores, dado el elevado nivel de muchos de los estudios presentados. Los trabajos premiados fueron, por orden alfabético de primer autor, los siguientes:

- – Butterweck, G. et al. *Utilising gaseous emissions of a proton accelerator facility as tracer for small-scale atmospheric dispersion.*
- – Ogino, H. et al. *Experience of Information Dissemination on Radiation Protection after the Fukushima Accident.*
- – Trompier, F. et al. *Overview of physical dosimetry methods for triage application integrated in the new European network RENEb.*
- El Congreso finalizó con una sesión de clausura en la que se entregaron los premios a los jóvenes profesionales y al mejor póster y se agradeció a todos los presentes su asistencia y su contribución, emplazándoles a continuar participando activamente dentro de cuatro años en el próximo Congreso IRPA Europeo, que previsiblemente tendrá lugar en La Haya en 2018.
- Una vez más, se puede afirmar que esta reunión cuatrienal fue un éxito en participación y calidad de contenido científico y técnico, donde se pudo disfrutar de un ambiente distendido de encuentro entre los distintos profesionales de la PR para compartir información, ideas e impresiones, así como de un marco específico para el encuentro de los jóvenes profesionales del sector.
-
-

Eduardo Gallego, Alejandro Úbeda y Sofía Luque.



La candidata de la SEPR, María Pinto Monedero, durante su presentación.



Estimación de dosis de exposición a radiaciones ionizantes mediante dosimetría biológica

Rafael Herranz Crespo, Mercedes Moreno Domene, María Jesús Prieto Rodríguez y Miguel Ángel Lozano Barriuso

Centro de Radiopatología. Laboratorio de Dosimetría Biológica. Servicio de Oncología Radioterápica Hospital General Universitario Gregorio Marañón

RESUMEN: El Laboratorio de Dosimetría Biológica, del Centro de Radiopatología del Hospital General Universitario Gregorio Marañón, es el único en España que dispone de acreditación internacional por la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 con alcance a la norma ISO 19238:2004 (Radiation protection – Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics), para la realización de estimaciones dosimétricas mediante la técnica de dicéntricos, dispone de amplia experiencia en su aplicación en los 110 casos reales analizados, y en diferentes estudios de poblaciones españolas. En este trabajo se describe la experiencia del laboratorio y los resultados obtenidos en los más de 20 años de funcionamiento en el Centro de Referencia de nivel II para la atención a irradiados y/o contaminados por radiaciones ionizantes.

ABSTRACT: The Biological Dosimetry Laboratory of the Radiopathology Centre, at Hospital General Universitario Gregorio Marañón, is the only national laboratory accredited by UNE-EN ISO/IEC 17025:2005, and scope to ISO 19238:2004 (Radiation protection – Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics), for dose assessment by the dicentric assay, has great experience with more than 100 real cases analyzed, and several population studies. This paper describes experience and results from more than 20 years of work under the Reference level II Centre for the attention of irradiated and/or contaminated people.

Palabras clave: aberraciones cromosómicas, biodosimetría, citogenética.
Keywords: Biodosimetry, Chromosomal Aberrations, Cytogenetics.

INTRODUCCIÓN

El Centro de Radiopatología (Servicio de Oncología Radioterápica) del Hospital General Universitario Gregorio Marañón es el único en España de nivel II, desde el año 1985 en que fue definido como tal por el Ministerio de Sanidad, para la atención de personas expuestas a radiaciones ionizantes, tanto por fuentes externas como por contaminación interna, debido a cualquier accidente radiológico o nuclear que ocurra en cualquier parte del territorio nacional. Su función, ante cualquier accidente radiológico y/o nuclear, consiste en la coordinación de todos los recursos hospitalarios que sean necesarios ya que, la única instalación específica del Centro, es el Laboratorio de Dosimetría Biológica, donde se realiza la estimación de la dosis de exposición individual, imprescindible en la toma de decisiones terapéuticas.

Gracias al apoyo y financiación del Consejo de Seguridad Nuclear, a través de convenios de colaboración y proyectos de investigación, en la actualidad cuenta con una reconocida experiencia nacional e internacional en el tratamiento de personas expuestas a radiaciones ionizantes por causas accidentales.

El Laboratorio de Dosimetría Biológica, desde 1989, posee experiencia y reconocimiento nacional e internacional;

pertenece a la red europea de laboratorios de dosimetría biológica RENEb (*Realising the European Network in Biodosimetry*) ha ido desarrollándose proporcionando cobertura al centro de radiopatología desde sus inicios, en la actualidad está capacitado para la realización de diversas técnicas de estimación de dosis de exposición a radiaciones ionizantes. Es el único en España que dispone de acreditación internacional por la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 con alcance a la norma ISO 19238:2004 (*Radiation protection – Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics*).

La diana biológica de las ionizaciones es el ADN, partiendo por tanto de lesiones en el DNA, las radiaciones ionizantes pueden producir múltiples efectos biológicos, aunque sólo algunos son cuantificables y se pueden utilizar para estimar la dosis de exposición, para su aplicabilidad como dosímetros biológicos hay que tener en cuenta otros factores como reproducibilidad, sensibilidad, coste, agresividad...

El método más utilizado para cuantificar la dosis de exposición a radiaciones ionizantes es el análisis de aberraciones cromosómicas [1,2], especialmente, el análisis de cromosomas dicéntricos observados en las metafases de linfocitos de sangre periférica cultivados *in vitro*. Las radiaciones ionizantes produ-

cen numerosos tipos de lesiones en el DNA que pueden ser reparados por sistemas enzimáticos específicos, dando lugar al restablecimiento, al menos aparentemente, de la morfología cromosómica, pero si esta lesión no se repara adecuadamente, puede dar lugar a intercambios cromosómicos visibles durante la metafase celular [3,4]. Por otro lado, como los linfocitos que circulan en la sangre periférica están en fase G_0 del ciclo celular, es decir en fase pre-síntesis de DNA, cuando estimulamos *in vitro* su entrada en ciclo mediante fitohemaglutinina (PHA) [5], las alteraciones cromosómicas que se observarán en la siguiente metafase serán todas de tipo cromosómico, como las translocaciones y dicéntricos [6].

TECNICAS DE DOSIMETRIA BIOLÓGICA

Existen numerosas técnicas de dosimetría biológica que se vienen utilizando desde mediados del siglo pasado, pero debido a la multitud de factores que influyen en la valoración final de la dosis de exposición, es necesario seguir investigando tanto en la permanente optimización de los dosímetros bien establecidos, como en el desarrollo de nuevos dosímetros que complementen a los existentes, o que permitan la estimación de dosis en determinados supuestos en los que los de uso habitual presentan limitaciones importantes o una elevada incertidumbre.

En la Figura 1 se resumen los principales métodos de dosimetría biológica [2, 7]

Metodología

Se describen las técnicas de análisis de dicéntricos y de translocaciones que son las que se utilizan en nuestro Centro, requieren una metodología compleja que consta, en am-

bos casos, de varios procesos: 1. Obtención de la muestra de sangre, 2. Cultivo de linfocitos, 3. Procesamiento del cultivo para la obtención de metafases, 4. Tinción, 5. Análisis al microscopio de las aberraciones cromosómicas, 6. Estimación de dosis de exposición.

Los tres primeros procesos son comunes en ambas técnicas, se necesita una muestra de sangre extraída inmediatamente después de que se produzca la exposición, teniendo en cuenta que lo idóneo es a las 24h, y aunque es posible realizar el análisis en las semanas posteriores, el retraso en la toma de muestras debe ser tenido en cuenta dada la letalidad de las células portadoras de dicéntricos [8]. Se establecen los cultivos celulares a 37°C según la técnica de Morhead & col [9] utilizando medio específico RPMI1640 complementado al 15% con suero fetal de ternera, fitohemaglutinina (PHA) para la estimulación de la división de los linfocitos, Bromodesoxiuridina (BrdU) para la monitorización de las segundas divisiones que se puedan producir en el cultivo, y finalmente colchicina para la inhibición de la formación del uso mitótico durante la mitosis, lo que provoca la parada de la célula en metafase.

A las 48 horas se sacrifican los cultivos sometiendo a las células a un choque hipotónico con cloruro potásico al 0,075M y a su deshidratación y fijación en portaobjetos mediante un triple tratamiento con metanol:ácido acético (3:1).

La muestra así tratada, puede conservarse congelada en tubos cerrados o extendiéndola en portaobjetos hasta su utilización para el cálculo de la dosis por cualquiera de las técnicas.

Técnica de análisis de dicéntricos

Se utilizan dos métodos de tinción: tinción sólida con giemsa al 2%, y la técnica de fluorescencia plus giemsa (FPG)

	Dicéntricos	Micronúcleos	FISH (Fluorescence in situ hybridization)	PCC (Premature chromosome condensation)
Aberraciones cromosómicas analizadas	 Dicéntricos	 Micronúcleos en células binucleadas	 Translocaciones	En combinación con otras técnicas permite identificar roturas translocaciones y dicéntricos
Tipo de Exposición	Aguda, reciente	Aguda, reciente	Aguda y crónica reciente o antigua	Aguda y reciente o antigua
Sensibilidad Gy	0,1	0,3	0,25	1
Rango de dosis Gy	0,1-5	0,3-5	0,25-3	1-20
No homogéneas	Si	No	Si	-
Obtención de la muestra	>24h - semanas	>24h - semanas	> 24h - retrospectivo	>24h - días
Estandarización	ISO 19238 publicada	ISO 17099 pendiente publicar	ISO en planificación	-
Triage	Si	Posible	-	Si

Figura 1: Comparación entre diferentes biodosímetros.

descrita por Perry y Wolf en 1974 [10], en este caso es necesario incubar los portaobjetos a 56°C durante dos días previamente, esta tinción permite diferenciar las metafases de primera y segunda división celular debido a la incorporación de la BrdU al DNA cuando se replica durante la fase de síntesis celular previa a la mitosis, como las metafases de segunda división han pasado por dos fases de síntesis, las dos cromátidas de cada cromosoma han incorporado la BrdU, una de ellas en ambas cadenas de DNA.

Para estimar la dosis, es necesario analizar un mínimo de 500 metafases completas al microscopio, el análisis se debe hacer en metafases de primera división, o bien en metafases con tinción sólida cuando se observa que el porcentaje de segundas metafases es inferior al 5%.

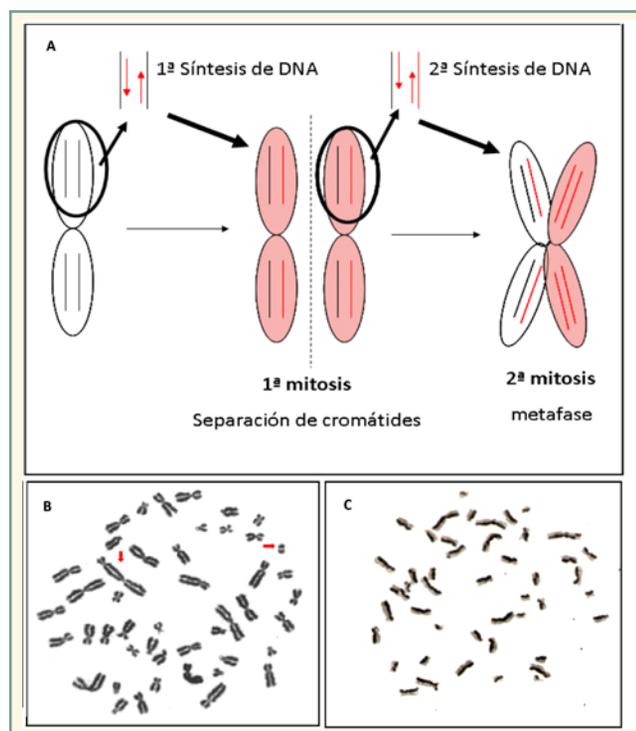


Figura 2: Tinción FPG. A: Esquema de la incorporación de BrdU al DNA durante las fases de síntesis previas a las mitosis. B: Fotografía al microscopio (x1000), primera metafase en cultivo con BrdU, se observan 44 cromosomas normales, un dicéntrico y su fragmento acéntrico (flechas). C: Fotografía al microscopio (x1000), segunda metafase, tras cultivo con BrdU y tinción FPG en la que se observan las cromátidas de los cromosomas teñidos de forma diferente.

Técnica de análisis de translocaciones

Se utiliza la técnica de Hibridación in situ con fluorescencia (FISH) que permite diferenciar los cromosomas con translocaciones de forma rápida y sencilla. Cuando la muestra se ha obtenido pasado más de un mes del suceso de exposición, como los dicéntricos son inestables, su frecuencia disminuye, aumentando la incertidumbre de la dosis estimada,

en esta situación se recomienda el uso de la técnica FISH para análisis de translocaciones estables. Se basa en la utilización de sondas marcadas con un fluorocromo, estas sondas consisten en fragmentos de DNA con la secuencia específica de la zona cromosómica que se desea marcar, unidas a un fluorocromo que permite la visualización de esa zona en un color determinado. La hibridación consiste en el emparejamiento específico de estas sondas con la zona del DNA cromosómico correspondiente, esto es posible gracias a la capacidad del DNA de separar la doble hélice al aumentar la temperatura, y volverla a establecer al bajar la temperatura.

Esta técnica, muy utilizada en citogenética clínica, permite identificar zonas cromosómicas específicas. Para su aplicación en dosimetría biológica se utiliza el *painting cromosómico* en el que se utilizan sondas que hibridan con el DNA del cromosoma completo seleccionado, permitiendo identificar las translocaciones que se produzcan entre el cromosoma marcado y los demás, para la estimación de la dosis es necesario, por tanto, extrapolar la frecuencia de translocaciones

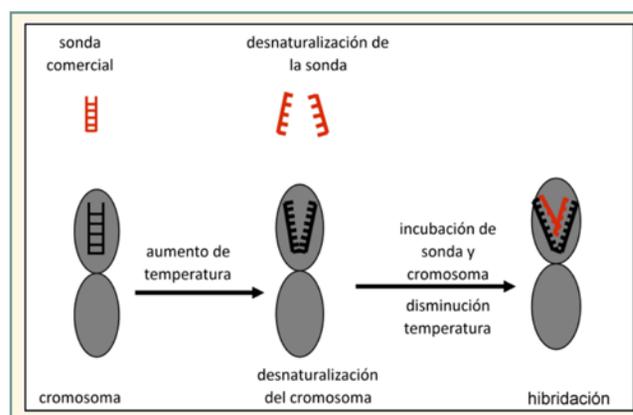


Figura 3: Esquema del procedimiento de hibridación del DNA cromosómico con sondas de DNA.

observada con ese cromosoma, al genoma completo, se realiza utilizando la fórmula descrita por Lucas y col [11].

En nuestro Centro se utilizan sondas comerciales de DNA que hibridan específicamente con los cromosomas 1 y 2, marcadas con rodamina (color rojo) y una sonda pancentromérica marcada con el fluorocromo FITC (color verde) que hibrida con el DNA centromérico de todos los cromosomas, se utiliza DAPI para marcar el resto del DNA. Utilizando la fórmula de Lucas y col [10] se calcula la eficiencia (28 %) en la detección de translocaciones, por ello se analiza un mínimo de 2000 metafases.

Estimación de dosis

Para la realización de estimaciones de dosis de exposición utilizando cualquiera de estos procedimientos biológicos,



es necesario tener en cuenta diversos factores, entre ellos los más importantes son la frecuencia basal de aberraciones cromosómicas, y las curvas de calibración dosis respuesta.

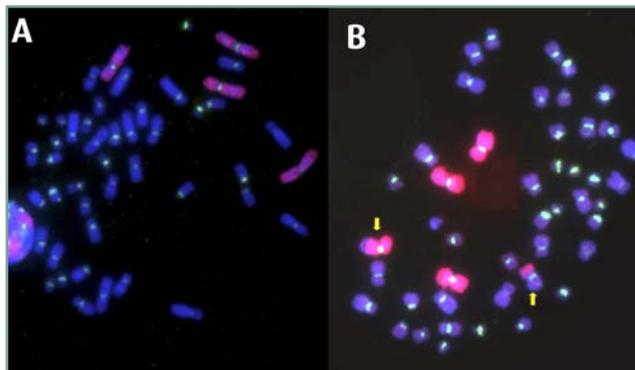


Figura 4: Imagen de metafase obtenida mediante FISH con sondas pancentromérica (verde), painting (rojo) del cromosoma 1 y painting del cromosoma 2. A: metafase normal B: metafase con una translocación recíproca (flechas). Microscopio de fluorescencia con triple filtro (x1000).

Frecuencia basal de aberraciones cromosómicas

Los dicéntricos y las translocaciones no son aberraciones cromosómicas específicamente inducidas por las radiaciones ionizantes, se producen como resultado de la reparación errónea de roturas producidas en la doble hélice del ADN, que también sucede de forma espontánea a una frecuencia muy baja. Como no se suele disponer del valor individual de la frecuencia basal previo a una exposición, para la estimación de dosis individual, se utiliza un valor general obtenido a partir de diversos estudios de población [12].

Con la técnica de análisis de dicéntricos, nuestro laboratorio dispone de valores de frecuencias en dos grupos de población de nuestra área de influencia. El primero se ha obtenido a partir de un grupo de 72 personas sanas nacidas o residentes por más de 30 años en el área geográfica de la Comunidad Autónoma de Madrid. Se agruparon en seis intervalos de edad de 18 a 65 años, y el mismo número de mujeres/hombres, fumadores/no fumadores por grupo de edad. Se analizaron 500 metafases por persona, en total de 36000 metafases. Se obtuvo una frecuencia de dicéntricos de 0,7 %, en consonancia con los estudios publicados.

En el segundo estudio se incluyeron 64 personas laboralmente expuestas a bajas dosis de radiaciones ionizantes trabajadores del Departamento de Radiodiagnóstico del HGUGM, se agruparon por intervalos de tiempo de trabajo continuado en este departamento en 4 grupos: 1) menos de 5 años, 2) 5-10 años 3) 11-15 años, 4) mas de 15 años. Se dispone del historial dosimétrico de todos ellos, sin que exista ningún suceso de sobreexposición o superación de límites de dosis. Se analizaron 500 metafases por persona, 32.000 me-

tafases. La frecuencia de dicéntricos obtenida es de 0,8 %.

Con la técnica de análisis de translocaciones mediante FISH, como se trata de aberraciones cromosómicas estables, estas se acumularán a lo largo de la vida, se ha observado una elevada frecuencia basal debido a la edad, para la estimación de dosis individual se utilizan las frecuencias publicadas para diferentes intervalos de edad [13].

En nuestro centro se ha realizado un estudio de frecuencia de translocaciones mediante FISH en un grupo de 80 trabajadores de una línea aérea española, con un total de 136.987 metafases. El estudio consiste en la comparación de las translocaciones observadas en miembros de tripulaciones aéreas con las observadas en personal de tierra de la misma compañía, ambos grupos se ajustaban en cuanto a edad, sexo, y tabaquismo. El objetivo del estudio era determinar un posible aumento de la frecuencia de translocaciones debido a la exposición a radiación solar y cósmica, por ello las personas seleccionadas pertenecían a tripulaciones de vuelos internacionales por encima de 9000 metros que cumplieran los siguientes requisitos: en servicio activo, la mitad durante al menos los últimos cinco años, y la mitad durante al menos los últimos diez años, preferentemente en A340. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos.

Curvas de calibración dosis respuesta

Las aberraciones cromosómicas observadas en los linfocitos en metafase, proporciona el valor de la dosis absorbida a través de curvas de calibración dosis respuesta, elaboradas en el laboratorio mediante la exposición de muestras de sangre a diferentes dosis. La efectividad biológica de las radiaciones depende del tipo de radiación, por ello es necesario disponer de curvas de calibración para diferentes energías definidas mediante su transferencia lineal de energía (TLE, en inglés *Linear Energy Transfer*, LET). Se asume que los neutrones son de alta TLE y que las radiaciones gamma y x son de baja TLE [14, 15, 16].

Para radiaciones de baja TLE, la curva de dosis respuesta se ajusta a una ecuación lineal cuadrática⁽¹⁾ mientras que para las de alta TLE lo hace a una ecuación lineal⁽²⁾.

$$^{(1)}Y = A + \alpha D + \beta D^2$$

$$^{(2)}Y = A + \alpha D$$

Donde, Y es la frecuencia de aberraciones cromosómicas (dicéntricos o translocaciones), A es la frecuencia basal, D es la dosis y α y β son los coeficientes, lineal y lineal-cuadrático respectivamente, de la curva.

Nuestro laboratorio dispone de diversas curvas de calibración dosis respuesta tanto para dicéntricos, como para translocaciones analizadas mediante la técnica de FISH descrita previamente:

1. Curva de calibración dosis-respuesta de neutrones para dicéntricos: La irradiación de las muestras se realizó en el Oak Ridge National Laboratory (Tennessee, USA) con neutrones de fisión procedentes de una fuente de californio 252, con una tasa de dosis de 0,002795 Gy/h a un metro de distancia y cinco dosis en un rango de 0 a 0,2Gy. El Cf 252 es un nucleido que por fisión espontánea produce un espectro de neutrones con una energía media de 2,35Mev (Figura 5).

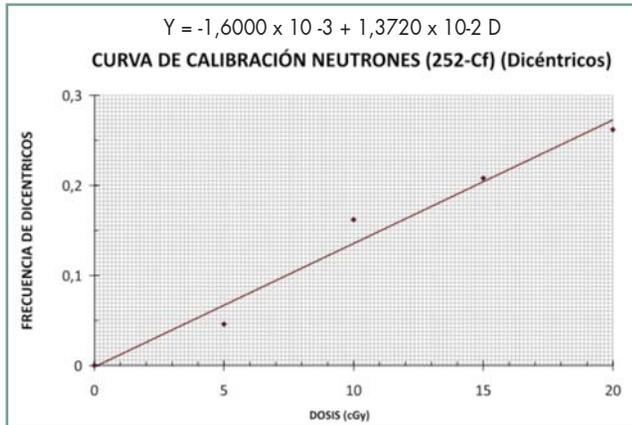


Figura 5: Representación gráfica de la curva de calibración de dicéntricos obtenida con neutrones.

