

# RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



## LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN 2006



### ▲ Entrevista:

**Miguel López Tortosa y  
Montserrat Ribas Morales**

*Presidente del Comité  
Organizador y presidenta del  
Comité Científico  
del XI Congreso de la SEPR*

### ▲ **La Protección Radiológica en 2006**

### ▲ **Citogenética en cáncer de tiroides y terapia con <sup>131</sup>I**

### ▲ **Validación de un Método para optimizar actividad radionuclídica en SPECT**

Nº 52 • Vol. XIV • 2007

# RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

## Directora

Almudena Real

## Coordinadora

Carmen Roig

## Comité de Redacción

Beatriz Gómez-Argüello  
José Miguel Fernández Soto  
Carlos Huerga  
Paloma Marchena  
Lola Patiño  
Matilde Pelegrí  
Beatriz Robles  
José María Sastre  
Luis Miguel Tobajas  
M<sup>ª</sup> Angeles Trillo

## Coordinador de la página electrónica

Joan Font

## Comité Científico

Presidente: Luis M. Tobajas

David Cancio, Luis Corpas, Felipe Cortés,  
Antonio Delgado, Eugenio Gil,  
Luciano González, Araceli Hernández,  
José Hernández-Armas,  
Ignacio Hernando, Rafael Herranz,  
Pablo Jiménez, Juan Carlos Lentijo,  
María Teresa Macías, Xavier Ortega,  
Pedro Ortiz, Teresa Ortiz, Turiano Picazo,  
Rafael Puchal, Luis Quindós,  
Rafael Ruiz Cruces, Guillermo Sánchez,  
Eduardo Sollet, Alejandro Ubeda,  
Eliseo Vañó.

## Realización, Publicidad y Edición:

SENDA EDITORIAL, S.A.

Directora: Matilde Pelegrí

Isla de Saipán, 47 - 28035 Madrid

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

Correo electrónico: sendaeditorial@sendaeditorial.com

Imprime: IMGRAF, S.L.

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

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



EDICIÓN JUNIO 2007

## S U M A R I O

- **Editorial** **3**
- **Entrevista** **5**
  - Miguel López Tortosa y Montserrat Ribas Morales  
*Presidente del Comité Organizador y presidenta del Comité Científico del XI Congreso de la SEPR*
- **Colaboraciones** **9**
  - La Protección Radiológica en 2006 **9**
  - Citogenética en cáncer de tiroides y terapia con <sup>131</sup>I **31**  
*L. Popova, V. Hadjidekova, R. Christova, S. Agova, V. Grudeva, T. Hadjieva e I. Domínguez*
  - Validación de un Método para optimizar actividad radionuclídica en SPECT **39**  
*Marlén Pérez Díaz, Oscar Díaz Rizo, Adlin López Díaz, Eric Estévez Aparicio y Reinaldo Roque Díaz*
- **Noticias** **47**
  - de la SEPR **47**
  - de España **48**
  - del Mundo **51**
- **Proyectos de Investigación** **53**
- **Publicaciones** **54**
- **Convocatorias** **56**

# Editorial

Cuando recibáis este número 52 quedará pocos meses para que se celebre nuestro XI Congreso de la SEPR en Tarragona, donde esperamos que haya una gran participación de todos socios de los sectores que componen nuestra Sociedad. Deseo recordaros que el Comité Científico de RADIOPROTECCIÓN seleccionará entre los trabajos recibidos entre 1 de enero y 3 de junio de 2007 los tres mejores y los premiará con una inscripción gratuita al Congreso.

La elaboración de nuestro Plan Estratégico continúa a buen ritmo debido a la implicación y el trabajo de todos los miembros de la Comisión de Actividades Institucionales y también de la Junta Directiva. Nuestro deseo es que en nuestra próxima Asamblea General en Tarragona podamos presentarlo y aprobarlo si merece vuestra confianza. Será nuestra referencia para desarrollar las acciones encaminadas a lograr nuestros objetivos en el próximo futuro tanto a corto como a medio y largo plazo.

Asimismo, se ha realizado durante el mes de marzo la Jornada sobre Protección Radiológica durante el 2006, organizada por la SEPR en colaboración con el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Esta jornada celebrada en el Salón de Actos del CSN ha supuesto un éxito de participación y ha logrado cumplir su objetivo principal: tener un conocimiento mutuo de las actividades, soluciones de interés común, y compartir lecciones aprendidas para aumentar la eficacia de la Protección Radiológica en España. Por otro lado, se ha puesto en marcha el nuevo Grupo de trabajo sobre Radiografía Industrial, así como próximamente se completará con el nacimiento del Foro de Radiografía Industrial, con el apoyo del CSN.