2. Curva de calibración dosis-respuesta de rayos X para dicéntricos: La irradiación de las muestras se realizó en el Oak Ridge National Laboratory (Tennessee, USA) con un generador de rayos X de 300 Kvp, a una tasa de dosis de 100 R/min y con 7 puntos de dosis en un rango de 0 a 4 Gy, el análisis citogenético de dicéntricos se realizó en nuestro laboratorio (Figura 6).

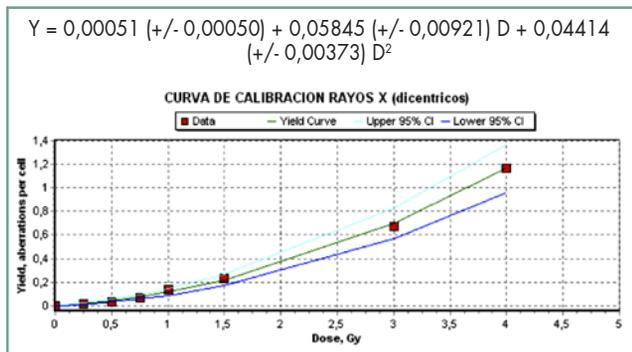


Figura 6: Representación Gráfica de la curva de calibración de dicéntricos obtenida con rayos X.

3. Curva de calibración dosis-respuesta de rayos gamma para dicéntricos: La irradiación de las muestras se realizó en el Servicio de Oncología Radioterápica del HGUGM en la unidad de teleterapia El Dorado 78 que proporciona

radiación gamma de una fuente de Co60, la distancia de la fuente a la muestra fue de 98,9 cm, Se utilizó una tasa de dosis de 23,85 cGy para irradiar a ocho puntos de dosis en un rango entre 0 y 400Gy, siendo el tiempo total de exposición siempre inferior a 15 min (Figura 7).

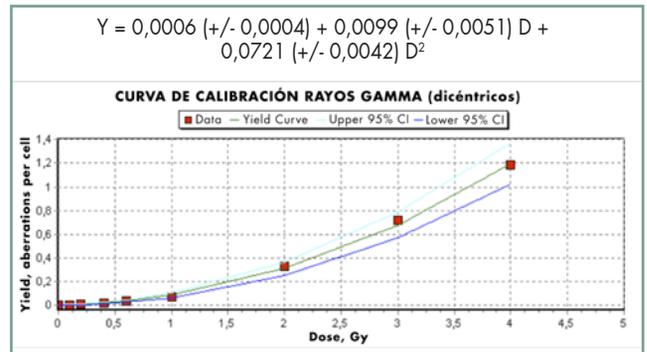


Figura 7: Representación Gráfica de la curva de calibración de dicéntricos obtenida con rayos gamma.

4. Curvas de calibración dosis respuesta de rayos X para translocaciones (FISH): La exposición de las muestras de sangre fue realizada con un equipo de radioterapia de Philips MULLER TU1 en el Hospital La Paz de Madrid, en las siguientes condiciones: 200 Kv, 19 mA, Energía media: 100 KeV, Aplicador: 15 x 20 cm, DFS: 50 cm, rendimiento: 37.06 cGy/min. Se expusieron a ocho dosis puntuales entre 0 y 4Gy (Figura 8).

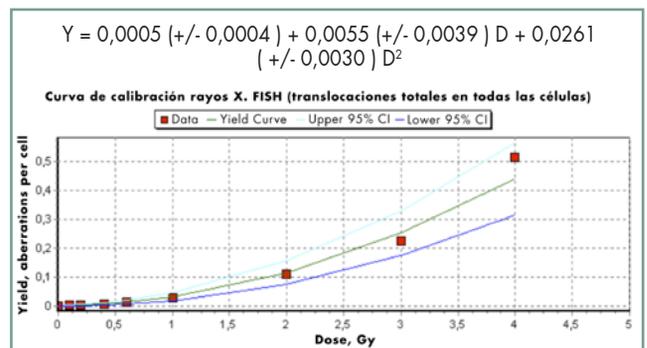


Figura 8: Representación Gráfica de la curva de calibración de translocaciones para rayos X.

En la figura 7 se representa la curva de calibración obtenida para todas las translocaciones observadas teniendo en cuenta todas las células que se analizan, aunque, por ejemplo, para análisis retrospectivos, se utilizaría una curva de calibración elaborada con las translocaciones estables en células estables.

• Curvas de calibración dosis respuesta de rayos gamma para translocaciones (FISH): La exposición de las muestras de sangre fue realizada en el equipo de telecobaltoterapia: ALCYON II (Servicio de Oncología Radioterapia del



HGUGM), en las siguientes condiciones: Campo en colimador: 25x25 cm, tasa de dosis: 0.677 Gy/min (no se han superado seis minutos de exposición en el punto de dosis más alto), y se expusieron a ocho dosis puntuales entre 0-4 Gy (Figura 9).

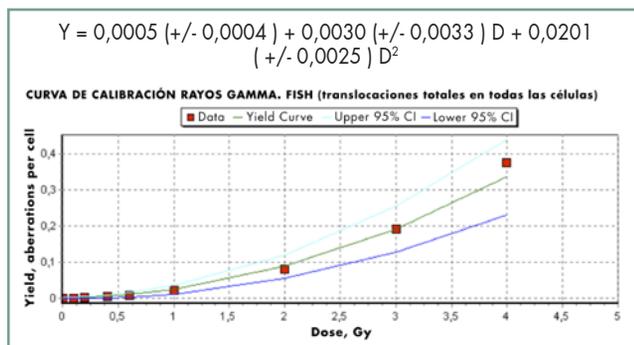


Figura 9: Representación Gráfica de la curva de calibración de translocaciones para rayos gamma.

En la Figura 8 se representa la curva obtenida teniendo en cuenta todas las translocaciones observadas en todas las células.

Para la elaboración de todas las curvas de calibración descritas, las condiciones de la irradiación de las muestras de sangre, así como su manipulación antes durante y después de la exposición, se han seguido los protocolos y recomendaciones descritas en las publicaciones de la OIEA [2 y 3], en el caso de la técnica de dicéntricos, estos procedimientos han sido acreditados además por la norma internacional ISO17025:2004 y la ISO 19238:2005.

CASOS DE SOBREEXPOSICIÓN. EXPERIENCIA DEL LABORATORIO

Se han analizado 110 personas que fueron remitidos a nuestro Centro por sospecha de sobreexposición accidental a radiaciones ionizantes, procedentes de diferentes sectores laborales, como instituciones sanitarias y de investigación, empresas de radiología industrial y centrales nucleares. También se incluyen personas agrupadas bajo el término público general, las que no estando laboralmente relacionadas con radiaciones ionizantes, se sospechó que habrían podido estar afectadas en algún suceso de sobreexposición de forma accidental. El resultado se considera positivo cuando se supera el valor de la frecuencia basal esperado para un individuo sano no expuesto a radiaciones ionizantes, que es de 1 dicéntrico por cada 1000 células analizadas

De entre los 11 positivos que detectamos, solo a uno de ellos se le estimó una dosis superior a 1 Gy, se trataba de un varón de 35 años, que estuvo expuesto accidentalmente durante 6 horas a una distancia variable de una fuente radiactiva de Ir-192 de 70 Ci, no se disponía de mediadas físicas,

y por dosimetría biológica realizada 19 días después del accidente, se estimó una dosis de 1,3 Gy.

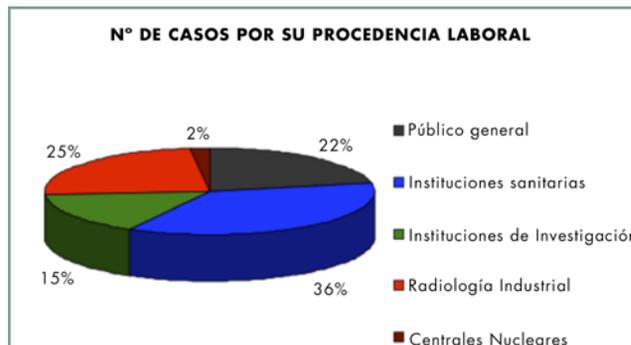


Figura 10: Distribución de las estimaciones de dosis realizadas según la procedencia de las personas.

Aunque la mayoría de las personas analizadas proceden de instituciones sanitarias, el porcentaje de positivos mayor corresponde a trabajadores de radiología industrial, (Figura 10) además a este grupo pertenece el único caso al que se le ha estimado una dosis por encima de 1 Gy.

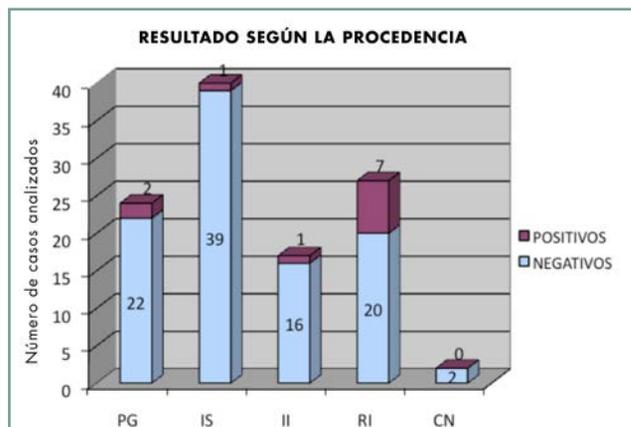


Figura 11: Distribución de los resultados según la procedencia. PG: público general; IS: instituciones sanitarias; II: instituciones de investigación; RI: radiología industrial; CN: centrales nucleares.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se describe los requisitos técnicos básicos para el funcionamiento de un laboratorio de dosimetría biológica. El análisis de los dicéntricos observados en los linfocitos obtenidos tras su estimulación *in vitro* a partir del cultivo de una muestra de sangre periférica, constituye una buena aproximación a la dosis absorbida tras exposición corporal uniforme y aguda, cuando se trata de exposiciones corporales no homogéneas, se observa una sobre dispersión de la distribución de los dicéntricos en las células y es necesario realizar los ajustes matemáticos correspondientes que permitan mejores aproximaciones de dosis. Cuando la exposición a radiaciones ionizantes se ha producido de forma crónica o

fraccionada, o cuando hay retraso en la toma de la muestra de sangre, es preferible realizar el análisis de aberraciones cromosómicas estables como las translocaciones.

Es necesario disponer de curvas de calibración y realizar estudios de frecuencias de aberraciones cromosómicas en diferentes poblaciones, ya que aunque hay muchos datos publicados, en ellos se reflejan diferencias que pueden ser debidas a las variaciones técnicas de cada laboratorio. En este sentido, se está avanzando mucho con la creación de redes de laboratorios de dosimetría biológica (BioDoseNet, RENEb) que permiten analizar las causas de estas discrepancias y establecer protocolos comunes que permitan la colaboración entre los diferentes laboratorios, a partir de los datos obtenidos en los ejercicios de intercomparación que en estas redes se organizan.

Los valores de las curvas de calibración, han sido validadas con los casos reales de sobre exposición analizados, y más recientemente con estudios de intercomparaciones con otros Centros nacionales e internacionales.

En resumen, la estimación de dosis por procedimientos biológicos requiere de un gran esfuerzo de estandarización previo y de una constante actualización de los procedimientos. Es importante el establecimiento de mecanismos de cooperación entre los diferentes laboratorios tanto a nivel nacional como internacional, especialmente ante la posibilidad de sucesos que puedan afectar a un elevado número de personas que superaría la capacidad de cualquier Institución, en este sentido existen numerosos proyectos de cooperación en marcha, en los que participa nuestro Centro, promovidos por diferentes organizaciones internacionales como la OMS.

Nuestro Laboratorio tiene una gran experiencia en la estimación de dosis de exposición a radiaciones ionizantes por métodos biológicos, especialmente en el uso de dicéntricos en linfocitos de sangre periférica, técnica en la que es el único laboratorio nacional acreditado por ENAC según la norma ISO 17025-2005.

También se dispone de experiencia en el análisis de translocaciones mediante la técnica FISH, para estimaciones de dosis en exposiciones fraccionadas y/o crónicas, o cuando existe exceso de retraso en la obtención de la muestra de sangre.

Universalmente se reconocen las técnicas de dosimetría biológica como un complemento necesario a la estimación de dosis mediante métodos de dosimetría física en caso de certeza o sospecha de sobreexposición a radiaciones ionizantes, teniendo en cuenta los límites de detección descritos.

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos descritos en este artículo han sido financiados en gran parte por el I+D del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), a través de la Fundación de Investigación Biomédica Gregorio Marañón. También queremos agradecer al CSN su apoyo y soporte técnico.

Nuestro más sincero agradecimiento los Servicios de Oncología Radioterápica, Dosimetría y Radioprotección, y de Medicina Preventiva y Gestión de Calidad del HGUGM, por su permanente colaboración en todos los aspectos, tanto técnicos como científicos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] International Atomic Energy Agency. *Biological Dosimetry: Chromosomal aberration Analysis for dose assessment*. Technical Reports Series. No 260. 1986 IAEA, Viena.
- [2] International Atomic Energy Agency. *Cytogenetic Analysis for radiation dose assessment, a manual*. Technical Reports Series. No 405, 2001 IAEA, Viena.
- [3] International Atomic Energy Agency. *Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies*. EPR Biodosimetry. IAEA 2011.
- [4] Natarajan AT, Obe G. *Molecular mechanisms involved in the production of chromosome aberrations. 1. Utilization of neurospora endonuclease for the study of aberrations production in G2 stage of the cell cycle*. *Mutat Res* 1978; 52: 137-149.
- [5] Darroudi F, Natarajan AT, Van der Schans GP, Van Loon AAWM. *Biochemical and cytogenetic characterization of Chinese hamster ovary x-ray-sensitive mutant cells xrs*. *Mutat Res* 1989; 213:190-197.
- [6] Nowell PC. *Phytohemagglutinin- an inhibitor of mitosis in cultures of normal human leukocytes*. *Cancer Res* 1960; 20: 462-466.
- [7] Evans HJ. *Chromosome aberrations induced by ionizing radiations*. *Int Rev Cytol* 1962;13:221-321.
- [8] Rojas-Palma C, Liland A, Jerstad A. N, Etherington G, Perez MR, Rahola T, Smith K. *TMT handbook: Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionizing radiation following a malevolent act*. 2009
- [9] Brewen LG, Preston RJ, Littlefield LG. *Radiation induced human chromosome aberration yields following an accidental whole-body exposure to 60-Co gamma-rays*. *Radiat Res* 1972; 49:647-656.
- [10] Moorhead PS, Nowell PC, Mellmann WJ, Battips DM, Hungerford DA. *Chromosome preparations of leukocytes cultured from human peripheral blood*. *Exp Cell Res* 1960; 20:613-616.
- [11] Perry P, Wolf S. *New giemsa method for the differential staining of sister chromatids*. *Nature* 1974; 251:156-158.
- [12] Lucas JN, Deng W. *Views on issues in radiation biodosimetry based on chromosome traslocations measured by FISH*. *RadiatProtDosim* 2000; 88:77-86.
- [13] Lloyd DC, Purrott RJ, Reeder EJ. *The incidence of unstable chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from unirradiated and occupationally exposed people*. *Mutat Res* 1980; 72:523-532.
- [14] Whitehouse CA, Edwards AA, Tawn EJ, Stephan G, Oestreicher U, Moquet JE, Lloyd DC, Roy L, Voisin P, Lindholm C, Barquinero J, Barrios L, Caballin MR, Darroudi F, Fomina J. *Traslocations yields in peripheral blood lymphocytes from control populations*. *Int J Radiat-Biol* 2005; 81:139-145.
- [15] Hall EJ. *Radiobiology for the radiologist*, 5th edn. Lippincott, Williams and Wilkins 2000; Philadelphia. USA.
- [16] Edwards AA, Lloyd DC, Purrott RJ. *Dicentric chromosome aberration yield in human lymphocytes and radiation quality. A resume including recent results using alpha particles, microdosimetry*. *Proc 7th SympOxford* 1980; Harwood Academic Publishers 1980; Vol.2:1263-1273. LondonUK.
- [17] Lloyd DC, Edwards AA. *Chromosome aberrations in human lymphocytes: effect of radiation quality, dose and dose-rate, Radiation-induced chromosome damage in man*. Eds Ishihara and Sasaki 1983; 23-49. New York. USA.

Estudio de la radiosensibilidad y estado antioxidante-oxidante en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes en el ámbito hospitalario

Natividad Sebastià¹, Regina Rodrigo^{2,3}, David Hervás⁴, Lorena Olivares-González², Óscar Alonso⁵, Laura Martí⁵, Esther Jambrina⁵, Ana Sarrías⁵, José Pérez-Calatayud⁶, Teresa García^f, Pilar Gras⁵, Juan Ignacio Villaescusa^{5,7}, José Miguel Soriano^{3,8}, Zacarías León⁹, Alegría Montoro^{3,4,7}

¹Servicio de Protección Radiológica. Instituto de Investigación Sanitaria La Fe (IISLAFE)* / ²Grupo Biomedicina Molecular, Celular y Genómica, IISLAFE* / ³Unidad Mixta de Investigación en Endocrinología, Nutrición y Dietética Clínica. IISLAFE* / ⁴Unidad de Bioestadística del IISLAFE* / ⁵Servicio de Protección Radiológica* / ⁶Sección de Radiofísica del Servicio de Radioterapia* / ⁷Grupo de Investigación Biomédica en Imagen GIBI230. IISLAFE* / ⁸Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad de Valencia / ⁹Unidad analítica del IISLAFE*

*Hospital Universitario y Politécnico La Fe.

RESUMEN: La prevención y protección de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes es un objetivo de gran relevancia desde el punto de vista de seguridad ocupacional y salud. Este estudio consiste en la puesta a punto de una técnica de evaluación de la radiosensibilidad individual de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes en el ámbito hospitalario mediante el biomarcador citogenético conocido como Test G2. Además, utilizando diversos biomarcadores de estrés oxidativo y capacidad antioxidante, evaluamos el estado antioxidante-oxidante en estos trabajadores. Ambos biomarcadores podrían establecerse como una herramienta más dentro de la vigilancia médica de los trabajadores expuestos a radiación ionizante.

ABSTRACT: Prevention and protection of workers exposed to ionizing radiation is an objective of particular importance from the occupational health and safety point of view. This study establishes a technique for the evaluation of the individual radiosensitivity of workers exposed to ionizing radiation in the Hospital environment using the cytogenetic biomarker known as the G2 -Test. In addition, using various oxidative stress biomarkers and antioxidant capacity, we evaluate the antioxidant-oxidant state of these workers. Both biomarkers could be established as additional tools in the medical control of workers exposed to ionizing radiation.

Palabras clave: radiosensibilidad, trabajadores expuestos, capacidad antioxidante-oxidante.
Keywords: radiosensitivity, workers occupationally exposed, antioxidant-oxidant status.

INTRODUCCIÓN

La respuesta de un sistema biológico frente a la radiación se conoce con el concepto de radiosensibilidad.

La severidad y frecuencia de los efectos que se producen tras la exposición a la radiación ionizante en los seres humanos varían dependiendo de la radiosensibilidad de cada individuo. Estas variaciones que pueden deberse a una componente genética, a alteraciones en la respuesta inmunitaria o al estado de la microvasculatura.

Desde un punto de vista de la salud y la seguridad ocupacional existe un sector laboral, los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, en el que la identificación de la radiosensibilidad individual sería relevante ya que la radiosensibilidad celular está relacionada con la predisposición al cáncer.

De entre las opciones que existen actualmente para la evaluación de la radiosensibilidad individual, el análisis del daño cromosómico como biomarcador de exposición a las radiaciones ionizantes en la fase G2 del ciclo celular (fase más radiosensible) es considerado como una técnica de evaluación adecuada y se puede llevar a cabo mediante el ensayo conocido como "Ensayo G2 o Test G2".

La adecuación del Ensayo o Test G2 (Figura 1) se basa en que la variación en el número de roturas de cromátida inducida por la radiación ionizante se correlaciona con la variación de la radiosensibilidad individual y la predisposición al cáncer en varios estudios [1-3]. Además, el Test G2, con el que se obtiene el parámetro de radiosensibilidad (Pantelias y col [4]), ha sido validado con pacientes que muestran

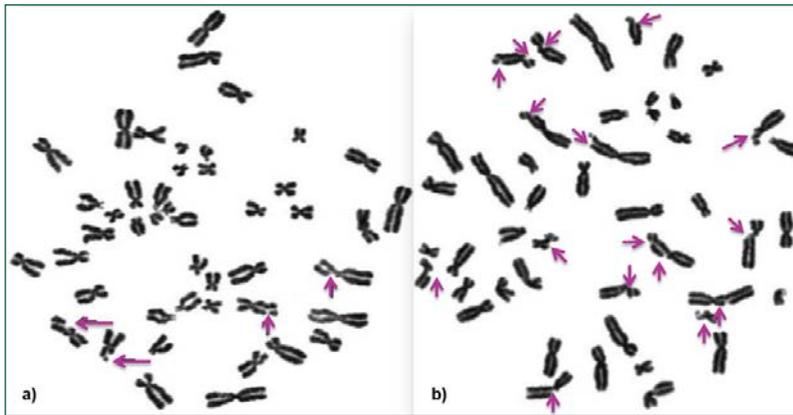


Figura 1. Metafasas de linfocitos de sangre periférica irradiados a 1 Gy de rayos gamma a) G2 convencional b) G2 tras la eliminación del punto de control del ciclo celular (Las flechas señalan roturas o ctb -chromatid type breaks-).

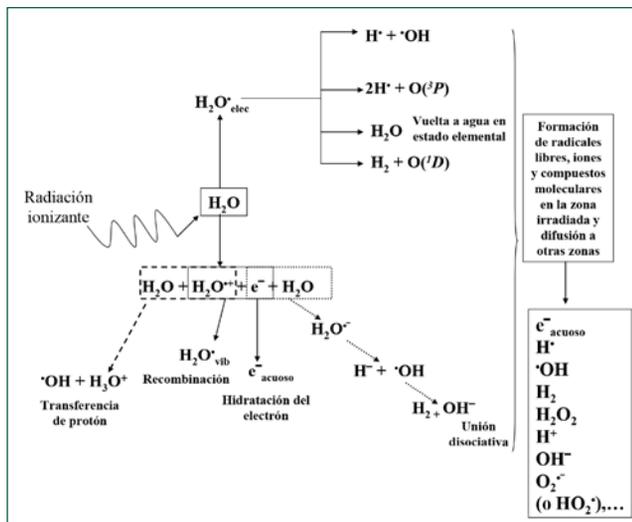


Figura 2. Reacciones más frecuentes de la radiólisis del agua.

una radiosensibilidad reconocida, como son los casos de pacientes con el síndrome de Ataxia Telangiectasia [5,6]. En este tipo de casos, este parámetro de radiosensibilidad refleja diferencias intraindividuales en polimorfismos o en mutaciones específicas en genes que controlan la capacidad de reparación del daño en el ADN y el punto de control en el ciclo celular en la fase G2.

Además de los cambios a nivel genético, existen otros parámetros que pueden verse alterados tras la exposición a la radiación ionizante, como es el estado antioxidante-oxidante, debido a un aumento del estrés oxidativo por medio del aumento de radicales libres radioinducidos. La radiación ionizante tiene dos tipos de efectos en las células, el directo y el indirecto. Es el efecto indirecto el responsable de aumentar el estrés oxidativo debido a un incremento de los radicales libres a partir de las especies reactivas

de oxígeno (ROS) o de nitrógeno (RNS). Los ROS incluyen radicales del oxígeno como el superóxido ($O_2^{\cdot-}$), o el radical hidroxilo ($\cdot OH$). Los RNS incluyen los radicales libres óxido nítrico (NO^{\cdot}), dióxido de nitrógeno (NO_2^{\cdot}) y el potente oxidante peroxinitrito ($ONOO^{\cdot}$) (Figura 2).

Todas las formas de vida mantienen un estado estable de ROS y RNS, determinado por el balance entre su producción y su eliminación a través de la maquinaria antioxidante endógena constituida por enzimas antioxidantes y antioxidantes no enzimáticos o de antioxidantes de fuentes externas como los alimentos o complementos nutricionales. El glutatión (GSH) es el principal antioxidante no enzimático intracelular que modula los niveles fisiológicos de ROS y participa en la respuesta celular al estrés oxidativo. El cociente entre el glutatión reducido y el oxidado (GSH/GSSG) es un indicador del estado redox intracelular e incluso de muerte celular [7].

Para el organismo, un aumento de los niveles de estrés oxidativo debido a la exposición a la radiación ionizante resulta perjudicial, debido a que los radicales libres se consideran eventos iniciadores y perpetuadores de la acción de la radiación ionizante y causan apoptosis, mutaciones e inestabilidad genética. Además, estos procesos oxidativos tienen un papel importante en la patogénesis de varias enfermedades como el cáncer, diabetes mellitus, enfermedad cardiovascular, aterosclerosis, enfermedades neurodegenerativas y en el proceso de envejecimiento. La presencia de ciertos mediadores de la respuesta inflamatoria como citoquinas o quimioquinas de manera sostenida puede incrementar el riesgo de desarrollar este tipo de patologías.

Cuando se estudia a los trabajadores expuestos a dosis bajas de radiación ionizante de forma continua, se cree que podrían producirse dos efectos distintos, la afectación de las biomoléculas, que produciría consecuencias negativas, o una respuesta adaptativa, que resultaría en una susceptibilidad menor de las células a la radiación ionizante. Debido a esta controversia, es importante el estudio de la respuesta biológica que acontece en trabajadores expuestos a dosis bajas de radiación ionizante con el fin de comprender mejor los riesgos laborales a los que se exponen.

Los objetivos de este trabajo son la puesta a punto del Test G2 como biomarcador citogenético para evaluar la radiosensibilidad individual, y la evaluación del estado antioxidante-oxidante mediante diversos biomarcadores de estrés oxidativo y capacidad antioxidante, de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.



MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de personal

El personal seleccionado estaba clasificado como Categoría A y la distribución entre los servicios seleccionados fue, servicio de Hemodinámica e Intervencionismo vascular (grupo 100), servicio de Oncología Radioterápica (grupo 200), servicio de Medicina Nuclear (grupo 300), otros (Quirófano, dosis elevadas, patologías inespecíficas,...) (grupo 400) y grupo control (grupo 500).

Los grupos presentaban sujetos de ambos géneros cuyo rango de edades se encontraba dentro de la edad laboral. Los individuos firmaron el Consentimiento Informado, con dictamen favorable del Comité Ético del Hospital Universitario y Politécnico la Fe (CEIC).

Estudio clínico/encuesta clínica

Se realizó una encuesta clínica en la que se detallaban determinados parámetros que pueden influir en la evaluación del estado antioxidante-oxidante como niveles de colesterol [9-11], hipertensión [12], hábito tabáquico [13], consumo de suplementos alimenticios [14], etc.

Estudio nutricional

Se realizó una entrevista dietética (dieta: fuente exógena de moléculas antioxidantes) basada en un método retrospectivo denominado Recordatorio de 24 h anotando los alimentos y bebidas diarias, para estimar a partir de estos valores el poder antioxidante consumido diariamente. La capacidad antioxidante total (CAT) de lo ingerido se calculó de acuerdo a esos alimentos y a los valores de capacidad antioxidante lipohidrofílica desarrollados por Wu et al (2005) [16] disponibles según la técnica ORAC (oxygen radical absorbance capacity) y expresados en micromoles equivalente de Trolox por gramo.

Dosimetría física

Puesto que el grupo de estudio son trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes se determinó la dosis absorbida durante los 12 meses anteriores a la extracción de sangre. Se consultó el historial dosimétrico de cada sujeto recogido por el Centro Nacional de Dosimetría (CND) y Lainsa, centros autorizados y auditados regularmente por el CSN, a partir de las lecturas mensuales de los distintos dosímetros (solapa, anillo o muñeca).

Estudio de radiosensibilidad

Equipos de irradiación

Irradiador Biobeam 2000/200/8000. El equipo contiene una fuente de ^{137}Cs , actividad de $2200 \mu\text{Ci} \pm 20\%$ y tasa de dosis en contacto menor que 3 Sv/h .

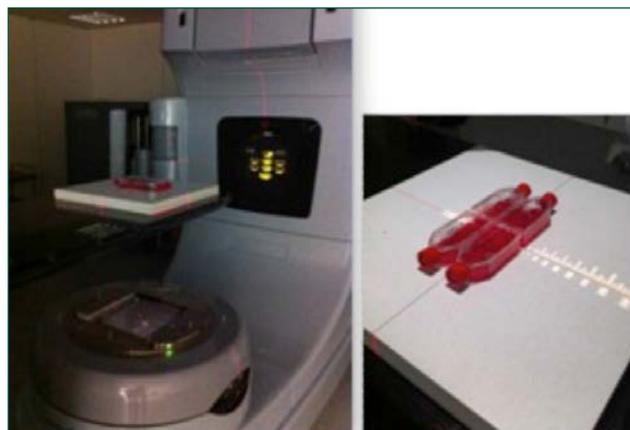


Figura 3. Acelerador Lineal Modelo Clinac iX.

Acelerador Lineal Modelo Clinac iX (Varian Medical System, Palo Alto, CA, USA). El equipo emite fotones de 15 MV de Energía.

Los frascos con la sangre se colocaron a 1035 mm de distancia al foco, disponiéndose de un *build up* de 35 mm de espesor constituido por bloques de agua sólida para irradiar en condiciones de equilibrio electrónico. El campo de irradiación fue de $40 \times 40 \text{ cm}$ (en isocentro a 1000 mm del foco). Para conseguir irradiar a una dosis de 1Gy, la tasa de dosis fue de 200 cGy/min y un tiempo de 0.5 minutos (Figura 3).

Cultivo e irradiación

De cada individuo se extrajo sangre en tubos vacutainer previamente heparinizados. La metodología se realizó según Pantelias y Terzoudi [4]. Para el cultivo de linfocitos de sangre periférica se adicionó la sangre total a medio de cultivo y se incubó a 37°C durante 72 h. Transcurrido el tiempo, el cultivo se interrumpió para su irradiación e inmediatamente después de las irradiaciones los cultivos se dividieron en dos partes (uno de ellos con cafeína). Las muestras se incubaron durante 15-20 min a 37°C y transcurrido este tiempo, se añadió una sustancia antimitótica que detiene el cultivo celular y a los 90 min de la irradiación se sacrificó el cultivo. Se centrifugaron las muestras, se realizó un choque hipotónico, se fijaron las metafases (metanol/ácido acético glacial (3:1, v/v)) y se prepararon las extensiones para su tinción (Figura 4a).

Análisis citogenético

Las aberraciones cromosómicas analizadas fueron roturas cromatídicas e isocromatídicas (*chromatid type breaks, CTB*). El análisis se llevó a cabo mediante un microscopio monitorizado y el *software* Ikaros. Para cada individuo, se ana-

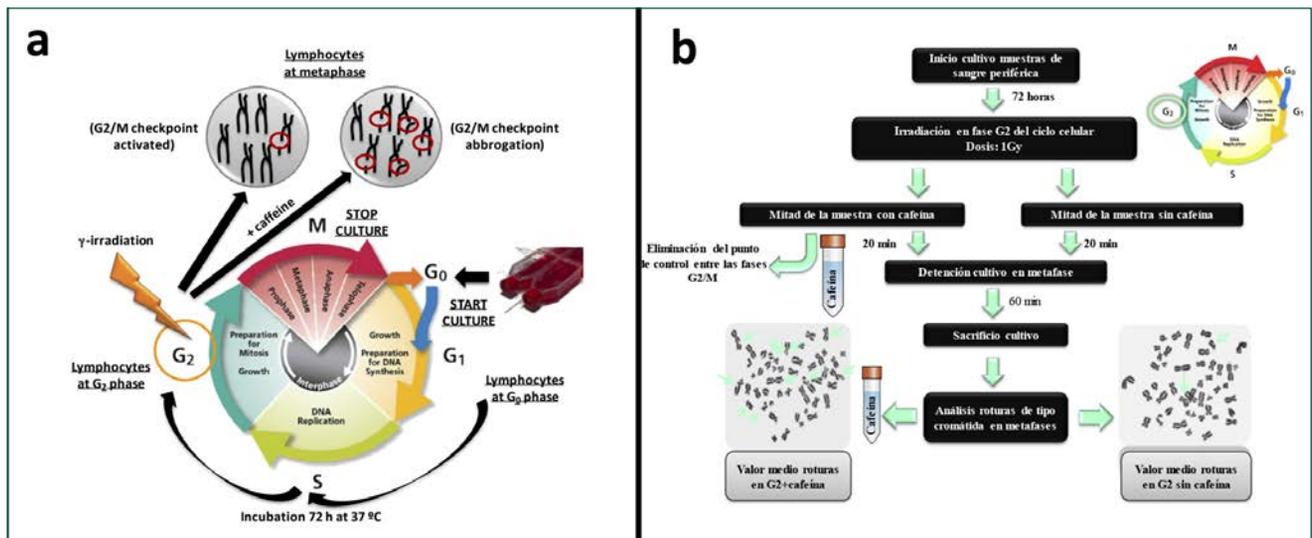


Figura 4. a) Representación esquemática de las características esenciales del ensayo G2; b) Esquema del ensayo G2 de radiosensibilidad individual.

lizaron 50 metafases tratadas con cafeína y 50 metafases no tratadas. Se calculó el parámetro de radiosensibilidad individual (PRI) a partir del valor medio de roturas de cromátidas e isocromátidas, PRI, definido como = (valor medio roturas en muestras G2/valor medio roturas en muestras G2 + cafeína (caf)) x 100%. La Figura 4b muestra un esquema del ensayo G2.

Análisis estadístico

La distribución de los valores de PRI se comprobó mediante un método de estimación por Kernel [15].

Evaluación del estado antioxidante-oxidante

Se determinó la capacidad antioxidante total (TEAC) y la actividad superóxido dismutasa extracelular (ecSOD) mediante kits comerciales (Cayman Chemicals, Michigan, USA). El GSH y GSSG (GSH oxidado) se determinó mediante cromatografía líquida acoplada a un espectrómetro de masas (UPLC-MS/MS) (Waters Xevo TQ-S).

Se determinó la formación de TBARS (sustancias reactivas con ácido tiobarbitúrico) como indicador de peroxidación lipídica mediante un kit comercial (Cayman Chemicals, Michigan, USA). La formación de nitritos y nitratos (NOX) se evaluó mediante la reacción de Griess.

Estudio estadístico

Se analizaron los biomarcadores mediante un modelo lineal de regresión en el que se incluyó la edad, el género y el tabaco como posibles factores que podrían afectar a dicho marcador. Los valores de $p < 0.05$ se consideraron estadísticamente significativos, los análisis se llevaron a cabo mediante el programa estadístico R versión 3.0.2.

RESULTADOS

Cuestionario clínico

La información médica se solicitó al Servicio de Vigilancia Médica del Servicio de Protección Radiológica para relacionarla con los resultados. De todas las variables recogidas, la única que influyó en los resultados de la actividad antioxidante-oxidante fue el tabaco. Otro tipo de variables como colesterol, un determinado tipo de enfermedad, hipertensión, e ingesta de suplementos vitamínicos no se pudo relacionar con los resultados obtenidos ya que el tamaño muestral fue reducido.

Estudio nutricional

La capacidad antioxidante de los grupos estudiados está en un 75.4% respecto del valor para la población española (10577,9 CAT/día), probablemente porque la mayoría de trabajadores no realizan las 5 comidas al día ni la ingesta de 5 raciones de fruta/verdura al día recomendadas, tal y como refleja la encuesta utilizada. El horario laboral de estos trabajadores puede ser la causa que les impide seguir una dieta Mediterránea y realizar las 5 ingestas al día.

Dosimetría física

Como ejemplo de recogida de datos de la dosis absorbida (mSv) de los últimos 12 meses anteriores a la extracción de sangre de uno de los grupos, se muestra en la Tabla I del grupo 100.

Radiosensibilidad

Las irradiaciones se iniciaron con el equipo BIOBEAM, aunque una vez comprobado que la dosis no era homogénea en las muestras, se decidió irradiar con un acelerador lineal Modelo Clinac iX.



Dosis absorbida (mSv)														
	Dosímetro	Mes 1	Mes 1	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Total
101	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Muñeca	0,8	0,2	0,3	0,4	0	0,2	0,2	0,5	0,2	0,6	0,2	0,4	4
104	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	Solapa	0,4	No lleva	0,7	0	No lleva	No lleva	No lleva	0	No lleva	No lleva	0,4	No lleva	1,5
	Muñeca	0,4	0	1,2	0	No lleva	No lleva	No lleva	0	No lleva	No lleva	0	0	1,6
106	Solapa	0	0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	0	0	0,1	1,4
	Muñeca	3	2,1	2,7	2,9	2,8	2,5	3,5	2,2	4,9	2	0	3,5	32,1
107	Solapa	0	0	nr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Muñeca	0,3	0,2	nr	2,3	0,3	0,2	0,2	0	0,4	0,2	0	0	4,1
108	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Muñeca	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,1	0	0,4	0,7	1,6
111	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Muñeca	0,7	0	0	0,9	1,1	0,9	0,4	0,4	1	1,4	0,2	0,8	7,8
112	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	Solapa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla I. Dosis absorbida en los sujetos del grupo 100.

Se calculó para cada individuo el parámetro de radiosensibilidad individual (PRI) a partir del análisis de la media de roturas de cromátida (CTB) de los dos valores obtenidos de las muestras con y sin cafeína. En la Figura 5 se representa la distribución del PRI tras el análisis del total de sujetos estudiados.

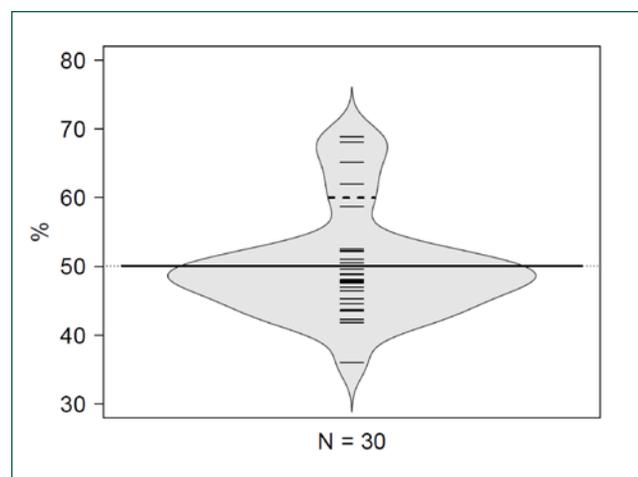


Figura 5. Distribución del PRI de los sujetos del grupo de estudio (PRI= %).

Los valores de PRI en los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes del Hospital Universitario y Politécnico la Fe obtenidos se encontraban en un rango comprendido entre el 41,89% y el 52,55%. Para el grupo control los valores de PRI estaban comprendidos entre el 36,03% y el 68,05%.

Para validar la reproducibilidad de la técnica se repitió las irradiaciones y el análisis en cinco individuos para comprobar el dato de PRI era el mismo.

Evaluación del estado antioxidante-oxidante

A continuación se presentan (Tabla II) las características de los 60 sujetos de estudio de la determinación plasmática del estado antioxidante-oxidante.

En la Figura 6 se muestran valores promedio de TEAC o capacidad antioxidante total en los distintos grupos. El análisis estadístico reveló que la edad y el género no afectaban esta variable, sin embargo, el consumo de tabaco la disminuía considerablemente. Los resultados mostraron diferencias significativas entre grupos (modelo de regresión lineal, $P < 0,01$) y los sujetos del grupo 300 tenían menos TEAC que el grupo control (500).

	Grupo 100	Grupo 200	Grupo 300	Grupo 400	Grupo 500
Nº participantes	14	14	7	11	14
Edad	49 ± 3	50 ± 3	45 ± 4	50 ± 4	38 ± 3
Género (Nº de mujeres)	11	10	6	7	9
Tabaco (Nº fumadores)	4	3	5	1	1

Tabla II. Características de los sujetos participantes en el estudio del estado antioxidante-oxidante en relación al grupo, número, edad, género y hábito tabáquico.

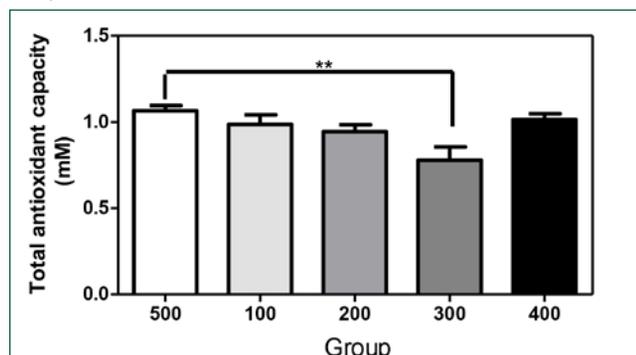


Figura 6. Valores de TEAC (capacidad antioxidante) para los distintos grupos de estudio.

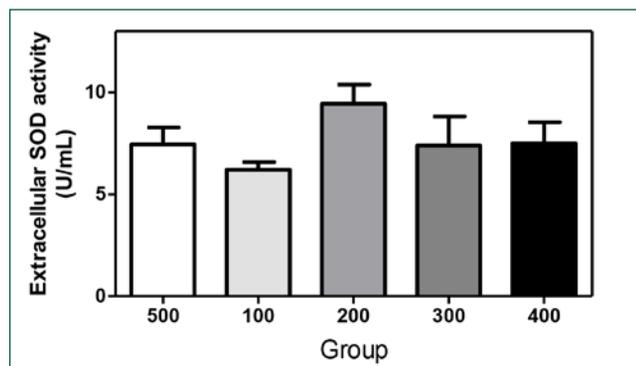


Figura 7. Valores de SOD (superóxido dismutasa) para los distintos grupos de estudio.

En la Figura 7 se muestran las actividades ecSOD promedio de los distintos grupos de estudio. La actividad ecSOD no se vio afectada ni por la edad, el género o el consumo de tabaco. El análisis estadístico reveló diferencias significativas (modelo de regresión lineal, $p = 0,03$) entre los grupos observándose una tendencia a aumentar la actividad en el grupo 200. La formación de TBARS no se vio afectada ni por la edad, el género o el consumo de tabaco. Sin embargo, el análisis estadístico mostró un aumento de este marcador en los grupos 300 y 400 (Figura 8). La edad y el género no afectaron al contenido plasmático de NOX, sin embargo, el tabaco lo aumentó

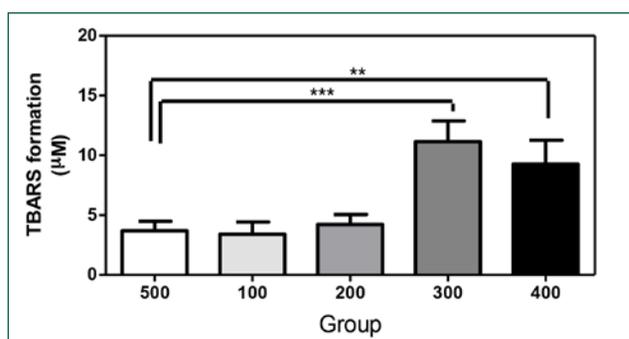


Figura 8. Valores de TBARS (peroxidación lipídica) para los distintos grupos de estudio.

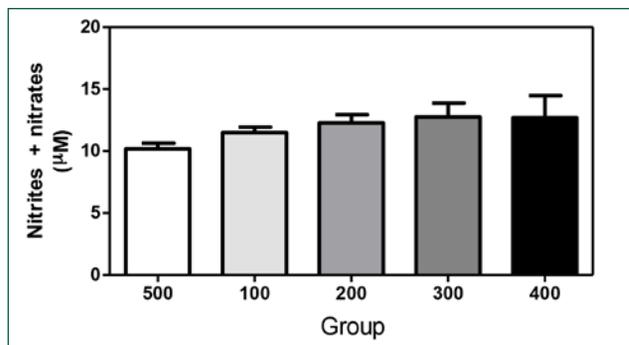


Figura 9. Valores de NOX (nitratos y nitritos) para los distintos grupos de estudio.