Deseo comentaros una excelente noticia: En la reciente Asamblea General de la SEFM celebrada el pasado 24 de mayo durante el congreso de Física Médica celebrado en Granada, se ha decidido por mayoría (más del 65 %) celebrar el próximo congreso nacional de forma conjunta con la SEPR. Es una noticia que viene a consolidar nuestras excelentes relaciones, estimando que será muy positivo para ambas Sociedades. Alicante 2007 se ha convertido, no solo en una prueba piloto, sino en un reto al que todos deberemos apoyar.

Es importante destacar también que en dicha Asamblea se celebraron las elecciones de parte de la Junta Directiva de la SEFM. Ganó la coordinada por Natividad Ferrer (nueva Presidenta) y compuesta además por Inmaculada Jerez, José Hernández Armas y Diego Burgos. Desde aquí nuestra más sincera felicitación y disposición de colaboración en todas aquellas actividades de interés común.

Por otro lado, hemos celebrado varias reuniones institucionales al más alto nivel con el CSN, CIEMAT, ENRESA y ENUSA, en las cuales hemos sentido los miembros de Junta Directiva una gran disposición de colaboración de dichas instituciones en todos aquellos temas de interés común. Tendréis información más detallada de cada una de ellas.

Deseando que paséis unas felices y merecidas vacaciones estivales, recibid un cordial abrazo.

Rafael Ruiz Cruces  
Presidente de la SEPR.



## Secretaría Técnica

Capitán Haya, 60  
28020 Madrid  
Tel.: 91 749 95 17  
Fax: 91 749 95 03  
Correo electrónico: secretaria.  
sociedades@medynet.com

## Junta Directiva

Presidente: Rafael Ruiz Cruces  
Vicepresidente: Pío Carmena  
Vicepresidente Congresos: Miguel López  
Secretaría General: M<sup>a</sup> Teresa Macías  
Tesorera: Cristina Correa  
Vocales: Manuel Alonso, Carmen Álvarez, José M. Fernández Soto, Teresa Navarro, Domingo Sustacha, Ricardo Torres

## Comisión de Actividades Científicas

Presidente: Pío Carmena  
Secretaría: Isabel Villanueva  
Vocales: Francisco Carreras, Natividad Ferrer, Fernando González, Margarita Herranz, Miguel López, M<sup>a</sup> Luisa Marco, Almudena Real, Carmen Ruveda, Guillermo Sánchez de León, Alejandro Úbeda, Rosa Villarreal

## Comisión de Publicaciones

Presidente: José Miguel Fernández Soto  
Secretaría: Almudena Real  
Vocales: David Cancio, Joan Font, Susana Falcón, José Gutiérrez

## Comisión de Asuntos Económicos y Financieros

Presidente: Cristina Correa  
Vocales: Carolina Álvaro, Pío Carmena, Eduardo Gallego, M<sup>a</sup> Jesús Muñoz, M<sup>a</sup> Teresa Ortiz, Beatriz Robles

## Comisión de Asuntos Institucionales

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



## Miguel López Tortosa y Montserrat Ribas Morales

Presidente del Comité  
Organizador y  
presidenta del Comité  
Científico del XI  
Congreso de la SEPR

*Las ciudad de Tarragona será anfitriona del XI Congreso de la SEPR,  
que tendrá lugar del 18 al 21 de septiembre.*

*Miguel López Tortosa, Profesor de Física Médica de la Facultad de Medicina de la Universidad Rovira i Virgili y Jefe de Protección Radiológica de la UTPR de la Universidad, es el presidente del Comité Organizador. Montserrat Ribas, Directora del Servicio de Radiofísica y Radioprotección del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau de Barcelona, es presidenta del Comité Científico. Los dos presentan en estas páginas de RADIOPROTECCIÓN la actualidad del proceso de organización y cómo evoluciona el programa científico.*

### **MIGUEL LÓPEZ TORTOSA** Presidente del Comité Organizador

**¿Qué razones han llevado a la organización a seleccionar Tarragona como sede de este XI Congreso de la SEPR? ¿Cuáles son las características más importantes de esta sede (infraestructura del Palacio, entorno nuclear, atractivo turístico)?**

Tarragona es un enclave con buenas comunicaciones, posee una infraes-

tructura turística y hotelera de primer orden y un clima agradable. De su pasado romano conserva un patrimonio arqueológico declarado por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad.