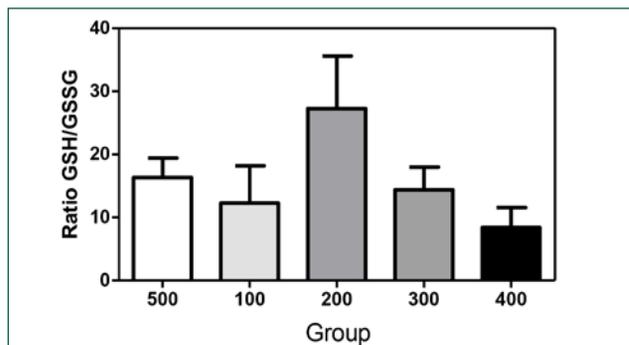


Figura 10. Ratio de GSH/GSSH (glutión reducido/glutión oxidado) obtenido en los distintos grupos de estudio.

significativamente. Entre los grupos de trabajadores no se observaron diferencias significativas (Figura 9).

Realizamos la determinación del cociente GSH/GSSG en 25 de los 60 trabajadores. Los resultados sugieren que el grupo 200 tenía un mayor cociente GSH/GSSG, es decir, un mayor poder reductor (Figura 10).

DISCUSIÓN

Con este estudio se ha puesto a punto el Test G2 de radiosensibilidad individual por primera vez en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.



No existen en la bibliografía estudios parecidos orientados a este tipo de colectivo, no obstante, los trabajos del grupo de Terzoudi y Pantelias [1] pusieron a punto el Test G2 de radiosensibilidad individual y establecieron rangos para clasificar a los individuos de su población de estudio en sujetos "radioresistentes", "normales", "radiosensibles" y "muy radiosensibles". Los individuos radiosensibles, de acuerdo con dicho trabajo, son aquellos cuyo PRI se encuentra en un rango de 50-70%. En nuestro estudio, y de acuerdo con Pantelias y Terzoudi [4], el 36 % (11 de 30 sujetos) se clasificarían como radiosensibles.

De los 11 sujetos de estudio, ocho eran controles, condición que no guarda ninguna relación directa con el valor obtenido del PRI ya que la característica de la radiosensibilidad se asume de ser genética o intrínseca al individuo.

Este estudio preliminar, gracias al cual se puso a punto en nuestro Hospital el Test de radiosensibilidad G2, no resultó concluyente a la hora de establecer de forma significativa rangos propios de radiosensibilidad en el grupo de población estudiado ya que a nivel estadístico se disponía de un tamaño muestral demasiado reducido. En el futuro, y con un tamaño muestral mayor, se pretende establecer rangos de radiosensibilidad individual estadísticamente significativos y representativos de nuestra población.

Los resultados preliminares del estado antioxidante-oxidante en plasma sugieren que los valores de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes difieren del grupo control no expuesto. Los resultados apuntan a que existen diferencias entre los distintos grupos; de esta forma el grupo 300 es el más afectado, teniendo menor defensa antioxidante y niveles elevados de TBARS. Sin embargo, es necesario ampliar el tamaño muestral para confirmar estos resultados.

La radiación ionizante cuando interacciona con macromoléculas biológicas (ADN, lípidos y proteínas) genera ROS con alta reactividad celular como se ha mencionado anteriormente. En el individuo sano hay un equilibrio entre la formación de radicales libres y su capacidad antioxidante el cual se ve interrumpido, entre otros factores, por la exposición excesiva o crónica a la radiación ionizante.

Cuando comparamos nuestro estudio con la bibliografía existente encontramos resultados similares en el trabajo de Olisekodiaka et al. [16], dirigido a un grupo de trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, el cual mostró que la capacidad antioxidante total (TEAC) no era significativamente menor a la de los controles. Sin embargo, Hagelstrom et al. [17] si detectó valores de TEAC significativamente menores en los trabajadores expuestos, quizá por una falta de aplicación de las normas de Protección Sanitaria, según los autores.

En nuestro caso, los resultados del estudio de la medida de TBARS indican un aumento de la peroxidación lipídica en el

grupo de los trabajadores de medicina nuclear (300). Estos trabajadores, en su práctica habitual, trabajan con emisores β , con una LET superior a los fotones. Un aumento de radicales libres en el medio celular debido a la exposición a la radiación ionizante podría aumentar la oxidación de los lípidos de membrana. En estos trabajadores observamos valores mayores de estrés oxidativo, los cuales podrían atribuirse a una relación directamente proporcional entre la LET a la que están expuestos y el estrés oxidativo observado.

Por el contrario, el grupo clasificado como intervencionistas (200) podría haber desarrollado una "respuesta adaptativa" al estrés oxidativo al aumentar la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD) y el cociente entre el glutatión reducido/glutatión oxidado (GSH/GSSG). De forma similar, en un estudio sobre la respuesta celular en cardiólogos intervencionistas expuestos a bajas dosis de radiación de forma crónica también observaron un aumento en los niveles de GSH [18].

La "respuesta adaptativa" mencionada por algunos autores se basa en la idea de que una exposición a dosis bajas de radiación ionizante puede hacer menos susceptibles al daño a las células y estimular ciertas funciones de protección. Sin embargo, las consecuencias documentadas en estudios recientes de una exposición profesional crónica sugieren que ésta se asocia a un aumento en el riesgo de cáncer no despreciable en los trabajadores expuestos.

En relación a la dosimetría física, destacar en el grupo de intervencionistas, que los datos sugieren que posiblemente no lleven siempre consigo sus dosímetros o éstos no se encuentren en el campo de irradiación, implicando una exposición parcial del cuerpo. Esta exposición no uniforme fue observada por nuestro grupo mediante estudios citogenéticos [19]. Consideramos que, de la misma forma que recomienda en intervencionismo la *International Commission for Radiation Protection* (ICRP), la valoración de la dosimetría física se debe hacer con doble dosimetría física.

Por último, al observar en algunos parámetros bioquímicos de estos trabajadores a partir del cuestionario clínico y la encuesta dietética que éstos no se corresponden con las pautas recomendadas para una dieta mediterránea, nos planteamos la posibilidad de elaborar una guía saludable para trabajadores expuestos. Con esta guía se les ayudaría a seguir las pautas y a nivel individual correlacionarlo con los valores de estado antioxidante-oxidante.

CONCLUSIONES

El estudio de radiosensibilidad individual a trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes ha permitido poner a punto el test de radiosensibilidad individual "Test G2" con el propósito de que en un futuro próximo sea considerado co-

mo una herramienta útil en la toma de decisiones el ámbito clínico y laboral.

Respecto al estudio de la capacidad antioxidante-oxidante de los trabajadores, nuestros resultados sugieren que, por un lado, los trabajadores de medicina nuclear son los que presentan mayor estrés oxidativo (mayor TBARS) a la vez que una menor defensa antioxidante (TEAC y actividad SOD) cuando lo comparamos con el grupo control. Por otro lado, los resultados sugieren que el grupo de intervencionistas tiene una defensa antioxidante mayor con unos valores de actividad SOD y GSH/GSSG más elevados que el grupo control. Ni la edad ni el género influyeron de forma estadísticamente significativa en los parámetros estudiados.

Por tanto, este estudio preliminar ha permitido obtener resultados a cerca de las características de determinados biomarcadores de estado antioxidante/oxidante, hábitos dietéticos, dosis de radiación absorbida y rangos de radiosensibilidad. El tamaño muestral se ha considerado reducido estadísticamente para obtener resultados concluyentes en algunos parámetros. Futuras investigaciones ampliarán los resultados de los grupos para la mejora de acciones preventivas en trabajadores, y probablemente también en pacientes expuestos a radiaciones ionizantes.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por la Fundación MAPFRE y el Hospital Universitario Politécnico La Fe de Valencia.

Este trabajo es in memoriam del Dr Miguel Almonacid Bujaeda, compañero muy querido, que durante años realizó la vigilancia médica de los trabajadores del hospital expuestos a radiaciones, de los que se preocupaba y ocupaba tanto que motivó al equipo en el estudio de la radiosensibilidad individual.

REFERENCIAS

- [1] Terzoudi, GI; Hatzi, VI; Barszczewska, K; Manola, KN; Stavropoulou, C; Angelakis, P; Pantelias, GE. G2-checkpoint abrogation in irradiated lymphocytes: A new cytogenetic approach to assess individual radiosensitivity and predisposition to cancer. *Int J Oncol*. 2009, (5), 1223-30.
- [2] Scott, D; Spreadborough, AR; Jones, LA; Roberts, SA; Moore, CJ. Chromosomal radiosensitivity in G2-phase lymphocytes as an indicator of cancer predisposition. *Radiat Res*. 1996, (145), 3-16.
- [3] Scott, D; Barber, JB; Spreadborough, AR; Burrill, W; Roberts, SA. Increased chromosomal radiosensitivity in breast cancer patients: a comparison of two assays. *Int J Radiat Biol*. 1999, (75), 1-10.
- [4] Pantelias, GE; Terzoudi, G. A standardized G2-assay for the prediction of individual radiosensitivity. *Radiotherapy and Oncology*. 2011 (101), 28-34
- [5] Terzoudi, GI; Manola, KN; Pantelias, GE; Iliakis, G. Checkpoint abrogation in G2 compromises repair of chromosomal breaks in ataxia telangiectasia cells. *Cancer Res*. 2005, (65), 11292-11296.
- [6] Terzoudi, GI; Pantelias, GE. Cytogenetic methods for biodosimetry and risk individualisation after exposure to ionising radiation. *Radiat Prot Dosimetry*. 2006, (122), 513-520.
- [7] Rodrigo, R; Libuy, M; Feliú, F; Hasson, D. Oxidative stress-related biomarkers in essential hypertension and ischemia-reperfusion myocardial damage. *Dis Markers*. 2013, (6), 773-90.
- [8] Scott, DN. *Multivariate Density Estimation, Theory, Practice and Visualization*. NW Wiley, 1992.
- [9] Davi, G; et al. In vivo formation of 8-Epi-prostaglandin F2 alpha is increased in hypercholesterolemia. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*. 1997, (17) 3230-5.
- [10] Martinet, W; Knaapen, MW; De Meyer, GR; Herman, AG; Kockx, MM. Oxidative DNA damage and repair in experimental atherosclerosis are reversed by dietary lipid lowering. *Circ Res*. 2001 (88), 733-9.
- [11] Deepa, PR; Varalakshmi, P. Atheroprotective effect of exogenous heparin-derivative treatment on the aortic disturbances and lipoprotein oxidation in hypercholesterolemic diet fed rats. *Clin Chim Acta*. 2005 (355) 119-130.
- [12] Briones, AM; Touyz, RM. Oxidative stress and hypertension: current concepts. *Curr Hypertens Rep*. 2010, (2) 135-42.
- [13] Van der Toorn, M; Rezayat, D; Kauffman, HF; Bakker, SJL; Gans, ROB; Koe, GH; Lipid-soluble components in cigarette smoke induce mitochondrial production of reactive oxygen species in lung epithelial cells. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2009, (14), L109-L114.
- [14] Giardi, MT; Touloupakis, E; Bertolotto, D; Mascetti, G. Preventive or Potential Therapeutic Value of Nutraceuticals against Ionizing Radiation-Induced Oxidative Stress in Exposed Subjects and Frequent Fliers. *Int. J. Mol. Sci*. 2013, (14), 17168-17192.
- [15] Wu X, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Prior RL. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J Agric Food Chem*. 2004, (12), 4026-37.
- [16] Olisekodiaka, MJ; Bello, TO; Onuegbu, AJ; Olowookere, CJ; Lebi, OM; Omotayo, LO; Igbeneghu, I; Olugbenga-Bello, AI. Evaluation of the serum total antioxidant status level in health workers exposed to low radiation doses in a large nigerian hospital. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2009, (2), 152-156.
- [17] Hagelström AH, Gorla NB, Larripa IB. Chromosomal damage in workers occupationally exposed to chronic low level ionizing radiation. *Toxicol Lett*. 1995 Mar;76(2):113-7.
- [18] Russo, GL; Tedesco, I; Russo M, Cioppa, A; Andreassi, MG; Picano, E. Cellular adaptive response to chronic radiation exposure in interventional cardiologists. *Eur Heart J*. 2012, (3), 408-14.
- [19] Montoro, A; Rodríguez, P; Almonacid, M; Villaescusa, JJ; Verdú, G; Caballín, MR; Barrios, L; Barquinerio, JF. Biological dosimetry in a group of radiologists by the analysis of dicentric and translocations. *Radiat Res*. 2005, (164), 612-7.

Método rápido para la medida secuencial de isótopos de Am y Pu en matrices líquidas por espectrometría alfa

Juan Mantero Cabrera
Grupo Física Nuclear Aplicada. Departamento Física Aplicada II. Universidad de Sevilla.

RESUMEN: En situaciones de emergencia radiológica es muy común la necesidad de dar una respuesta rápida por parte de los laboratorios en la cuantificación de ciertos radionucleidos, de cara a la toma de decisiones. En estos casos, el tiempo de reacción es una variable fundamental a considerar (aunque obviamente sin dejar de lado la calidad en el resultado de la medida). En este trabajo se presenta un método para matrices acuosas que permite generar en una única jornada de trabajo, las fuentes de medida necesarias en la detección de isótopos de Pu y Am para ser medidas con posterioridad por espectrometría alfa.

La metodología puesta a punto ha sido validada mediante su aplicación a muestras de referencia y mediante la participación en ejercicios de intercomparación, en ambos casos, con resultados satisfactorios. Queda así demostrada la validez de este método rápido que nos permite generar en 24 horas desde la recepción de la muestra, una medida en nuestros sistemas con una Actividad Mínima Detectable (AMD) de 0.004 Bq/L tanto para isótopos de Pu (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$) como de Am (^{241}Am) en muestras acuosas.

ABSTRACT: In radiological emergencies it's necessary a fast response from the laboratories in the quantification of certain radionuclides, in order to take decisions. In these cases, is the reaction time the key parameter to consider (without neglecting the quality of the measurement). In this work, it is shown a method for aqueous matrices that generates Pu and Am isotopes sources in one single day of work, to be measured subsequently by alpha spectrometry.

The developed methodology has been validated through its application to reference samples and also taking part in intercomparison exercises, having in both cases, satisfactory results. This way, we check the validity of this fast method that let us generate in 24 hours (since the sample arrives our laboratory), one measurement with a Minimum Detectable Activity (MDA) of about 0.004Bq/L for Pu and Am isotopes in liquid matrices.

Palabras clave: Métodos Rápidos, espectrometría alfa, Plutonio, Americio.
Keywords: Fast methods, alpha spectrometry, Plutonium, Americium.

INTRODUCCIÓN

Ante una situación de emergencia, técnicas como la espectrometría gamma *in situ* representan una alternativa muy rápida para detectar posibles áreas afectadas por contribuciones antropogénicas si bien pocos son los laboratorios que disponen de dichos sistemas. Otros sistemas como detectores geiger también permiten dar una respuesta rápida en la detección de radiación externa (emisores beta principalmente), pero no permiten discriminar en energías. Ahora bien, dada la naturaleza de la interacción alfa con la materia, la medida de emisores alfa puros se hace complicada teniendo que recurrir al tratamiento de muestras en los laboratorios para poder aislar y medir dichos emisores, lo que alarga la respuesta de un laboratorio a la hora de discernir si existe o no una contribución externa mensurable de estos radionucleidos.

De las técnicas antes mencionadas, la que presenta una menor AMD es la espectrometría alfa, pero sin embargo, es la más lenta en responder. Pretendemos en este trabajo

modificar la metodología ya implementada en algunos laboratorios para la determinación de Pu y Am en muestras acuosas y conseguir generar fuentes de medida en pocas horas de trabajo que hagan de la espectrometría alfa una posible herramienta de trabajo, incluso en situaciones de emergencia.

Dentro de los isótopos radiactivos del Pu, son fundamentalmente ^{238}Pu , ^{239}Pu y ^{240}Pu los que pueden requerir nuestro interés en alguna situación de emergencia. Estos tres isótopos, aunque no pueden ser considerados como emisores alfa puros, se caracterizan por poseer unas emisiones gamma de muy baja intensidad por lo que incluso en muy altas concentraciones no pueden ser detectables mediante espectrometría gamma. En el caso del Am, es el ^{241}Am el isótopo radiactivo de interés, el cual puede considerado emisor alfa y gamma, y por lo tanto convencionalmente es determinado en matrices ambientales, bien por espectrometría alfa, o bien por espectrometría gamma.

Nos planteamos en este trabajo que el método rápido a desarrollar para la medida secuencial de Pu y Am por espectrometría alfa tenga un límite temporal de aplicación de 24 horas. Tras ese tiempo ¿qué respuesta podemos conseguir con el método aquí propuesto?

MATERIALES Y SISTEMAS DE MEDIDA

La espectrometría alfa, se ha llevado a cabo en un equipo *Alpha-analyst* de Canberra. Este sistema en nuestro caso está compuesto por ocho cámaras independientes de las que cuatro se dedican exclusivamente al Am y la otra mitad a los isótopos de Pu. La distancia fuente-detector es de 5 mm y se tienen eficiencias de recuento que oscilan en torno al 35% en esa configuración geométrica teniendo un grado de vacío cada cámara inferior siempre a 0,01 torr. Estos detectores presentan fondos ultra bajos de 4/5 cuentas por día según el fabricante (Camberra), si bien nuestras medidas presentan un fondo algo más elevado debido al continuo uso que de estas cámaras se hace, tal y como se mostrará más adelante.

METODOLOGÍA

Esta técnica se basa en una variante de [1-2] para Pu y Am que requiere de una serie de etapas para la preconcentración y separación de cada uno de los elementos de interés en nuestra muestra. En particular, partiendo de una muestra acuosa se sigue el siguiente procedimiento:

a) Se toman 0,5 L de muestra, y se cambia a pH 2 mediante el uso de HCl.

b) Se añaden trazadores de Pu (²⁴²Pu) y Am (²⁴³Am) en cantidades que dependerá lo que se estime que pueda existir en la muestra.

c) Se lleva la solución hasta casi sequedad a unos 70-80 °C

d) Se añaden 15 mL de HNO₃ (8M) para disolver la muestra y una pequeña cantidad (~1g) de NaNO₂

e) Se calienta 10 minutos a 60°C y posteriormente se espera a que se enfríe. Esta disolución forma el punto 1 de la Figura 1.

En este momento se prepara una columna de 1 cm de diámetro con 5 cm de altura de resina AG1-X4 (unos 2.5 g de resina) y se procede a su preacondicionamiento con 25 mL de HNO₃ (8M).

f) La disolución se filtra situando un embudo en la parte superior de la columna con la resina y sobre éste un filtro de fibra de vidrio GFA.

g) Se pasan otros 30 mL de HNO₃ (8M) (20 mL lavando el filtro + 10 mL ya sin él) que serán colectados conjuntamente con lo eluido en f) ya que forman la fracción que contiene el Am (retomamos esta fracción en el punto m) de este proceso).

h) Se lava de nuevo la columna con 30 mL de HCl (9M).

i) Se prepara mientras pasan esos 30 mL anteriores otros 30 mL de HCl(9M)+ NH₄I, para pasarlos inmediatamente por la columna, y proceder a su recolección pues contienen la fracción de Pu.

En este estadio del proceso, tenemos ya dos soluciones (resultados de las etapas g) e i) conteniendo una de forma aislada al Pu y la otra el Am con algunos interferentes. A la fracción conteniendo el Pu, se le aplica las siguientes etapas:

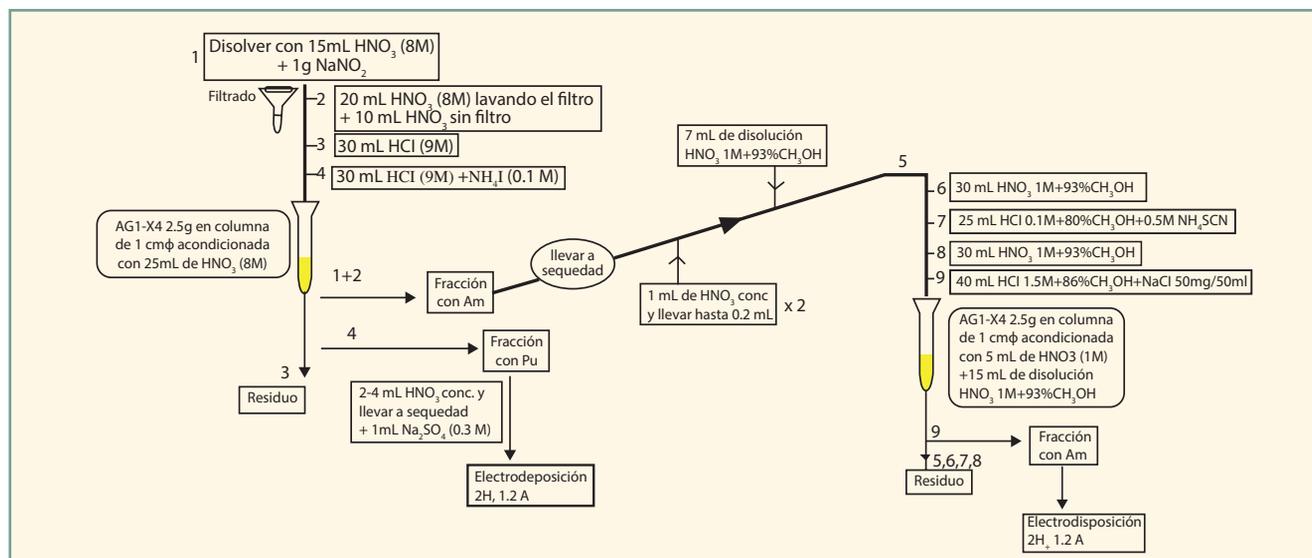


Figura 1. Esquema de la metodología rápida seguida en la preparación de fuentes para Pu/Am.

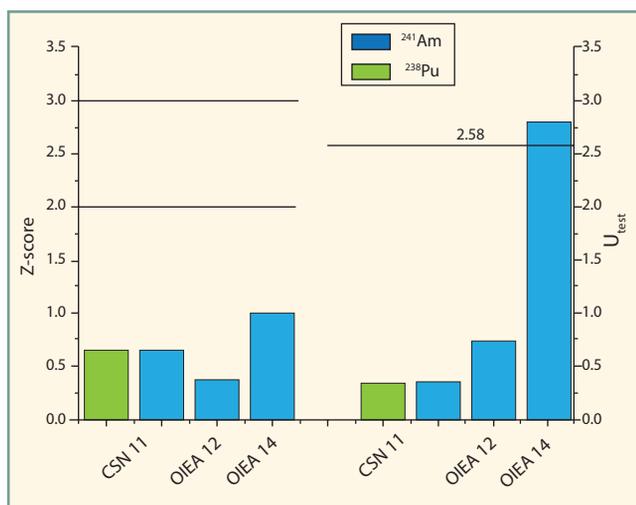


Figura 2. Z-score y U_{test} sobre los promedios de las alícuotas de cada una de las muestras líquidas medidas en este trabajo.

- j) Se le añade 2-4 mL de HNO_3 conc. para eliminar el l.
- k) Se lleva posteriormente a sequedad, añadiendo justo antes 1 mL de Na_2SO_4 (0.3M) para evitar que el residuo secado se pegue a las paredes del vaso.
- l) Se aplica un proceso de electrodeposición durante dos horas a 1,2 A sobre plancheta de acero de 2,2 cm de diámetro tal como se indica por ejemplo en [2]. Tenemos así la fuente de Pu lista para su medida.

Independientemente, a la fracción que contiene el Am, se le aplican las siguientes etapas:

- m) Se evapora a sequedad.
- n) Al residuo resultante, se le añade 1 mL de HNO_3 concentrado y lo evaporamos hasta 0.2 mL (repetir este paso una segunda vez).
- o) Se le añaden 7 mL de $\text{HNO}_3(1\text{M})+93\%\text{CH}_3\text{OH}$. A esta disolución, se la añade un poco de resina AG1-X4 (~0.5g) y se la deja en reposo durante 30 minutos tapada con vidrio de reloj, mientras que simultáneamente se prepara una columna similar a la primera utilizada (con la misma cantidad de resina), la cual se acondiciona pasando 5 mL de $\text{HNO}_3(1\text{M})$ y posteriormente 15 mL de $\text{HNO}_3(1\text{M})+93\%\text{CH}_3\text{OH}$.
- p) Se pasa la solución del punto o) por la columna tras haber sido ésta acondicionada. Posteriormente, se pasan 30 mL de $\text{HNO}_3(1\text{M})+93\%\text{CH}_3\text{OH}$ (punto ó en la Figura 1), seguidos de 25 mL de la solución $\text{HCl}(0.1\text{M})+80\%\text{CH}_3\text{OH}+\text{NH}_4\text{SCN}(0.5\text{M})$ y, finalmente, 30 mL (o más si fuese necesario hasta que el color rojo-rosa desaparezca de la columna) de $\text{HNO}_3(1\text{M})+93\%\text{CH}_3\text{OH}$. Todos los eluatos de esta fase p) se desechan.
- q) La fracción conteniendo el Am se eluye entonces de la resina con 40 mL de $\text{HCl}(1.5\text{M})+86\%\text{CH}_3\text{OH}+\text{NaCl}$

50mg/50mL aunque teniendo la precaución de no recoger el primer mL de esos 40 para evitar posibles trazas de otros interferentes. Se tienen así 39 mL aproximadamente, conteniendo el Am purificado.

- r) A la solución purificada de Am se le añaden 2-4 mL de HNO_3 concentrado y se lleva casi a sequedad tras añadir 1 mL de Na_2SO_4 (0.3M). Tras eso, se evapora por completo y finalmente, se procede a la electrodeposición de Am según el mismo método aplicado previamente para el Pu.

Todo este procedimiento, realizado secuencialmente en una jornada de trabajo nos lleva 11 horas hasta tener las dos planchetas de Pu y Am electrodepositadas. Como se ha propuesto dar una respuesta en 24 horas, tenemos 13 horas de medida, análisis de espectros y preparación de informe.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Toda la metodología descrita se ha aplicado a muestras de referencia o pertenecientes a ejercicios de intercomparación, y por ello generará unos valores que deberemos comparar con valores de referencia para su validación. En este sentido usaremos parámetros estadísticos comúnmente utilizados a la hora de analizar los resultados en ejercicios de interlaboratorios como son el Z-score y el U-score [3].

En general y tras 12 H de medida en nuestro sistema, tenemos una AMD de 0.04 Bq/L tanto para isótopos de Pu como ^{241}Am .

Resultados en ejercicios de intercomparación y con muestras de referencia

Ejercicio de intercomparación CSN/CIEMAT 2011

En esta campaña [4], se repartió un agua desionizada y fortificada tanto con radionucleidos naturales como artificiales. Para la medida de ^{241}Am , se reportaron un total de 25 resultados de los cuales 18 fueron vía γ y los siete restantes vía α . Para la medida de ^{238}Pu , sólo nueve laboratorios respondimos, todos evidentemente, por espectrometría α . La Tabla I muestra los resultados obtenidos en las tres alícuotas que se realizaron de esta matriz acuosa. Los valores de referencia son: ^{238}Pu 0.29 ± 0.05 Bq/L y ^{241}Am 0.24 ± 0.04 Bq/L.

Ejercicio de intercomparación OIEA2012

En esta ocasión, dos muestras de agua potable trazada podrían contener ^{241}Am pero no se garantizaba. Ambas muestras fueron medidas vía gamma para estimar el rango de actividad en el que nos movíamos y no se encontró nada en la muestra 1, así pues se reportó límite de detección vía γ para esta muestra. La muestra 2, en cambio nos daba valores por encima de 100 Bq/kg lo que nos permitía tomar muy poca

Muestra	Masa (g)	Rendimiento de Pu (%)	²³⁸ Pu (Bq/kg)	Rendimiento de Am (%)	²⁴¹ Am (Bq/kg)
CSN-1	30	81	0.27±0.02	42	0.23±0.02
CSN-2	30	82	0.28±0.02	89	0.22±0.01
CSN-3	17	94	0.31±0.02	83	0.23±0.02
IAEA12-2-1	0.25	-	-	83	117±6
IAEA12-2-2	0.25	-	-	68	116±6

Tabla I. Resultados de ²³⁸Pu y ²⁴¹Am en ejercicios de intercomparación del CSN/CIEMAT 2011 y del OIEA 2012. Incertidumbres con criterio 1-sigma.

Muestra	Masa(g)	Rendimiento de Am (%)	²⁴¹ Am (Bq/kg)
IAEA14-3-1	2.0	72	18.5±1.2
IAEA14-3-2	2.0	79	17.5±1.1

Tabla II. Resultados de ²⁴¹Am en dos alícuotas de la muestra acuosa de control de la intercomparación del OIEA 2014.

cantidad de muestra para aplicar la metodología por espectrometría alfa. Se hicieron dos réplicas de esta agua tal y como indica la Tabla I aplicando el procedimiento sólo para Am. El resultado de referencia es ²⁴¹Am 121±1 Bq/kg.

Resultados en muestras de referencia

En un ejercicio del OIEA de junio de 2014, se incluye una muestra de control donde se indican los niveles de radionucleidos que contiene. Hemos tomado una pequeña fracción que hemos diluído hasta los 50 mL y hemos aplicado el procedimiento para el Am. El valor de control queda para el ²⁴¹Am en 20.0±0.1 Bq/kg. Resultados en Tabla II.

Todos los resultados mostrados en las Tablas I y II generan promedios que, comparados con los valores de referencia, dan lugar a la Figura 2 donde se representan tanto el Z-score como el U_{test}, pudiéndose comprobar cómo todas las muestras superan notablemente el test de Z-score, por lo que la reducción propuesta de la metodología Pu/Am se muestra consistente. También se supera el U_{test} en el 75% de los resultados.

En cuanto al rendimiento químico para las muestras de este trabajo, se genera un promedio del 74 % para el Am (sobre

siete muestras) y del 86 % para Pu (sobre tres muestras) lo que nos indica que es un método ciertamente robusto para las matrices bajo estudio.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha comparado cuál es la respuesta en 24 horas de dos equipos de medida, uno alfa y otro gamma de cara a la detección/medida de isótopos de Pu y Am. La espectrometría alfa se muestra como la más adecuada entre ambas y se describe en detalle el protocolo resultante de modificar un método más extenso con el fin de poder responder rápidamente a una medida de isótopos de Pu y Am. Este protocolo simplificado, ha sido aplicado sobre diversas alícuotas de muestras acuosas que sirven como muestras de referencia a nivel nacional e internacional. Los resultados obtenidos nos permiten confiar en la metodología empleada siempre que estemos bajo las condiciones que enmarcan este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Antes de nada, mi agradecimiento a mi director de Tesis, el Dr. Rafael García-Tenorio por posibilitar mi estancia en la NRPA donde pude aprender esta metodología. También debo agradecer la orientación y aprendizaje impartido por el Dr. Elis Holm quien, en 2011, me estuvo instruyendo durante ese tiempo en Oslo. Por último, nuestro mi agradecimiento a D. José Díaz por hacerme fácil mi vida en nuestro laboratorio y al Dr. Guillermo Manjón por ser un magnífico gestor que hace que proyectos como este, puedan ir hacia delante.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Talvitie, N. A. (1971). Radiochemical determination of plutonium in environmental and biological samples by ion exchange. *Anal. Chem.*, 43, 1827.
- [2] Holm, E., Ballestra, S. & Fukai, R. (1979). A method for ion-exchange separation of low levels of americium in environmental samples. *Talanta*, 26,79.
- [3] IAEA 2008. World wide proficiency test: determination of naturally occurring radionuclides in phosphogypsum and water. IAEA-CU-2008-03.
- [4] CSN/CIEMAT. Intercomparación analítica entre Laboratorios de radiactividad ambiental 2011-2012 (agua).

Estudios del equilibrio ^{210}Pb - ^{210}Po en vidrios

J. De la Torre Pérez, A. Martín Sánchez y A.B. Ruano Sánchez
Departamento de Física, Universidad de Extremadura

RESUMEN: La dosimetría retrospectiva requiere métodos de medida que permitan la determinación de la concentración de radón en el pasado. Uno de estos métodos está basado en la medida directa del ^{210}Po implantado sobre la superficie de objetos, cuya concentración de actividad (Bq/m^2), está directamente relacionada con la exposición acumulativa debida a la concentración de ^{222}Rn (Bq/m^3) durante largos períodos de tiempo. Estas determinaciones son posibles gracias al equilibrio entre el ^{210}Po ($T_{1/2} = 138,378$ días) y su progenitor, el ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22,3$ años), siendo ambos radionúclidos descendientes del ^{222}Rn . En trabajos anteriores sobre la determinación del factor de conversión (relación entre la concentración de ^{210}Po en los objetos y la concentración de ^{222}Rn retrospectivo en aire), se asumían establecidos los correspondientes equilibrios entre descendientes. En este trabajo se ha realizado un estudio experimental sobre el equilibrio ^{210}Pb - ^{210}Po en vidrios previamente expuestos a ciertas concentraciones de radón. El estudio se ha realizado en dos escenarios, diferenciados por la existencia o no de una acumulación continuada de ^{222}Rn . Los resultados se han comparado con los obtenidos mediante cálculos teóricos a partir de las ecuaciones de evolución de la actividad (Bateman).

ABSTRACT: Retrospective dosimetry requires measurement methods allowing the determination of Radon concentration in the past. One of the such methods is based on the direct measurement of ^{210}Po implanted on the surface of objects, whose activity concentration (Bq/m^2), is directly related to the cumulative exposure due to the concentration of ^{222}Rn (Bq/m^3) for long time. These determinations are possible taking into consideration the equilibrium between ^{210}Po ($T_{1/2} = 138.378$ days) and its parent ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22.3$ years), being both radionuclides from the ^{222}Rn progeny. In previous works about the determination of the conversion factor (ratio between the concentration of ^{210}Po in objects and the retrospective ^{222}Rn concentration in air), corresponding equilibria between descendants were assumed. In this work, an experimental study about the equilibrium ^{210}Pb - ^{210}Po in glasses, which were previously exposed to some radon concentrations, has been performed. Two scenarios were studied: a place with, and another place without, continuous cumulative ^{222}Rn concentration. Results were compared with those reached by theoretical calculations from the (Bateman) activity evolution equations.

Palabras clave: equilibrio, radón, retrospectivo, polonio, plomo.
Keywords: Equilibrium, Radon, Retrospective, Polonium, Lead.

INTRODUCCIÓN

Algunos estudios epidemiológicos sobre la incidencia del gas radón están basados en la dosimetría retrospectiva [1 y 2] y, por lo tanto, son necesarios métodos de medida que permitan la determinación de la concentración de radón en el pasado. Estos métodos se basan en la medida directa o indirecta del ^{210}Pb , descendiente del ^{222}Rn , que gracias a su periodo de 22,3 años puede ser detectado después de un cierto tiempo. La desintegración del ^{222}Rn da lugar a sus descendientes de corta vida media, ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , y ^{214}Po . Estos se irán adhiriendo a las partículas de polvo y aerosoles del ambiente, desplazándose con ellos hasta acabar depositados en la superficie de los objetos, donde finalmente se implanta el ^{210}Pb gracias a las altas energías de retroceso en las desintegraciones del ^{218}Po y ^{214}Po . Los mecanismos de adhesión han sido descritos en algunos trabajos anteriores

[3-5]. El ^{210}Pb implantado comenzará a desintegrarse dando lugar a sus descendientes: ^{210}Bi y ^{210}Po . La medida directa del ^{210}Po ($T_{1/2} = 138,378$ días), una vez alcanzado el equilibrio con su progenitor, ^{210}Pb , permite la cuantificación de ambos radionúclidos.

En un trabajo previo [6] se estudió el factor de conversión que relaciona la concentración de ^{210}Po medida en los objetos con la concentración de ^{222}Rn retrospectivo en aire. Para ello, se suponía que los descendientes se encontraban en equilibrio, sin importar la forma concreta de cómo se había alcanzado dicho equilibrio. Al estudiar con más profundidad este aspecto, se observaron ciertas anomalías que necesitaban ser explicadas, y para ello se realizó el estudio presentado en este trabajo. Se ha estudiado el equilibrio ^{210}Pb - ^{210}Po en vidrios previamente expuestos a ciertas concentraciones de radón en dos situaciones distintas. Por un

lado, para un corto periodo de exposición en un ambiente con una elevada concentración de radón y, por otro, para un largo periodo de exposición en un ambiente con una concentración de radón más moderada. Los resultados experimentales se han comparado con los obtenidos mediante cálculos teóricos a partir de las ecuaciones de evolución de la actividad (Bateman).

MATERIALES Y MÉTODO

Desarrollo experimental

Los vidrios utilizados fueron dos espejos convencionales de 18 cm x 14 cm, que son realmente válidos para la técnica de medida del ^{210}Po basada en trampas de superficie [3]. La colocación de los espejos en los lugares de estudio fue llevada a cabo para la realización de un trabajo previo íntimamente relacionado con el actual [6].

El espejo destinado al estudio de corto y limitado periodo de exposición, fue colocado el 28 de junio de 2011 en una cueva turística con elevadas concentraciones de radón (el promedio anual ronda los 32 kBq/m³) [7, 8], y retirado el 25 de octubre de 2011. Tras finalizar los 119 días de exposición se iniciaron las sucesivas medidas del ^{210}Po implantado en el espejo, a fin de estudiar la evolución de su actividad.

El otro espejo, utilizado para el estudio de largo y continuo periodo de exposición, fue colocado el 11 de julio de 2011 en la sala B013 del Departamento de Física de la Universidad de Extremadura. Permanecerá expuesto un tiempo ilimitado durante el cual se irán realizando las correspondientes medidas de ^{210}Po . Esta sala está bien caracterizada en cuanto a su concentración de radón, pues en ella se han realizado multitud de medidas en continuo durante largos periodos de tiempo. El promedio anual de la concentración de radón aquí es de unos 200 Bq/m³.

Las concentraciones de ^{222}Rn se midieron, en ambos casos, con un monitor en continuo, modelo "PQ2000PRO", de la marca AlphaGUARD. Las medidas de la concentración de ^{210}Po en la superficie de los espejos se realizaron con un espectrómetro portátil de partículas alfa, que fue diseñado y construido para este fin [9].

Los espejos, antes de ser situados en sus respectivos lugares, fueron medidos con el espectrómetro alfa portátil, a fin de determinar el valor del blanco. Estas medidas sirvieron, además, para descartar una contaminación previa de ^{210}Po .

Desarrollo teórico

En una serie radiactiva, la actividad del componente n de la familia puede ser calculada, bajo ciertas suposiciones, a través de las conocidas ecuaciones de Bateman [10]. Se ha

elaborado un programa para calcular y representar la evolución de los tres radionúclidos de interés, ^{210}Pb (A_1), ^{210}Bi (A_2) y ^{210}Po (A_3).

$$A_n = N_1 \left(\prod_{i=1}^n \lambda_i \right) \left[\sum_{k=1}^n \frac{e^{-\lambda_k t}}{\prod_{j=1 (j \neq k)}^n (\lambda_j - \lambda_k)} \right] \quad (1)$$

En los cálculos, se consideró una implantación diaria y constante de ^{210}Pb sobre el espejo durante el tiempo que éste hubiera permanecido expuesto al gas radón. A partir de esta implantación, se determina al valor de N_1 utilizado en la ecuación (1), siendo el resto de términos constantes conocidas, a excepción del tiempo t, que toma valores de 1 día, dos días, etc. De esta forma, para cada radionúclido (A_1 , A_2 y A_3) se obtienen los valores numéricos de la actividad en función del tiempo transcurrido desde la implantación inicial. Este proceso se repite para cada nueva implantación de ^{210}Pb (supuesta diariamente) y así hasta el final del periodo de exposición. Finalmente, se suman todas las contribuciones diarias de cada radionúclido, y se representan en función del tiempo que ha transcurrido desde el inicio de la exposición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Corto periodo de exposición y elevada concentración de radón

El espejo permaneció expuesto los 119 días a una concentración promedio de radón de 24 kBq/m³. Desde el día siguiente a la retirada del espejo de la cueva, se están realizando sucesivas medidas de la cantidad de ^{210}Po (Bq/m²) implantada en el espejo. Los resultados obtenidos experimentalmente se han comparado con los resultados teóricos, encontrándose ciertas discrepancias entre ambos (ver Figura 1A). De todas las explicaciones posibles para estos resultados, la única que ha resultado más satisfactoria, está basada en considerar la implantación adicional de otros radionúclidos sobre el espejo. De esta forma, además de la implantación del ^{210}Pb , debe producirse también la implantación de ^{210}Bi , o de ^{210}Po , o de ambos. En cualquiera de los supuestos, esta nueva implantación va a suponer un aporte extra de ^{210}Po . En la Figura 1B se han incluido ambos aportes extra de ^{210}Po , y se han sumado al ya existente, obteniendo como resultante un crecimiento en la actividad que, ahora sí, coincide más estrechamente con los resultados experimentales.

Largo periodo de exposición y moderada concentración de radón

En estas condiciones, las predicciones teóricas indican que se necesitan varios años de exposición para que el ^{210}Po

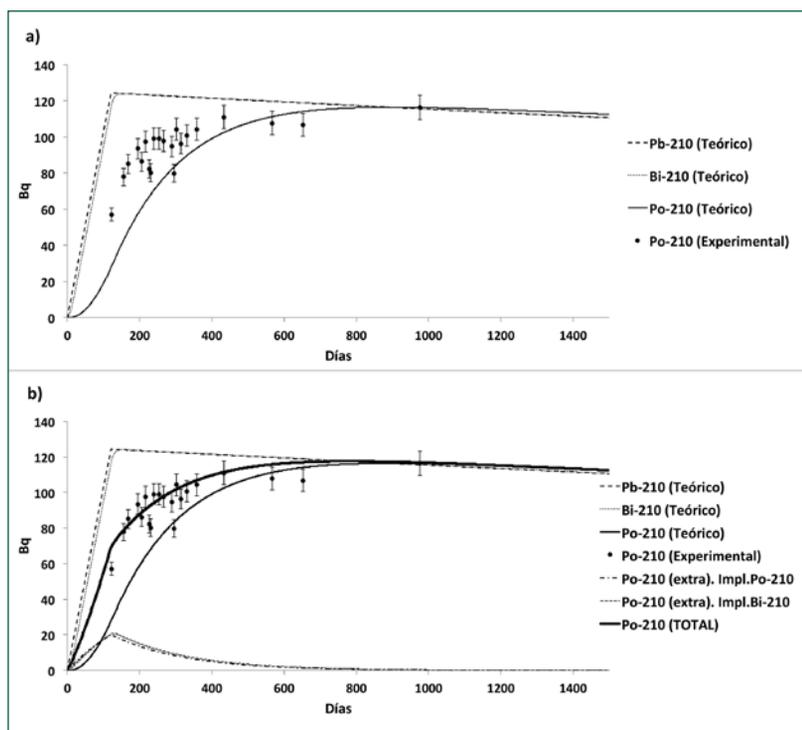


Figura 1. Comparación entre resultados teóricos y experimentales de la evolución de actividad de ^{210}Po en un espejo expuesto durante 119 días a una concentración promedio de radón de 24 kBq/m^3 . a) Solo considerando implantación de ^{210}Pb . b) Considerando implantación de ^{210}Pb , ^{210}Bi y ^{210}Po .

implantado supere el valor de la actividad mínima detectable del dispositivo de medida utilizado. Hasta la fecha, el espejo lleva expuesto aproximadamente tres años a una concentración promedio de radón de 203 Bq/m^3 .

Durante este tiempo, se han realizado cuatro medidas del ^{210}Po implantado en el espejo, encontrándose en todas ellas valores por debajo de la actividad mínima detectable, a excepción de la última medida, realizada el 17 de marzo de 2014. Estos resultados preliminares obtenidos experimentalmente son compatibles con los resultados teóricos para estas condiciones. Habrá que esperar el tiempo suficiente hasta que sea posible obtener un conjunto de resultados que permitan un análisis más detallado.