El Palau de Congressos, de reciente construcción y ubicado en el centro de la ciudad, es una excelente sede para la celebración del XI Congreso. Del 17 al 24 de septiembre de 2007

Tarragona celebra sus fiestas patronales -declaradas de interés nacional- con una oferta excepcional de actividades culturales y de ocio, lo que le confiere un valor añadido como sede congresual.

La protección radiológica en la provincia de Tarragona cuenta con profesionales en diversos sectores: producción de energía, hospitalario,



industrial, investigación y medioambiental. Desde finales del año 2005, un grupo de ellos están realizando un buen trabajo para garantizar la organización del XI Congreso de la SEPR.

**¿Cómo afronta el Comité Organizador el reto que representa mantener el nivel alcanzado por ediciones anteriores? En ese sentido, ¿qué novedades se proponen en este Congreso?**

La extraordinaria labor de los Comités que se encargaron de organizar las ediciones anteriores de nuestro Congreso Nacional ha situado muy alto el nivel organizativo. Intentaremos que el próximo Congreso mantenga este nivel utilizando una fórmula basada en tres ingredientes: poner toda nuestra ilusión y esfuerzo en la tarea organizativa, contar con la tradicional colaboración y entrega de los socios de la SEPR y, finalmente, confiar en la capacidad de seducción de Tarragona.

Hemos hecho un llamamiento a los socios y entidades relacionadas con la protección radiológica para que aporten material, equipos y documentación que formaron parte de la PR y que hoy corren el riesgo de deterioro o pérdida. Este material se mostrará durante las jornadas congresuales en una exposición que hemos denominado Expo'PR. Parte de él se destinará, posteriormente, al Centro Tecnológico Mestral de Enresa en el antiguo emplazamiento de la Central Nuclear Vandellós I.

**¿Qué previsiones hay en este momento de asistencia de congresistas?**

El objetivo es superar los 300 congresistas. Consideramos que es un objetivo razonable teniendo en cuenta el número de trabajos presentados.

El Comité Organizador está haciendo un gran esfuerzo para facilitar la participación de los jóvenes que han iniciado su formación en el campo de la protección radiológica. Para los



nuevos socios que, en estos dos últimos años se han incorporado a la SEPR, el XI Congreso constituye la primera ocasión de encuentro con una gran parte de los profesionales de la protección radiológica.

**La exposición comercial es un elemento fundamental para la financiación del Congreso, y demuestra el apoyo de las empresas a la SEPR. ¿Cómo evoluciona esta actividad?**

La autofinanciación del Congreso se basa en las aportaciones de las entidades tradicionalmente colaboradoras (CSN, ENRESA, UNESA, ENUSA), de las empresas colaboradoras, en las ayudas que puedan obtenerse de la participación en las convocatorias realizadas por la Administración o la Universidad, en las cuotas de inscripción y, evidentemente, en la colaboración de las empresas expositoras que cumplen una doble función al dar soporte económico y científico-técnico. En este momento podemos asegurar una presencia de expositores suficiente para completar el espacio asignado con esta finalidad en el Palau de Congressos.

**Además de un encuentro profesional de alto nivel, el Congreso de la SEPR es un punto de reunión entre todos los asistentes y sus acompañantes, para compartir momentos de esparcimiento. ¿Qué actividades ha previsto el Comité Organizador para el programa social y para los acompañantes?**

El programa social contiene dos actos típicos de los congresos: acto de bienvenida a los congresistas y la cena de gala. La visita a la parte antigua de la ciudad y a la parte marinera, mostrará dos puntos de vista complementarios de Tarragona. Los acompañantes podrán disfrutar de un día de ocio en Port Aventura o en las Termas de Montbrío y, al día siguiente visitarán los monasterios cistercienses de Poblet y Santes Creus.

Los congresistas y acompañantes tendrán la oportunidad de inscribirse en un minicurso de cata de vinos de tres horas dedicadas a blancos, tintos y cavas, que se realizará en dos ediciones: tarde del martes (18) y tarde del viernes (21).

**Teniendo en cuenta que el Congreso se celebra dentro de pocos meses, inmediatamente después de las vacaciones de verano, ¿qué mensaje le transmite a los profesionales que aún no han confirmado su asistencia?**

Las jornadas congresuales son, justamente, los últimos días del verano. Posiblemente, puede ser una buena forma de despedir el verano.

El Comité Organizador y la Secretaría Técnica estaremos los próximos meses a disposición de los profesionales que deseen asistir al Congreso para atender sus peticiones de inscripción. Pero quisiera resaltar que si se realiza la inscripción antes del 10 de junio, se facilita la labor de la Organización y el congresista o acompañante se beneficia al obtener una inscripción de cuota reducida.