CONCLUSIONES

En el estudio realizado para evaluar el equilibrio ^{210}Pb - ^{210}Po en situaciones de elevadas concentraciones de radón y corto periodo de exposición, surgen discrepancias significativas entre los resultados obtenidos experimentales y los esperados teóricamente. Solo un aporte de ^{210}Po extra permite explicar el crecimiento de la actividad de ^{210}Po medida experimentalmente. La implantación adicional de ^{210}Bi y ^{210}Po

que da lugar al ^{210}Po extra, solo puede ser explicada por procesos de atracción electrostática, y no por núcleos de retroceso.

En el estudio realizado para moderada concentración de radón con largo periodo de exposición, después de aproximadamente tres años de espera, se ha obtenido el primer resultado experimental con valor por encima de la actividad mínima detectable. Este resultado (junto con los obtenidos anteriormente con valores por debajo del límite de detección) es compatible con la predicción teórica esperada para estas condiciones. La realización de nuevas medidas espaciadas en el tiempo permitirá obtener más resultados con los que poder comparar y sacar nuevas conclusiones que serán presentadas en futuros trabajos.

REFERENCIAS

- [1] M.C.R. Alavanja, J.H. Lubin, J.A. Mahaffey, R.C. Brownson. Residential radon exposure and risk of lung cancer in Missouri. *Am. J. Public Health* 1999; 89 (7): 1042-1048.
- [2] F. Lagarde, R. Falk, K. Almrén, F. Nyberg, H. Svensson, G. Pershagen. Glass-based radon-exposure assessment and lung cancer risk. *J. Exposure Anal. Environ. Epidemiology* 2002; 12 (5): 344-354.
- [3] C. Samuelsson. Retrospective determination of radon in houses. *Nature* 1988; 334: 338-340.
- [4] B. Roos, C. Samuelsson. Experimental methods of determining the activity depth distribution of implanted ^{210}Pb in glass. *Journal of Environmental Radioactivity* 2002; 63: 135-151.
- [5] B. Roos, C. Samuelsson. The behaviour of Rn-222 decay products at the air-glass interface and its implication for retrospective radon exposure estimates. *Radioactivity in the environment* 2005; 7: 813-819.
- [6] A. Martín Sánchez, J. de la Torre Pérez, A.B. Ruano Sánchez. Experimental studies about the ratio between ^{210}Po deposited on surfaces and retrospective indoor ^{222}Rn concentrations. *Radiat. Prot. Dosim.* 2014; 160(1-3): 206-209.
- [7] J. Lario, S. Sánchez-Moral, S. Cuezva, M. Taborda, V. Soler. High ^{222}Rn levels in a show cave (Castañar de Ibor, Spain): Proposal and application of management measures to minimize the effects on guides and visitors. *Atmospheric Environment* 2006; 40: 7395-7400.
- [8] A. Martín Sánchez, A.B. Ruano Sánchez, J. de la Torre Pérez, F.I. Naranjo Correa. Radon in workplaces in Extremadura (Spain). *J. Environ. Radioact* 2012; 107: 86-91.
- [9] A. Martín Sánchez, J. de la Torre Pérez. Portable alpha spectrometer. *App. Radiat. Isot.* 2012; 70: 2267-2269.
- [10] H. Bateman. Solution of a System of Differential Equations Occurring in the Theory of Radio-active Transformations. *Proc. Cambridge Phil. Soc.* 1910: 15, 423.

NOTA TÉCNICA

EL LABORATORIO DE RADIACIÓN NATURAL

GRUPO RADÓN DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

El Laboratorio de Radiación Natural (LRN, Figura 1) se encuentra ubicado en uno de los edificios que era empleado por la empresa Enusa para realizar el tratamiento del mineral una vez extraído. Se trata de un lugar en el que los niveles de gas radón se encuentran sometidos a las variaciones naturales de los parámetros meteorológicos como humedad, temperatura y presión atmosférica, que permiten de este modo simular las condiciones reales de un edificio donde se pretenden estudiar los niveles de este gas.



Figura 1. Vista general del Laboratorio de Radiación Natural ubicado en las instalaciones de la empresa ENUSA en Saelices el Chico.

El edificio tiene dos plantas localizándose en la planta inferior cuatro habitaciones de las cuales dos se emplean como cámaras de radón habiéndose instalado en una de ellas un sistema de ventilación artificial como puede verse en la Figura 2. El sistema de ventilación instalado en una de las cámaras permite actuar sobre las concentraciones de radón.

Cada una de las habitaciones que se muestran en la Figura 2, permite la instalación tanto de detectores pasivos como activos. En la planta inferior, se dispone del mismo modo de una sala en la que se pueden ubicar unos 30 puestos de trabajo que fueron utilizados por los participantes durante el Ejercicio Internacional de Intercomparación celebrado en 2011 cuyos resultados aparecen recogidos en *Radiation Protection Dosimetry* 155 (4), 459-466, 2013. Finalmente, una cuarta habitación se dedica al ejercicio de medida de gas radón en agua. Se dispone de un barril en el que se encuentra disuelta en el agua una concentración conocida de gas radón y cada participante puede tomar las muestras necesarias para determinar el contenido en radón en el agua aplicando su método habitual de trabajo. La Figura 3 muestra un detalle de esta habitación.

La planta superior del edificio consta de una sala de conferencias donde se pueden impartir cursos de forma-



Figura 2. Detalle de las dos habitaciones empleadas como cámaras de radón con sistema artificial de ventilación instalado en una de ellas.



Figura 3. Detalle del dispositivo empleado para el ejercicio de medida de gas radón en agua.

ción, con prácticas en el propio laboratorio, y otro espacio donde es posible llevar a cabo medidas de exposiciones de radón a niveles muy reducidos, entre 100 y 200 Bq·m⁻³ que resultan de gran interés a la hora de analizar la respuesta de los detectores a bajas exposiciones. Del mismo modo la sala dispone de un sistema de ventilación artificial que permite modificar los niveles naturales de radón tal y como se puede observar en la Figura 4.

En cuanto a la parte del laboratorio dedicada a la medida de radiación gamma externa, ésta se lleva a cabo en los exteriores del edificio. Se dispone de tres zonas donde se han medido diferentes niveles del parámetro kerma en aire obteniéndose los valores de 110, 173 y 1800 nGy h⁻¹. La zona de menor nivel se localiza en el exterior del edificio del LNR y ha sido específicamente diseñada para habilitar diversos puntos de medida de manera que el valor medio obtenido de todos ellos sea 110 nGy h⁻¹. La Figura 5 muestra una vista de este punto de medida de radiación gamma externa. Todos estos valores han sido certificados por la unidad de Recuperación Radiológica Ambiental del Departamento de Medio Ambiente del Ciemat.

En esta infraestructura se han llevado a cabo otros ejercicios de Intercomparación organizados por el Grupo Radón de la Universidad de Cantabria que han puesto de manifiesto la necesidad de contar con instalaciones en las que se puedan simular las condiciones normales de variación de presión



Figura 4. Sala situada en la planta superior del LNR destinada a la medida de bajas concentraciones de radón.



Figura 5. Lugar para la medida del parámetro kerma en aire con un valor medio de 110 nGy h⁻¹.

temperatura y humedad que se experimentan en un edificio de manera natural y evaluar los contenidos de radiactividad natural, en especial la concentración de gas radón y la tasa de radiación gamma externa debida a la presencia de radionúclidos de origen natural.

El Laboratorio de Radiación Natural de Saelices el Chico se revela como una instalación a disposición de los investigadores de la radiactividad natural para poder verificar el comportamiento de los equipos de medida de gas radón cuya determinación va a resultar en los próximos años de obligado cumplimiento a la vista de la reciente publicación en enero de 2014 de la nueva 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, a la que se añade la publicación en el verano de 2014 del documento del OIEA *Safety Standards for protecting people and the environment Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, así como para la calibración *in situ* de monitores de radiación ambiental y dosímetros ambientales empleados en los Planes de Vigilancia Radiológica de distintas instalaciones.

LA JUNTA DIRECTIVA INFORMA

Resumen de la Asamblea General de la SEPR

El pasado 30 de septiembre tuvo lugar la Asamblea General de la SEPR en la sede del Consejo de Seguridad Nuclear.

Los temas que se trataron según el orden del día establecido fueron:

- **Aprobación del acta de la Asamblea General** anterior que tuvo lugar el 19 de junio de 2013. Fue aprobado por unanimidad.
- **Informe del presidente:** el presidente Eduardo Gallego, presentó, en ausencia de la vicepresidenta Mercè Ginjume, las actividades realizadas en el segundo semestre del año 2013 y el año 2014 incluyendo las reuniones de la Junta Directiva, las reuniones de las distintas comisiones y el avance de los trabajos de los foros. El Plan de actividades 2014 está disponible para todos los socios en la página web.

El presidente agradeció a los socios su colaboración en las actividades de la Sociedad y comentó que había un número elevado de socios que colaboraban de forma muy activa, como podía comprobarse en las actividades que la Sociedad realizaba año tras año.

Destacó el cambio de la revista a su nuevo formato digital. La utilización de este formato supondrá grandes ventajas, permitiendo una mayor riqueza de los documentos (ilustraciones, enlaces de hipertexto, sonido, animación...). Agradeció así mismo a todo el Comité de redacción y a su directora el trabajo realizado para adaptar la revista a este nuevo formato.

El presidente también comentó las novedades de la web, como el buen funcionamiento del apartado de preguntas y respuestas y los materiales didácticos están disponibles para los socios; Eduardo Gallego ensalzó el trabajo de divulgación que se lleva a cabo en la página web dando especiales gracias al coordinador de la misma, a los socios que aportan y elaboran la información, y a todo el equipo que trabaja para que la información esté disponible en el menor tiempo posible.

Realizó una evaluación crítica de las acciones derivadas del

- Plan Estratégico, en que las líneas se van a mantener para el periodo 2013-2017. Repasó las acciones que se han llevado a cabo para desarrollar este plan estratégico, haciendo especial énfasis en facilitar e incorporar los jóvenes profesionales a nuestra sociedad para que ayuden al relevo generacional. Para ello se aprobó en Junta Directiva y la Asamblea así lo ratificó, una cuota de 25 euros para los socios de menos de 35 años.
- Por último destacó la constitución de la Plataforma Nacional de I+D en Protección Radiológica, PEPRI, creada a partir del grupo de trabajo sobre I+D de la SEPR constituido en abril de 2013. La Asamblea constituyente se celebró el día 3 de julio y en ella se aprobaron la Visión y los estatutos. Se aprobó la formación del primer consejo gestor (18+2 miembros) quedando designado Francisco Fernández como presidente y Pío Carmena como secretario. La SEPR ejercerá las funciones de Secretaría y mantendrá la página web de la misma como una sección de la de la Sociedad
- - **Informe de la tesorera:** en ausencia de la tesorera, Elena Alcaide, Eduardo Gallego presentó los informes económicos correspondientes al cierre de cuentas del año 2013 y los presupuestos para el 2014. Ambos fueron aprobados en la Asamblea por unanimidad.
- - **Informe de la secretaria general:** la secretaria, Beatriz Robles, mostró los cambios, desde la última Asamblea General, en el número de socios de la Sociedad, que tiene en la actualidad 665.
- La secretaria presentó la nueva base de datos de socios que se está elaborando y que podrá ser cumplimentada por los socios accediendo a través del Área de Socios de la página web. De esta forma, se conseguirá unificar los datos de los socios en una sola base de datos y que sean los propios interesados los que actualicen sus datos cuando lo crean conveniente. Además, se aprovechara esta circunstancia para solicitar el BIC y el IBAN que son necesarios en la actualidad para poder domiciliar los pagos de las cuotas.

*Beatriz Robles
Secretaria General de la SEPR*

Primera reunión del Consejo Gestor de PEPRI

El pasado 9 de octubre se celebró en Barcelona la primera reunión del Consejo Gestor de la Plataforma Nacional de I+D en Protección Radiológica PEPRI. La reunión tuvo lugar en la sede del Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental de la Generalitat de Catalunya (CREAL), coincidiendo con un Seminario de la plataforma europea Melodi. Bajo la coordinación del profesor Francisco Fernández Moreno, presidente de PEPRI, y de Pío Carmena, secretario de la plataforma, participan en la reunión representantes del Hospital La Fe de Valencia, Ciemat, CREAL, Instituto de Salud Carlos III e Instituto Ramón y Cajal de Investigación Sanitaria. De las universidades asistieron

- representantes de la Rovira y Virgili de Tarragona, Autónoma de Barcelona, Politécnicas de Madrid, Cataluña y Sevilla. Asimismo participaron representantes de Unesa, Enresa, Tecnatom, ARRAELA y el CSN. Por parte de la SEPR participó la vicepresidenta Mercè Ginjume.
- En esta reunión se constituyó formalmente el Consejo Gestor, se informó sobre las actividades relacionadas con los programas europeos y se revisaron los resultados del cuestionario enviado a los miembros de PEPRI para recopilar las actividades y recursos dedicados a la I+D en protección radiológica en nuestro país.
- Con un nivel del 70% de respuestas recibidas, se concluye de forma preliminar que en el periodo 2009-2014 en España se han desarrollado 246 proyectos de I+D en Protección Radiológica.

gica, dedicándose del orden de 6 millones de euros anuales, 83% procedente de fondos externos y 17% de financiación propia de los centros. De estos fondos externos, 34% procede de programas europeos, 24% del Plan Nacional y 22% del CSN. Estos datos deben ser revisados, ya que se han identificado algunas inconsistencias en las respuestas de los cuestionarios que deben corregirse.

En la reunión se acordó crear un grupo de trabajo *ad hoc*, dependiente del Consejo Gestor, para elaborar una propuesta de Plan Nacional de I+D en protección radiológica, que recoja las prioridades científico-técnicas y sociales en este área. Para ello, se recopilará la información sobre los proyectos en curso, lo que permitirá identificar las carencias existentes. Se elaborará una relación de agentes nacionales implicados en las actividades de I+D en protección radiológica. Finalmente se recopilará la información sobre las infraestructuras existentes en los diferentes grupos de investigación en España, para ello se utilizarán como ejemplo las bases de datos de infraestructuras desarrolladas por las plataformas europeas de protección radiológica. El objetivo es poder presentar este Plan de I+D en Protección Radiológica en el Congreso conjunto de la SEPR y SEFM, que se celebrará en Valencia del 23 al 26 de junio del 2015.

La próxima reunión del Consejo Gestor de la PEPRI se celebrará en Sevilla, por invitación de su Universidad, el 26 de febrero de 2015.

Más información de PEPRI en 

Comité de Redacción

40ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española

Entre los días 1 y 3 de octubre se celebró en el Palacio de Congresos de Valencia la 40ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española, con la particularidad de que este año se cumple el 40º aniversario de dicha Sociedad. El programa de los tres días de trabajo contempla sesiones técnicas, plenarios, monográficas y cursos en los que se habló de uno de los grandes problemas de la producción de energía eléctrica: su dificultad de almacenamiento; así como del programa nuclear chino; de las nuevas estrategias en la gestión de emergencias y de las técnicas que se aplican actualmente para residuos de



La alcaldesa de Valencia, Rita Barberá fue la encargada de inaugurar la 40ª Reunión Anual de la SNE.

desmantelamiento y de operación, basadas en plasma y en la desclasificación de componentes metálicos.

La conferencia inaugural, estuvo a cargo del periodista y escritor Francisco Pérez Puche, lleva por título: Valencia, la ciudad que quiere que la quieran, ya que a pesar de los avatares de la crisis, se ha convertido en una ciudad de primer orden en lo turístico. El broche final a este encuentro fue una sesión especial dedicada a los 40 años de la Sociedad Nuclear Española, que quiere conmemorar este hito repasando la evolución y logros pasados y las perspectivas de futuro.

Se ofreció un concierto en el Salón de Actos del Ateneo Mercantil de Valencia, una Cena Oficial en el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe, visitas para acompañantes, la conferencia Women in Nuclear (WiN) o el curso básico de Ciencia y Tecnología Nuclear impartido nuevamente por Jóvenes Nucleares.

Durante el congreso también tuvo lugar, en paralelo, una Exposición Comercial, con presencia de las empresas y entidades nacionales e internacionales que dieron a conocer a los asistentes los productos, avances tecnológicos y servicios que ofrecen sus respectivas organizaciones en este ámbito.

Comité de Redacción

NOTICIAS de MUNDO

41ª Reunión Anual de la Sociedad Europea para la Investigación en Radiación

Entre los días 14 y 19 de septiembre de este año tuvo lugar en la ciudad de Rodas (Grecia) la 41ª Reunión Anual de la Sociedad Europea para la Investigación en Radiación (ERRS) organizada conjuntamente por dicha sociedad y por el Centro Nacional de Investigación Científica *Demokritos* (Grecia), la Universidad de Essen (Alemania) y la Universidad Nacional Técnica de Atenas (Grecia). El objetivo del programa científico fue cubrir las principales disciplinas relacionadas con las radiaciones incluyendo la física, química, biología, medicina, radiobiología y protección radiológica.

- La reunión se estructuró en conferencias magistrales y sesiones plenarias para posteriormente dividir la temática en sesiones paralelas. A lo largo de los cinco días se presentaron aproximadamente 100 trabajos y se expusieron más de 140 pósters.
- Además, se concedieron 14 premios a jóvenes investigadores.
- En la página web www.err2014.gr está disponible el libro con los abstracts de todas las comunicaciones. La temática tratada giró principalmente en torno a los efectos de la radiación ionizante y no ionizante en los sistemas biológicos. Las conferencias magistrales sintetizaron y recordaron conceptos básicos de la interacción de las radiaciones con el material biológico y plantearon retos futuros que dirigen las sesiones de cada día.

En la primera conferencia magistral, el Dr. Georgakilas (Universidad Nacional Técnica de Atenas) hizo un repaso a cerca de qué es sabido y qué no sobre la inducción y reparación de lesiones radioinducidas en el ADN y dio paso a la sesión plenaria que trató temas relacionados con el estrés oxidativo y daño complejo del ADN, como la modulación del estado redox en células tumorales, la prevención del daño directo del ADN mediante radioprotectores o modelos para evaluar la capacidad de reparación de las roturas de doble cadena. A continuación, las cuatro sesiones paralelas se estructuraron alrededor de la radiación de alta LET, el daño en el tejido sano, radiosensibilidad individual e inflamación, la radiación de alta LET relacionada con la terapia con partículas y los biomarcadores relacionados con la dosimetría biológica.

En la segunda jornada, inaugurada por el Dr. Iliakis (Universidad de Duisburg-Essen), se profundizó en temas relacionados con la reparación del daño radioinducido en la molécula de ADN. Durante este día se organizó una sesión paralela sobre las radiaciones no ionizantes, campos electromagnéticos y radiaciones ultravioleta, en la que se hizo hincapié en la necesidad de llevar a cabo más estudios experimentales para caracterizar de forma replicable los posibles efectos de estas energías en los sistemas biológicos, como por ejemplo, en el sistema nervioso. Al final de las sesiones, los integrantes de la red RENE *Realizing the European Network of Biodosimetry*, en la que participan tres centros españoles (Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Universidad Autónoma de Barcelona y Hospital Universitario y Politécnico La Fe), mantuvieron una reunión informal para actualizar los últimos noticias de la red y planificar las siguientes actuaciones a llevar a cabo para alcanzar los objetivos de su proyecto.

En el Ecuador de la Reunión las sesiones se orientaron hacia temas relacionados con el cáncer y las radiaciones ionizantes. La conferencia magistral del Dr. Streffer (Universidad Clínica de Essen) versó sobre los fenómenos de la inestabilidad genética y el papel que éstos juegan en la inducción del cáncer. Las sesiones paralelas acogieron por un lado trabajos a cerca de la señalización en células tumorales sometidas a radiación ionizante y estudios en células madre y por otro lado, trabajos relacionados con efectos de las bajas dosis y efectos no dirigidos. En una sesión se trataron varios temas como las posibles vías de modificación de las condiciones de la hipoxia tumoral y apoptosis para incrementar los efectos de la radioterapia, la hipótesis de la inmunovigilancia tumoral o la creación de modelos de células embrionarias humanas para evaluar el riesgo de la exposición a radiación ionizante durante el inicio del desarrollo embrionario. En la sesión paralela, se siguió remarcando el desconocimiento y falta de claridad a cerca del impacto de las bajas dosis en los tejidos sanos y su relación con los cánceres secundarios. Todos los ponentes coincidieron en la necesidad de seguir realizando estudios en este sentido dado el incremento de población que se expone a bajas dosis de radiación ionizante debido, por ejemplo, al uso extensivo de radioisótopos en imagen médica o a la introducción de nuevas técnicas como la terapia de arco volumétrica modulada.

Continuando con la temática del cáncer, la cuarta jornada se inició con un resumen a cerca del progreso y de las perspectivas de la radiobiología en los tejidos sanos en el ámbito de la on-

• cología radioterápica. El Dr. Wolfgang Dörr de la Universidad de Viena remarcó que los estudios en la patogénesis molecular de los efectos de la radiación ionizante nos permitirán identificar biomarcadores capaces de predecir la respuesta individual de los pacientes al tratamiento, consiguiendo así estrategias de profilaxis y/o mitigación de los efectos adversos en la oncología radioterápica. Con esta introducción, la sesión plenaria acogió trabajos relacionados con la respuesta tumoral a la radiación, biomarcadores capaces de reflejar el daño *in vivo* y estrategias radiosensibilizantes. En una de las sesiones paralelas se recaló la necesidad de trasladar los biomarcadores de exposición hacia la gestión médica en caso de accidentes radiológicos ya que en ese caso, es esencial identificar a aquellos individuos que puedan desarrollar un síndrome de irradiación aguda y en los casos en los que los dosímetros físicos no existen, la dosimetría clínica y biológica juega un papel fundamental. En la última sesión paralela se presentaron estudios de efectos no cancerígenos como daño cardiopulmonar, enfermedades circulatorias, inflamación y alteración del sistema inmune.

• Para clausurar la 41ª Reunión, se programaron ponencias que dibujaron los trazos más relevantes a cerca de cuánta investigación se necesita todavía en el campo de la protección radiológica, tratando temas como la armonización en Europa para la investigación de bajas dosis, la estandarización de protocolos de biodosimetría en casos de emergencias o estudios prospectivos en zonas de pruebas nucleares para evaluar los efectos de la exposición a radiación ionizantes relacionados o no con el cáncer.

• Los organizadores de la presente reunión manifestaron su satisfacción por la gran acogida que tuvo y el esfuerzo de los asistentes para acudir desde diferentes países de todo el mundo y de forma recíproca, se observó la satisfacción de los participantes por la organización del programa científico y la elección del emplazamiento de la reunión.

• *Dra. Natividad Sebastià, Instituto de Investigación Sanitaria la Fe (IISLAFE) y Dra. Alegría Montoro, Hospital Universitario y Politécnico la Fe.*

Tercera Conferencia Internacional sobre Radioecología y Radiactividad Ambiental (ICRER)

• Los días 7-12 de septiembre de 2014 se ha celebrado en Barcelona la tercera Conferencia Internacional sobre Radioecología y Radiactividad Ambiental (ICRER).

• La conferencia estuvo organizada por la Autoridad Reguladora en Protección Radiológica noruega (NRPA) y del Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear francés (IRSN), contando con la colaboración de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR), la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), la Unión Internacional de Radioecología (IUR), el Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico (AMAP), la Alianza Europea de Radioecología (ALLIANZA), la revista científica *Journal of Environmental Radioactivity* (JER) y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

• La conferencia, que se celebra cada tres años, tiene como objetivo principal revisar y discutir los avances que se hayan

producido en el área de la radioecología y disciplinas afines. La ICRER celebrada en 2014, ha cubierto temas que van desde la adquisición de conocimientos científicos básicos, a la identificación de nuevas necesidades sociales y las prescripciones técnicas de los reguladores y la industria. En estos temas se incluye la evaluación de las consecuencias de las diferentes fuentes de radiactividad: industrial, natural (aumentada) accidental y potencial. Otras áreas de interés son el diseño de rutinas para la preparación de la emergencia, así como el apoyo para que se desarrollen regulaciones y leyes que protejan al hombre y a los ecosistemas de los efectos perjudiciales de la radiación ionizante. La conferencia ha sido un foro clave en el que los investigadores, la industria, los reguladores y los expertos han podido compartir conocimientos y discutir necesidades en el área de la radioecología y la radiactividad ambiental.

Se recibieron más de 200 trabajos, los cuales fueron presentados bien como presentación oral, como póster presentado oralmente o como póster en la exhibición. La conferencia se estructuró en las siguientes sesiones:

- Sesión 1. Legado nuclear.
- Sesión 2. Caracterización y evaluación del riesgo.
- Sesión 3. Preparación, rehabilitación y gestión de las emergencias.
- Sesión 4. NORM, incluyendo NORM tecnológicamente aumentados procedente de la industria y radón.
- Sesión 5. Gestión y almacenamiento de residuos radiactivos.
- Sesión 6. Especiación de radionucleidos y transferencia ecológica.
- Sesión 7. Sensibilidad radioecológica en medio ambientes extremos.
- Sesión 8. Protección del medio ambiente y gestión de riesgos.
- Sesión 9. Efectos radiobiológicos y de múltiples factores de estrés.
- Sesión 10. Lecciones aprendidas del accidente de Fukushima
- Sesión 11. Vigilancia radiológica ambiental (monitorización) y metrología.

A la Conferencia ICRER asistieron alrededor de cuatrocientos investigadores de cuarenta y seis países, lo que pone de manifiesto la relevancia del evento para todos aquellos que trabajan en el área de la radioecología y la radiactividad ambiental. La próxima conferencia ICRER se celebrará en el año 2017, en un sitio aún por determinar.

Los resúmenes de los trabajos presentados, así como el programa y otras informaciones sobre la conferencia, están disponibles en la página web de ICRER: 

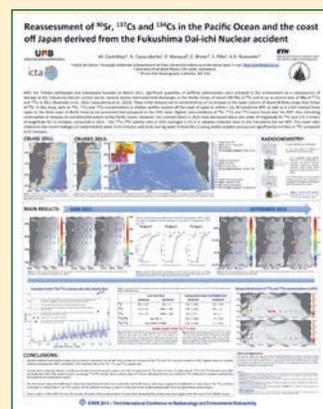
Almudena Real
Miembro del Comité Científico de ICRER

La Alianza Europea de Radioecología concede por primera vez el premio al mejor póster presentado en la Conferencia Internacional sobre Radioecología y Radioactividad Ambiental, ICRER

La Alianza Europea Radioecología se estableció en 2009 con la firme convicción de sus ocho organizaciones fundadoras

- de que trabajar de manera coordinada, aunando sus esfuerzos, mejoraría la competencia de la ciencia de radioecología en Europa.

- Desde que en 2012 la Alianza se constituyó oficialmente como Asociación, ha habido un aumento importante en el número de miembros, contando en la actualidad con 20 organizaciones pertenecientes a 14 países (Alemania, Bélgica, Croacia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Kazajistán, Noruega, Portugal, Polonia, Suecia y Reino Unido).



- El objetivo principal de la Alianza Europea de Radioecología es fortalecer progresivamente la coordinación e integración de la investigación en el campo de la radioecología a nivel nacional, europeo e internacional. La integración de la comunidad de radioecología es un aspecto clave de cara al próximo programa marco Europeo de Euratom *Horizonte 2020*.

- Además, la Alianza tiene el objetivo de actuar como una plataforma de investigación y en este sentido ha desarrollado, en colaboración con los proyectos europeos STAR y Comet, una Agenda Estratégica de Investigación (SRA, de sus siglas en inglés *Strategic Research Agenda*) en Radioecología. Dicha SRA identifica tres desafíos: (1) Para predecir la exposición humana y de la vida silvestre con mayor fuerza mediante la cuantificación de los procesos clave que más influyen en las transferencias de radionucleidos; (2) Para determinar las consecuencias ecológicas en condiciones de exposición realistas y (3) Para mejorar la protección del medioambiente mediante la integración de las distintas áreas de conocimiento de la radioecología. Dentro de estos tres retos, se han identificado 15 líneas de investigación. Después de un proceso de consulta pública entre la comunidad científica, los reguladores, la industria y otras partes interesadas, se desarrolló una segunda versión de la SRA, teniendo en cuenta las observaciones y sugerencias recibidas. Esta SRA y los resultados de la consulta pública están disponibles en 

- Para la Alianza, y para la comunidad científica de Radioecología, un pilar imprescindible para su sostenibilidad son los jóvenes científicos que comienzan su carrera profesional en este área, ya que sólo ellos podrán continuar la labor iniciada hace ya muchas décadas y mantener el conocimiento y las capacidades adquiridas.

- Por ello, y con objeto de motivar a los jóvenes investigadores en radioecología, la Alianza decidió en su Asamblea General de 2014 conceder un premio al mejor póster presentado en la Conferencia Internacional sobre Radioecología y Radioactividad Ambiental, ICRER, celebrada en Barcelona del 7 al 12 de septiembre de 2014. Se creó un comité, presidido por la Dra. Tarja K. Ikäheimonen (STUK, Finlandia), para evaluar todos los pósteres presentados en ICRER (más de 200). Para realizar la elección se analizaron los trabajos enviados y se evaluaron *in situ* los pósteres.

El premio de la Alianza al mejor póster presentado en ICRER fue concedido a Maxi Castrillejo Iridoy, de la Universidad Autónoma de Barcelona, por el trabajo *Reassessment of Strontium-90 in the Pacific Ocean and the Coast of Japan derived from the Fukushima Dai-Chi nuclear accident*, realizado en colaboración con ETH-Zurich en Suiza y la Woods Hole Oceanographic Institution, de EE.UU.

El premio, dotado con 2.000 €, fue entregado antes de la ceremonia de clausura de la conferencia ICRER, por el vicepresidente de la Alianza Europea de Radioecología, el Dr. Per Strand. Entre las razones que llevaron al comité evaluador a conceder el premio al mejor póster al realizado por Maxi Castrillejo y colaboradores, destacan el hecho de que el tema del trabajo es, y continuará siendo en el futuro, de gran relevancia en Radioecología. También se consideró importante que el trabajo hubiera sido realizado en colaboración por grupos de investigación de tres países, integrando las capacidades de estos equipos. Otro aspecto destacado es que el trabajo presentado estaba muy bien estructurado en el póster, lo que facilitaba su comprensión. Se destacó también el hecho de que el primer autor estuviera presente durante las sesiones dedicadas a visitar los pósteres, para resolver las cuestiones planteadas por los participantes en ICRER. Por último se resaltó el hecho de que Maxi Castrillejo sea un joven investigador, y como tal forma parte de una generación que son el futuro de la Radioecología.

*Almudena Real
Secretaría de la Alianza Europea de Radioecología*

Reunión anual del Comité 5 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica

Los días 6 y 7 de septiembre de 2014 tuvo lugar en Barcelona la reunión anual del Comité 5 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP).

Como es habitual en las reuniones anuales, el Comité repasó el trabajo que ha realizado en el último año, así como las principales actividades realizadas tanto por otros comités y la Comisión principal de la ICRP, como por otros organismos o programas nacionales e internacionales. Finalmente el comité estableció el plan de trabajo a realizar hasta la próxima reunión.

Se repasaron los temas tratados en la última reunión de la Comisión Principal (CP) en abril de 2014 en Moscú, entre los que destaca el esfuerzo que está haciendo la ICRP para aumentar sus ingresos, manteniendo su independencia. La CP adoptó el Código de ética de la ICRP, que se hará público muy pronto a través de su página web. También se aprobaron tres publicaciones para su consulta pública: *Specific Absorbed Fractions for Internal Emitters in the Adult Reference Computational Phantoms*, *Stem Cell Biology in Relation to Carcinogenic Radiation Risk*, y *Radiological Protection in Cone Beam Computed Tomography*. Como es habitual los documentos se podrán descargar en la página web de ICRP pudiéndose mandar los comentarios a través de dicha página. La publicación *Radiological Protection against Radon Exposure*, que ya pasó por consulta pública, fue aprobada por la CP para su edición.

Después del Segundo Simposio Internacional sobre el sistema de protección radiológica de ICRP, celebrado en Abu Dhabi en octubre de 2013, se realizó un cuestionario para conocer la opinión de los asistentes. Los resultados han sido muy positivos y el 91% de los encuestados estaban "muy" o "extremadamente" satisfechos con su experiencia global en el simposio. Los trabajos del segundo simposio se publicarán en los Anales de la ICRP, los cuales gracias al apoyo de varias instituciones alemanas (Ministerio de Medio Ambiente de Alemania, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear) podrán ser descargados de forma gratuita.

En el repaso de las actividades relacionadas con la protección radiológica del medio ambiente que han tenido lugar a nivel nacional e internacional, desde la última reunión del Comité 5 en octubre de 2013, destacan:

- **Taller internacional de dosimetría de la biota**, organizado por la red de excelencia en radioecología europea STAR en junio de 2014 en el Ciemat, Madrid. El taller contó con 30 participantes de 12 países de todo el mundo, entre los que se encontraban grandes expertos en distintas áreas de la dosimetría de la biota. Toda la información sobre el taller (agenda, presentaciones, el resultado de las sesiones de discusión) están disponibles en [este enlace](#).
- **Taller internacional sobre Armonización a nivel mundial de las redes de radioecología**: el lanzamiento de un "Foro", organizado por la Unión Internacional de Radioecología (IUR) en junio en Aix en Provence (Francia). En este taller estuvieron representadas las organizaciones internacionales (entre ellas la ICRP), europeas y nacionales que realizan actividades en radioecología. La propuesta de IUR es crear un foro que coordine y fomente las actividades de radioecología que se realizan en todo el mundo. La información del taller está disponible en [este enlace](#).
- **Programa Modaria del OIEA**. Tres grupos de trabajo de Modaria están centrados en temas relacionados con la protección del medio ambiente: WP4 (*Analysis of radioecological data in IAEA Technical Reports Series publications to identify key radionuclides and associated parameter values for human and wildlife assessment*), WP8 (*Biota modelling: Further development of transfer and exposure models and application to scenarios*) y WP9 (*Models for assessing radiation effects on populations of wildlife species*). Toda la información sobre las actividades y resultados de estos grupos de trabajo se encuentran disponibles en la página web de Modaria [este enlace](#).
- **Proyecto TREE del Reino Unido**. Este proyecto comenzó en 2014 y está previsto que dure cinco años. En él se están realizando tanto estudios de laboratorio como en la zona de exclusión de Chernobyl sobre: (1) transferencia de radionucleidos inusuales como Se, Tc (relevantes para el almacenamiento de residuos); (2) conocimiento de los parámetros de transferencia; (3) una dosimetría más realista en flora y fauna; (4) efectos biológicos de la radiación. Se puede encontrar más información sobre el proyecto en: [este enlace](#).
- **Japón**. Varias organizaciones japonesas están recogiendo muestras de flora y fauna en áreas muy próximas a la central nuclear de Fukushima. Están comparando los datos obtenidos en estas muestras con los de la vigilancia radiológica ambiental.

Respecto al trabajo llevado a cabo por el Comité 5, siguen en marcha los grupos de trabajo sobre *Eficacia biológica relativa y los animales y plantas de referencia* y *Una dosimetría más realista para especies no humanas*. Ambos grupos están centrados en la elaboración de una publicación para 2015 sobre los respectivos temas.

A principios de 2014 se publicó la ICRP-124 (*Protection of the Environment under Different Exposure Situations*), como resultado del trabajo realizado por los comités 4 y 5 de ICRP. En dicha publicación se da un paso más en el desarrollo del sistema de protección radiológica del medioambiente, ya que se describe cómo aplicar el sistema basado en animales y plantas de referencia a las tres situaciones de exposición a radiación consideradas en el sistema de protección radiológica de ICRP.

Respecto al plan de trabajo del Comité 5, este se centra en dos aspectos principales:

- (1) Aplicación del sistema de protección radiológica del medioambiente de ICRP. En casos reales de situaciones de exposición planificada, existente y de emergencia, se realizarán ejercicios prácticos sobre la aplicación de la aproximación de los animales y plantas de referencia (RAP) desarrollado por ICRP.
- (2) Recopilar y analizar la nueva información disponible tras las publicaciones 108 y 114 de la ICRP (2008, 2009) sobre los animales y plantas de referencia, con el objetivo de recomendar valores de referencia para cada uno de los 12 RAP considerados por la ICRP. Se analizará la nueva información disponible para los 12 RAP sobre factores de transferencia, dosimetría y efectos biológicos, para posteriormente elaborar monografías de los diferentes RAP (o grupos de RAP) que incluyan información sobre: ciclo vital y biología, dosimetría, dosis de radiación de fondo, factores de transferencia y efectos biológicos.

Resaltar que los miembros del Comité 5 también están participando en grupos de trabajo creados por otros comités de ICRRP, como en el TG91 sobre inferencia del riesgo de la radiación en exposiciones a dosis y tasas de dosis bajas con fines de protección radiológica y en el TG92 sobre terminología y definiciones. Ambos grupos fueron creados a finales de 2013.

La próxima reunión del Comité 5 tendrá lugar en Seúl (Corea), coincidiendo con el Tercer Simposio Internacional de la ICRP que se celebrará del 20 al 22 de octubre de 2015. Toda la información sobre el simposio está disponible en 

Almudena Real
Secretaría del Comité 5

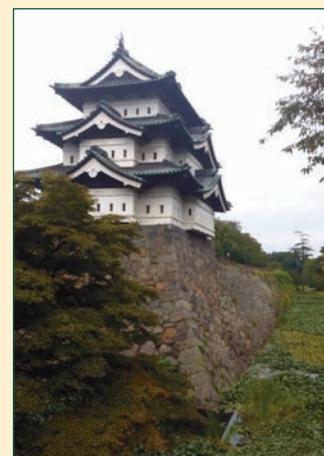
Natural Radiation Environment (NRE) IX

Durante los días 21 al 26 del pasado mes de septiembre, se celebró en Hirosaki (Japón) la novena edición del Simposio Internacional *Natural Radiation Environment* (NRE). Dicho simposio ha estado organizado por el profesor Tokonami, del Instituto de Radiaciones de la Universidad de dicha ciudad, y ha aglutinado a muchos de los más importantes expertos en radiaciones naturales del mundo. Asistieron al evento más de 200 participantes, provenientes de más de 30 países distintos, que realizaron más de 100 presentaciones en varias sesiones

- paralelas, exponiéndose
- además otros más de 100
- trabajos en forma de póster.
- Entre ellos, la participación
- española, que contó con
- personal del Ciemat, de la
- Universidad de Extremadu-
- ra y de la Universidad de
- Cantabria, fue de seis tra-
- bajos (cuatro orales y dos
- pósters), y la presidencia de
- dos sesiones.

- Esta serie de simposios
- comenzó el año 1963 en
- la Universidad de Houston
- (Texas, EE UU), sin una pe-
- riodicidad estable, pero sin
- embargo, perviviendo du-
- rante los más de 50 años

- en los que se viene celebrando. Los temas tratados en torno a
- las radiaciones naturales han evolucionado durante este tiempo,
- englobando no solo aspectos de protección radiológica ante
- estas radiaciones, sino todas las posibilidades de investigación
- que dichas radiaciones presentan, siendo, incluso en la actuali-
- dad, uno de los principales "instrumentos" de investigación de
- partículas de altas energías. Uno de los temas recurrentes en
- esta serie de reuniones es el radón y su problemática asociada,
- que de hecho ha aglutinado la mayor parte de las presentacio-
- nes del simposio.



Castillo medieval, símbolo de la ciudad de Hirosaki.



Organizadores del próximo NRE X en Madrid en 2018.

- Los distintos simposios se celebraron en Houston (Texas,
- 1963, 1972 y 1978), Lisboa (Portugal, 1987), Salzburgo (Aus-
- tria, 1991), Montreal (Canadá, 1995), Rodas (Grecia, 2002)
- y Buzios (Brasil, 2007). Ésta, en 2014, ha sido la primera vez
- en la historia en la que un país asiático ha hospedado el NRE,
- lo que marca un hito especialmente importante para el simpo-
- sio. Evidentemente la celebración de esta edición ha venido
- marcada por los sucesos de Fukushima, al haberse previsto
- inicialmente para 2011 y debido cancelarse en dicha fecha
- por la tragedia del *tsunami* y posterior accidente nuclear. Por
- ello, el acontecimiento fue retrasado hasta 2014, incluyéndose
- además una sesión especial dedicada al accidente nuclear de



El profesor Alejandro Martín presidiendo una de las sesiones del NRE IX dedicadas al radón.

Fukushima-Daiichi. La evolución de participantes a los diferentes certámenes ha sido dispar: desde alrededor de 100 asistentes en alguna ocasión, a los más de 300 que se dieron cita en la edición de 1995.

Debe destacarse que durante la celebración del NRE IX se solicitó al Ciemat la posibilidad de organizar para 2018 el próximo Simposio Internacional, cuyos representantes aceptaron el reto de llevarlo a cabo en dichas fechas en las instalaciones del centro en Madrid, recibiendo el apoyo explícito del Grupo Experimental de Radiaciones Nucleares (GERN) de la Universidad de Extremadura para que dicha edición (NRE X) resulte un éxito.

Para más información debe consultarse la web del simposio: 

Juan Carlos Mora, Beatriz Robles (CIEMAT) y Alejandro Martín (GERN – U. Extremadura)

Primera toma de muestras en el observatorio de radioecología europeo de Katowice

Dentro del proyecto Europeo de Radioecología STAR, que dio comienzo en 2010, se analizaron diversos emplazamientos contaminados con radionucleidos naturales o artificiales, cubriendo además distintos ecosistemas, que pudieran servir como laboratorios en los que realizar experimentación relevante a largo plazo. En ellos se buscaron las características necesarias para poder



Primera visita al Observatorio Europeo de Radioecología en Katowice (Polonia) por miembros de las instituciones integrantes de COMET.



Lago Rontok, parte del Observatorio, al que se vertían las aguas extraídas desde las minas de carbón.

investigar los aspectos más importantes en la radioecología en la actualidad, como los efectos en la biota o las sinergias con otros contaminantes. Una selección realizada entre los integrantes de STAR dio como resultado la elección de la zona contaminada de Chernobil y de la cuenca carbonífera de la Alta Silesia, a los que se pretende añadir, a causa del accidente nuclear de 2011, la zona contaminada de Fukushima.

En el proyecto COMET se está avanzando en diversos aspectos relacionados con la idea de estos observatorios, incluida la creación de un protocolo que permita su uso por cualquier laboratorio interesado, una caracterización completa que incluya aquellos aspectos de interés para la comunidad científica en radioecología y la realización preliminar de experimentos encaminados a comenzar con las actividades investigadoras iniciales (IRA), también definidas en COMET.

En particular, se está definiendo un IRA relacionado con los radionucleidos naturales (NORM) que será aplicable en el observatorio polaco, donde el contaminante principal es el radio producido en la extracción del agua desde las minas de carbón.

Si bien la selección de los emplazamientos se realizó utilizando toda la documentación enviada desde los distintos laboratorios, se consideró necesario realizar una visita por parte de los distintos institutos que participan en COMET para poder discutir qué aspectos debían ser investigados inicialmente, incluyendo aquellos aspectos sobre la caracterización que no han sido llevados a cabo hasta el momento.

Durante los días 19, 20 y 21 de agosto tuvo lugar dicha visita y se discutieron las muestras necesarias para llevar a cabo estas tareas, comenzando los muestreos de forma preliminar por parte de tres de las instituciones participantes en COMET.

Juan Carlos Mora (CIEMAT – miembro de STAR, COMET y ALLIANCE)

Reunión sobre la Intercomparación Eurados de ejercicios de bioensayo para situaciones de emergencia

Con motivo de la realización de la Intercomparación Internacional Emergency Bioassay de medidas *in vitro* de actividad en excretas en escenarios de accidente bajo el auspicio del Working Group7 "Internal Dosimetry"- Task 7.4 de Eurados, se celebró el

pasado 29 de septiembre en el Ciemat una reunión con el fin de poner en común los procedimientos aplicados, así como los resultados obtenidos.