**MONTserrat RIBAS MORALES**  
**Presidenta del Comité Científico**

**La presentación de los trabajos realizados por los profesionales constituye el eje central del Congreso de la SEPR. ¿Qué líneas de trabajo son las más analizadas en esta edición?**

Aunque se han presentado trabajos en todas las áreas temáticas propuestas en el Congreso, hay que destacar tres áreas donde se concentran por igual un gran número de trabajos, éstas son: protección radiológica operacional; dosimetría, metrología e instrumentación de la radiación y protección radiológica del público y del medio ambiente. En su cómputo aglutinan el 70% de los trabajos presentados.

**¿Pueden destacarse temas novedosos entre las ponencias recibidas?**

Cada vez más se aprovecha el foro de los congresos para que los profesionales presenten las nuevas líneas de trabajo en las que están implicados y se expongan las inquietudes y avances en cada una de las áreas temáticas. En esta ocasión, también se pone de manifiesto en los diversos sectores en el que cada uno aporta una o más novedades. Dada la multidisciplinariedad existente es difícil destacar a unos frente a otros. Sugiero que se consulte la web del Congreso (<http://www.urv.cat/events/sepr11>) en la que se ha indicado la relación de todos los trabajos aceptados.

**¿Qué porcentaje de los trabajos presentados corresponde a cada una de las diferentes áreas de la PR (sanitaria, investigación e industria)?**

Se presentan 107 trabajos en total, que, distribuidos por sectores, corresponden a 21% de investigación, 37 % al sector industrial y el resto, 42% al área sanitaria.



**Además de las sesiones técnicas, el programa incluye mesas redondas de gran interés. ¿Cuáles son los temas que se abordan y qué conferencias destaca de manera especial?**

El Congreso se ha estructurado de manera que cada día se inicia con una sesión plenaria sobre un tema determinado cubierto por uno o más ponentes que permitan englobar a todos los sectores de la Protección Radiológica (PR). Los temas elegidos han sido: 1- Gestión de la calidad en los Servicios de Radiofísica y Protección Radiológica: Calidad como sinónimo de seguridad. 2- La metrología de radiaciones ionizantes en España. 3- Los aspectos sociales ante el desarrollo tecnológico con radiaciones ionizantes. En estas sesiones se ha invitado tanto a profesionales expertos de la PR como a profesionales ajenos para que indiquen su visión y/o problemática ante la PR.

Con este hilo conductor, se han programado mesas redondas que guar-

dan relación con el tema de la sesión plenaria, en todas ellas se ha buscado a profesionales expertos representativos del sector. Los temas abordados son: para el primer día, "Calidad de la Protección Radiológica en el medio sanitario", y en paralelo otra mesa denominada "Aplicación práctica de programas de calidad en las aplicaciones industriales". En el segundo día tiene lugar la mesa redonda "Actualidad y futuro de los laboratorios de calibración de radiaciones ionizantes". Por último el tercer día, el título de la mesa redonda es "la SEPR en los aspectos sociales de la PR".

Es la primera vez que en un Congreso nacional fuera de la metrología se expondrá una visión global del tema en nuestro país y estarán todos los laboratorios de calibración.

Además también se cuenta con una conferencia invitada a cargo de Annie Sugier sobre las "Principales implicaciones de las Nuevas Recomendaciones de la ICRP", aprobadas en este año.

**Los cursos de actualización contribuyen a mantener al día los conocimientos de los profesionales. ¿Qué temas se analizan en este Congreso?**

Se ofertan cuatro cursos de diversidad temática, de forma que todos los sectores puedan beneficiarse de alguno de ellos. Se ha combinado una actualización de dos temas convencionales, tales como "Radón: pasado, presente y futuro" y "Estudios epidemiológicos y radiaciones ionizantes", con dos temas nuevos pero cada vez más extendidos. Se optó por uno en el campo sanitario dedicado a las radiaciones no ionizantes, "Seguridad en equipos y sistemas Láser", en el que se inicia la experiencia piloto de semipresencial. El otro curso de interés para el sector industrial se denomina "Monitores de radiactividad de tipo pórtico: pasado, presente y futuro".

## La página web de la SEPR

### Descarga gratuita para socios de la publicación nº6 de la SEPR

La publicación SEPR nº 6 Guía Técnica de Gestión de Materiales Residuales con Contenido Radiactivo Procedentes de Instalaciones de Ámbito Sanitario, puede descargarse, de forma gratuita para los socios, en la web de la SEPR.