Se trataba de un ejercicio inusual destinado a realizar medidas de actividad en excretas en situación de emergencia, en la que la rapidez y seguridad en las medidas son las mejores estrategias a emplear en un escenario en el que las altas dosis y el posible elevado número de personas expuestas pudieran ser característicos. El objetivo último establecido desde Eurados era validar los métodos indirectos desarrollados para responder a una hipotética situación de emergencia, comparar los protocolos empleados y/o desarrollados por los diferentes participantes y, por último, compartir el conocimiento y la práctica conseguida.

El ejercicio de intercomparación, organizado por *Health Canada*, constaba de dos grupos de muestras de orina a analizar (humana o de ratas), en las que se cuantificaban diversos radionucleidos importantes desde el punto de vista radiotóxico: Pu-239, Am-241, Ra-226 y Sr-90. Los laboratorios participantes procedentes de Francia, Reino Unido, Canadá, España, Italia, Bélgica y Viena, dispusieron de aproximadamente dos meses para la ejecución del ejercicio.

Durante el *Meeting* en Madrid, algunos de los responsables de los nueve laboratorios de medidas indirectas participantes en el ejercicio expusieron los diferentes protocolos "adaptados"

- a la situación de emergencia. Ciertas técnicas/métodos de preparación de muestra y/o medida son utilizadas de modo rutinario, mientras que otros laboratorios emplearon técnicas relativamente modernas. Merece la pena reseñar que la mayoría de los resultados obtenidos cumplieron con los criterios de exactitud y precisión establecidos en la norma ISO 28218. Únicamente cabe considerar en primer lugar, que los mayores problemas de análisis se encontraron en la cuantificación de actividad de las muestras que contenían Ra-226 debido a la falta de experiencia o capacidad para la medida de este radionucleidos por parte de los laboratorios, y por otra parte, que el tiempo de ejecución fue en algún laboratorio superior al deseable en una situación como la de estudio.

- Asimismo, un representante del organismo regulador alemán BfS presentó un nuevo ejercicio de intercomparación de medidas *in vitro* en emergencias para la cuantificación de Am-241, Cm-244 y Cf-252, confirmándose así la continuidad de esta actividad. Para finalizar únicamente resta destacar el fluido intercambio de información y conocimiento sobre los procedimientos de medida entre los participantes, consiguiendo que la jornada fuera un éxito y cumpliendo también con los objetivos previamente establecidos por el organizador Eurados.

Inmaculada Sierra
Responsable Laboratorio Bioeliminación Ciemat



The impact of recent releases from the Fukushima nuclear accident on the marine environment

The proposal "The impact of recent releases from the Fukushima nuclear accident on the marine environment" is built on the collaboration of scientists from Spain, US, Belgium, Switzerland and Japan to better understand the sources, fate, transport, bioaccumulation and associated impact of radionuclides from the Fukushima Dai-ichi NPP accident in Japan.

The investigation encompasses the main compartments of a complex marine environment, namely the water column, the seafloor and marine biota living within them. We plan to investigate coastal and offshore sites, participating in two oceanographic cruises in 2014 and 2015 onboard the RV *Shinsei Maru* to be conducted in the most heavily impacted areas identified in our previous studies and allowing a time-series of the changing contamination levels. We will determine the concentrations of a suite of contaminant radionuclides (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , plutonium isotopes, ^{236}U and ^{129}I) in water, suspended matter and bottom sediments, and we will assess the transfer to marine biota (including fish, macroalgae and plankton). This will be accompanied by measurements of other natural radionuclides (i.e. ^{234}Th , ^{210}Pb , Ra isotopes) in order to quantify groundwater fluxes, residence times in the ocean and accumulation and mixing rates in bottom sediments.

- The work shall be instrumental in addressing relevant questions such as: i) Which is the fate of the contamination in the ocean, what fraction of the total releases is stored in marine sediments and what is the aerial extent of the contamination in the seafloor; ii) How much radioactivity is still leaking from the Fukushima Dai-ichi site and which are the mechanisms that govern the releases to the ocean, such as the role of submarine groundwater discharge; iii) To which extent have the concentrations of contaminants in the ocean changed since 2011 and iv) what are the current impacts on marine biota.

- The research team is composed by established researchers at leading institutions, with ample expertise on the subject, qualified technical support, talented young researchers and fully equipped for the analyses of the samples. They include the Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals of the Universitat Autònoma de Barcelona (Pere Masqué, Project leader), Woods Hole Oceanographic Institution, US (Ken O. Buesseler), Belgian Nuclear Research Centre SCK•CEN, Belgium (Jordi Vives i Batlle), ETH-Zurich, Switzerland (Marcus Christl and Nuria Casacuberta), Tokai University, Japan (Jun Nishikawa) and Fukushima University, Japan (Michio Aoyama).

- The results of the project will be published in peer-reviewed journals and presented at international conferences. The project will also serve as a basis for training of young researchers and active participation in outreach activities within and outwith COMET.

Prof. Jordi Vives i Batlle. Senior Researcher
Biosphere Impact Studies Unit. Belgian Nuclear Research Centre SCK-CEN

Proyecto de I+D RATE

Este proyecto se centra en el estudio de lo conocido comúnmente como partículas calientes: agregados de material radiactivo que contienen una alta concentración de actividad y que presentan generalmente un comportamiento muy refractario. Estas partículas pueden estar compuestas por radionucleidos artificiales (actualmente contaminan local o regionalmente zonas de nuestro planeta al haberse formado y diseminado debido a diversos eventos nucleares), o pueden estar formadas por radionucleidos naturales, siendo generadas en los procesos de producción de las denominadas industrias NORM. El estudio se centrará fundamentalmente en partículas de uranio y plutonio.

La posible incorporación a la fauna y a la flora de un ecosistema de radionucleidos originalmente presentes en partículas calientes, y su ritmo posible de incorporación, es desde un punto de vista radioecológico de gran relevancia y necesita ser propiamente evaluado. Este proceso de incorporación no es un proceso continuo y estacionario, pues inicialmente el posible trasvase de radionucleidos desde las partículas al ecosistema en el que se encuentran es muy limitado debido a su carácter refractario, aunque debido a los procesos de erosión y desgaste que afectan a las partículas (actuación de agentes climáticos) se puede incrementar con el tiempo la movilidad y con ello la probabilidad de incorporación de los radionucleidos desde las partículas a la biosfera. Si una parte significativa de los radioisótopos en un ecosistema contaminado está presente en forma particulada, las posibles transferencias de éstos al ecosistema son en principio despreciables hasta que el desgaste, la erosión y la removilización de los radionucleidos asociados a las partículas tiene lugar debido a las acciones tanto bióticas como abióticas por parte del medio en el que se encuentran.

Es por este motivo, por lo que el conocer la relación que existe entre las distintas características de las partículas calientes y los posibles orígenes o fuentes que las introducen en el

- medioambiente, y el correlacionar esas mismas características con las velocidades de erosión y desgaste, así como con los procesos de transferencia al ecosistema en el que se encuentran, es esencial para una correcta evaluación de su impacto radiológico.

- El objetivo principal de este proyecto es obtener conocimiento que permita subsanar los grandes vacíos de información relacionados con los procesos de transformación de las partículas calientes, y la consiguiente liberación de los radionucleidos asociados a las mismas, en ecosistemas que presentan distintas condiciones climáticas, pues ello permitiría reducir drásticamente las incertidumbres asociadas a los impactos ambientales y a la valoración de riesgos asociados con las áreas contaminadas por partículas radiactivas. Para alcanzar esta meta se propone, por un lado, relacionar las características de las partículas calientes con la procedencia de la contaminación (origen) y con el entorno en el que se han liberado. Para esto se necesitan tanto partículas de diferentes áreas contaminadas como recurrir a un gran conjunto de técnicas avanzadas (técnicas analíticas basadas en el uso de aceleradores de partículas, espectrometría gamma de alta resolución, ICP-MS, etc.) para caracterizar esas partículas. A ambas cosas tienen acceso los equipos de investigación y de trabajo que se reúnen en esta propuesta. Y por otro lado, realizar ensayos de laboratorio para simular transformaciones en las partículas en su composición y tamaño, estructura y estados de oxidación, para analizar los efectos sobre las muestras de las condiciones abióticas (por ejemplo, pH, conductividad, etc.) y bióticas (por ejemplo, las debidas a las presencias de microorganismos o a la degradación sufrida tras ser absorbidas por determinados organismos, etc.) del medio.

- El proyecto RATE será desarrollado por un consorcio formado por las siguientes instituciones: Universidad de Sevilla (España), UMB (Noruega), DTU (Dinamarca), Ciemat (España) y ANSTO (Australia)

Rafael García-Tenorio

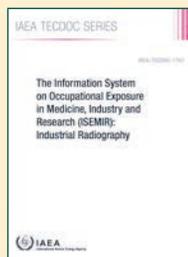
PUBLICACIONES

Publicaciones IAEA

The Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry and Research (ISEMIR): Industrial Radiography. IAEA-TECDOC-1747

El trabajo de radiografía industrial a menudo es realizado bajo condiciones de trabajo difíciles, como en espacios limitados, en frío o calor extremo, o durante la noche. El funcionamiento en tales condiciones adversas podría originar situaciones operacionales en las cuales la protección ocupacional frente a la radiación puede ser comprometida. Este documento presenta las principales actividades del Grupo de Trabajo de Radiografía Industrial, así como los resultados obtenidos cuyo objetivo principal era obtener un escenario de todos los aspectos de la práctica de protección radiológica actual en esta especialidad.

ISBN:978-92-0-107714-1



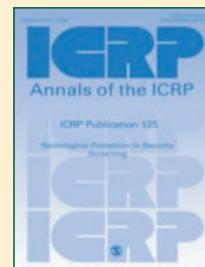
Disponible en:

Publicaciones ICRP

- **Radiological Protection in Security Screening**
D.A. Cool , E. Lazo , P. Tattersall, G. Simeonov, S. Niu
ICRP Publication 125

- El empleo de tecnologías para la realización de rastreos de seguridad en aeropuertos, puertos, fronteras, etc. ha aumentado rápidamente en los últimos años, en concordancia con el incremento de las medidas de seguridad nacional e internacional. Dentro del espectro de tecnologías utilizadas, el empleo de radiaciones ionizantes en dichos rastreos también ha aumentado.

- Este informe proporciona una serie de consejos sobre cómo los principios de protección radiológica recomendados por la Comisión deberían ser aplicados en el contexto de los



rastreo de seguridad con radiaciones ionizantes. Más expresamente, los principios de justificación, optimización y el de limitación de dosis, para situaciones de exposición planificadas, son directamente aplicables al uso de radiaciones ionizantes en los rastreos de seguridad. Además, varios asuntos específicos son considerados en este informe, incluyendo la situación en la cual los individuos pueden ser expuestos por permanecer ocultos ('polizones') en un contenedor de carga que puede ser objeto de un rastreo con radiaciones ionizantes.

ICRP, 2014. Radiological Protection in Security Screening. ICRP Publication 125. Ann. ICRP 43(2).

Radiation Protection Dosimetry

Twelfth international symposium on neutron and ion dosimetry Neudos 12

SPECIAL ISSUE 2014. Volume 161 Issue 1-4 October 2014

El Instituto francés para la Protección Radiológica y la Seguridad Nuclear (IRSN) acogió, del 3 al 7 de junio de 2013, el 12º Simposio sobre Dosimetría de Iones y Neutrones, en cooperación con el Grupo de Dosimetría europeo (Eurados). El lugar de simposio era el Centro de Congresos en Aix-en-Provence. Esta 12ª edición del simposio Neudos sucedía a las celebradas en Sudáfrica, Países Bajos, Suecia y Alemania.

En este número especial de la revista *Radiation Protection Dosimetry* se recogen todos los trabajos presentados al Congreso. Se trata de un total de 102 trabajos agrupados en seis categorías (Aspectos básicos y nuevas tendencias, Instrumentación y técnicas, Campos complejos de radiación en aviación y actividades espaciales, Neutrones y campos complejos de radiación en investigación e industria, Neutrones en la industria, Interfaz entre la física y la biología).

El neutrón y la dosimetría de los iones son muy importantes para objetivos de la dosimetría de neutrones e iones es de gran

- importancia para los objetivos de la protección radiológica en
- varios campos de la actividad humana, como son el empleo
- de aceleradores para la investigación y usos médicos, la operación de reactores e instalaciones de ciclo de combustible y el transporte aéreo que conlleva exposición a rayos cósmicos.
- El objetivo general de los simposios Neudos es compartir el conocimiento, intercambiar experiencias y promover nuevas ideas en estos campos de la ciencia.
- ISSN 0144-8420

Publicaciones AAPM

- **Radiation dosimetry in digital breast tomosynthesis: Report of AAPM Tomosynthesis**
- **Report of AAPM Task Group 223**
- **Ioannis Sechopoulos et al.**

- Las dosis de radiación impartidas en tratamientos y técnicas diagnósticas médicas deben ser conocidas y optimizadas. En particular la tomosíntesis de mama es una novedosa técnica que puede aplicarse a la detección precoz del cáncer de mama. Sus dosis pueden ser superiores a las de la mamografía convencional, si bien su poder diagnóstico está acreditado como superior al de la mamografía clásica. Paradójicamente, esta técnica está comenzando a utilizarse en los programas de detección precoz del cáncer de mama a los que acuden pacientes sanas y asintomáticas. En este escenario, más que nunca, hay que extremar el cuidado y la protección de la mujer.
- Por esta razón, la Asociación Americana de Físicos Médicos, en el Grupo de Trabajo 223 sobre Dosimetría en la Imagen de Mama por Tomosíntesis ha preparado este informe que habla de la dosimetría en la radiología de mama en general, y describe una metodología, y proporciona los datos necesarios, para estimar la dosis glandular media en una adquisición de tomosíntesis.

ISBN: 978-1-936366-40-8

Disponible de forma gratuita en: 



CONVOCATORIAS 2014- 2015

“más información en www.sepr.es”

NOVIEMBRE

- **Jornada científica: Agendas Estratégicas de Investigación en Protección Radiológica - Hacia el Horizonte 2020**

5 de noviembre 2014. 10:00 h. CIEMAT (Madrid).

Más información: 

- **NATO-2014 Preparedness for Nuclear and Radiological Threats**

18-20 de noviembre 2014. Los Angeles (EE.UU.).

Más información: 

- **Jornada Técnica sobre Dosimetría Interna - 2014**

19 de noviembre 2014 - 9:30h. CIEMAT (Madrid).

Organizada por la SEPR en colaboración con el CSN y Tecnatom, con el ánimo de ser una buena ocasión para compartir entre los profesionales de la protección radiológica, las novedades y retos más destacados de esta actividad.

DICIEMBRE

- **International Conference on Occupational Radiation Protection: Enhancing the Protection of Workers - Gaps, Challenges and Developments**

1-5 de diciembre 2014. Viena (Austria).

Más información: 

- **7th Workshop EAN-NORM on Disposal of NORM in EU member states and Topical Day on Building Materials**

2-4 de diciembre 2014. Vlissingen (Holanda).

Más información: 

FEBRERO

- **EURADOS Annual Meeting 2015 - AM2015**

9-12 de febrero 2015. Dubrovnik (Croacia).

Más información: 

ABRIL

- **X Congreso Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica y VI Congreso Iberoamericano de las Sociedades de Protección Radiológica**

12-17 de abril 2015. Buenos Aires (Argentina).

Más información: 

- **International Conference on Individual Monitoring IM2015**

20-24 de abril 2015. Brujas (Bélgica).

Más información:

JUNIO

- **20th International Conference on Radionuclide Metrology (ICRM 2015)**

8-12 de junio 2015. Viena (Austria).

Más información: 

CURSOS 2014 - 2015

NOVIEMBRE

Curso de entrenamiento sobre epidemiología de las radiaciones y dosimetría (DoReMi)

Organizado por: la red de excelencia DoReMi (Euratom), el Centro Helmholtz de Munich y la Universidad de Pavia.

Fechas y lugar: del 3 al 21 de noviembre de 2014 en el Centro Helmholtz, Munich (Alemania).

Objetivo: a los participantes se les introducirá en los métodos generales de epidemiología, medida de la exposición a la radiación, evaluaciones retrospectivas de dosis, cuantificación de los efectos tardíos de la radiación y cálculo de factores de riesgo.

Los participantes pertenecientes a instituciones integradas en DoReMi podrán tener alojamiento gratis. También se cubrirán los gastos relacionados con los desplazamientos relacionados con las visitas y no existirá cuota de inscripción. Tras la finalización del curso se entregará un certificado de asistencia.

Documento de difusión: 

- **Cursos de formación para el personal que dirija y opere instalaciones de radiodiagnóstico médico general (PROINSA)**

Organizado por: Proinsa

Fechas: Dirigir RX: 3 al 7 de noviembre de 2014

Operar RX: 15 al 19 de diciembre de 2014

Titulación exigida:

– Dirigir RX: Licenciatura en Medicina, Veterinaria y Odontología, Diplomatura en Podología.

– Operar RX: BUP, FP-II o equivalente

Documento de difusión y ficha de inscripción: 

- **Protección Radiológica en Industrias NORM (Ciemat y Universidad de Sevilla)**

Organizado por: el Ciemat y la Universidad de Sevilla con la colaboración del CSN, Enresa y la SEPR.

Fechas y lugar: salón de actos del Centro Nacional de Aceleradores, Parque Tecnológico Caruja 93, Calle Thomas Alva Edison nº 7, Isla de la Cartuja. Sevilla. Del 18 al 20 de noviembre de 2014

Objetivo: se dará la información que necesitarán las autoridades de las comunidades autónomas (consejerías de medio ambiente o de industria en cada caso) para exigir a las indus-

trias involucradas en los estudios de evaluación que éstas están obligadas a realizar. Además dará soporte a las propias industrias y empresas que deben realizarlas, así como la información a las UTPR o centros que vayan a realizar dichas evaluaciones. Adicionalmente servirá de punto de encuentro entre todos los actores involucrados.

[Documento de difusión:](#) 

Curso Práctico de Control de Calidad en Radiodiagnóstico para Técnicos Expertos en Protección Radiológica (SARH)

[Patrocinado por:](#) la Sociedad Andaluza de Radiofísica Hospitalaria.

[Fechas, horario y lugar:](#) del 24 al 28 de noviembre de 2014 en horario de mañana y tarde en el Hospital Virgen de la Victoria de Málaga (España).

El curso incluye, como complemento a las sesiones presenciales, una parte online con la finalidad de homogeneizar en lo posible los conocimientos de los alumnos, y de esta forma mejorar el desarrollo y aprovechamiento del curso.

[Objetivo:](#) de acuerdo con la IS-03 del CSN, entre los requisitos para la obtención de reconocimiento como Técnico Experto en Protección Radiológica, se requiere formación mínima en contenidos prácticos. Con este Curso se pretende conseguir que futuros Técnicos Expertos en Protección Radiológica añadan a su currículo los aspectos teóricos y prácticos de la realización de controles de calidad de instalaciones de Radiodiagnóstico, de forma que cuando sean incorporados por los Servicios y Unidades Técnicas de Protección Radiológica, éstos sólo tengan que ponerles al día en lo que se refiere a particularidades en su equipamiento, forma de medir o informar.

[Dirigido a:](#) Técnicos Expertos en PR en activo o candidatas a serlo, técnicos de EVAT, especialistas en Radiofísica Hospitalaria o en proceso de formación y cualquier persona interesada en el control de calidad de RX.

[Titulación mínima:](#) formación profesional de grado superior o equivalente.

[Documento de difusión:](#)  [Página web:](#) 

Cursos de capacitación para supervisores y operadores de instalaciones radiactivas (Control 7 SAU)

[Organizados por:](#) Control 7 SAU

[Fechas:](#)

– Curso Supervisores: 24 a 28 de noviembre de 2014 en Zaragoza o en Madrid (en función de la demanda).

– Curso Operadores: 1 a 5 de diciembre de 2014 en Zaragoza o en Madrid (en función de la demanda).

[Objeto:](#) el objeto de los cursos es formar personas que necesiten tramitar la licencia de operador o de supervisor de instalaciones radiactivas, en las especialidades de Control de procesos y técnicas analíticas y Control de procesos restringido a Equipos de Medida de Densidad y Humedad de Suelos.

[Requisitos mínimos del alumnado:](#)

Operadores: Título de E.S.O. o equivalente.

Supervisores: Título de grado medio, diplomatura.

[Ficha de inscripción:](#)  [Página web:](#) 

DICIEMBRE

European training course in radiobiology. Interindividual variability of radiation-sensitivity: Mechanisms and Biomarkers (Institut Curie & CEA)

[Organizado por:](#) el Instituto Curie y CEA en colaboración con el M2 y la escuela de doctorado Escuela de Oncología (Universidad de París Sur). Patrocinado por el consorcio europeo DoRe-Mi y el Programa de Formación Internacional de Instituto Curie.

[Lugar y fecha:](#) Instituto Curie, Paris (Francia), del 8 al 12 de diciembre de 2014.

La asistencia a este curso de formación está abierta a estudiantes predoctorales, postdoctorales y otros científicos interesados.

[Página web:](#) 

ENERO

Cursos de capacitación para supervisores de instalaciones radiactivas (INTE, UPC)

[Entidades organizadoras:](#) Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Hospital Clínico y Provincial de Barcelona, Hospital de la Sta. Creu i St. Pau de Barcelona, Sección de Ingeniería Nuclear del Departamento de Física e Ingeniería Nuclear de la UPC, Institut de Investigacions Biomediques de Barcelona (IIBB-CSIC) y la Escuela Española de Oncología Radioterápica de la Sociedad Española de Oncología Radioterápica (EEOR-SEOR).

[Fechas:](#)

– Radioterapia: del 19 al 29 de enero de 2015.

– Medicina Nuclear, Control de procesos y técnicas analíticas, y laboratorio con fuentes no encapsuladas: del 1 al 11 de junio 2015.

De acuerdo con la normativa vigente, para realizar el curso de supervisores es necesario disponer de titulación universitaria.

[Página web:](#) 

Socios colaboradores de la SEPR



ALMARAZ
TRILLO



PHILIPS

FUJIFILM



PROINSA
GRUPOEULEN

GRUPO  ENUSA

 tecnatom

GEOCISA

 Westinghouse