La publicación define un modo integrado de realizar, de forma ordenada, la generación y gestión interna de estos materiales residuales, y unos protocolos armonizados para conducir este proceso, asegurando su fiabilidad y documentación. La Guía tiene una clara vocación práctica, operativa y didáctica, de forma que pueda servir tanto a los profesionales que tienen la responsabilidad de esta gestión en el día a día de su trabajo, como a los gestores y planificadores en sus respectivas instalaciones, a la hora de dotar de los medios precisos para ello, e incluso a estudiantes y personas en formación en estos ámbitos de actividad.

### Presentaciones de la jornada la protección radiológica en el 2006

Están disponibles en la web todas las presentaciones realizadas en la Jornada la Protección radiológica en el 2006, celebrada el 27 de marzo en el CSN.

En la Jornada se presentaron los resultados, retos y logros en los diferentes sectores relacionados con la protección radiológica durante el año 2006. La Jornada permitió dar a conocer las actividades en cada uno de los sectores, identificar áreas y soluciones de interés común, y compartir lecciones aprendidas para aumentar la eficacia de la Protección Radiológica en nuestro país.

Para descargarse las presentaciones entrar en el apartado Descargables, Documentos descargables y seleccionar la Categoría "JORNADA LA PR EN EL 2006 (Marzo 2007)".

Las presentaciones disponibles son:

- Resultados de los programas reguladores en Protección Radiológica y Emergencias. Proyectos para 2007. *Juan Carlos Lentiño.*
- Avances Científicos de los Efectos Biológicos de las Radiaciones desde UNSCEAR, BEIR e ICRP. *Almudena Real.*
- Nuevas Recomendaciones de la ICRP e implicaciones en la normativa internacional. *David Cancio.*
- Exposiciones médicas. Acciones internacionales durante 2006. *Eliseo Vañó.*
- Acciones en 2006 y proyectos de la especialidad de radiofísica hospitalaria. *Montserrat Ribas.*

- Últimos avances tecnológicos en los sistemas de diagnóstico por imagen y radioterapia: Radioterapia. *Miguel Modolell.*
- Avances tecnológicos en sistemas de diagnóstico por imagen. *Adolfo Velasco.*
- Aplicaciones en biomedicina: Nuevas técnicas de imagen I+D. Perspectivas futuras. *Fernando Usera.*
- Hitos en dosimetría e instrumentación. *Antonio Delgado.*
- Centrales nucleares e instalaciones de fabricación de combustible nuclear. *Domingo Sustacha.*
- Desarrollos nacionales e internacionales en la gestión de los residuos radiactivos. *Pedro Carboneras.*
- Radiaciones no ionizantes: Acciones legales y novedades científicas en 2006. *Alejandro Ubeda.*
- Acciones y Proyectos sobre la incorporación de los grupos implicados ("Stakeholders") en la gestión de la Protección Radiológica y la elaboración de un código de conducta". *Eduardo Gallego y Leopoldo Arranz.*



## INFORMACIÓN A TRAVÉS DE LA WEB DE LA SEPR

La página web de la Sociedad sirve para transmitir información entre los socios. En el espacio de este número de la revista dedicado a la web vamos a intentar demostrar este hecho.

Allá por las Navidades pasadas surgía una noticia de actualidad relacionada con la protección radiológica que fue portada en muchos medios de comunicación debido a la utilización de polonio para envenenar a ciudadanos de origen ruso. El documento en formato pdf de la página de la SEPR lleva 924 descargas desde que se encuentra disponible. Es uno de los documentos más descargados de nuestra web.

La celebración de cursos también resulta de interés para los profesionales del ramo. Así lo demuestra el hecho de que los trípticos registren un número de descargas importante.

El curso de operadores que se celebrará en Santiago de Compostela en 2007 ha recibido un buen número de visitas y su tríptico ha sido consultado 298 veces desde que está disponible. ¿Cuántas plazas tendrá ese curso?

El curso de PET que se celebró en abril en Navarra atrajo a 172 visitantes hasta su tríptico. Es bastante probable que fuera un éxito de convocatoria.

Otro curso que no se queda atrás es el de Radiobiología que se impartirá en el CIEMAT en noviembre de 2007. El tríptico se ha descargado en 98 ocasiones.

Otra sección que recibe un buen número de visitas es la revista. El número 51 se ha descargado ya en 59 ocasiones, un buen número teniendo en cuenta que se publicó

en marzo de este año, y el número 50 se ha descargado en 92 ocasiones.

Recientemente se ha colgado el informe del accidente ocurrido en una instalación de radioterapia en Francia, habiendo recibido hasta la fecha 27 visitas.

Las convocatorias de la sociedad también reciben un número importante de visitas. La jornada que organiza la sociedad el próximo mes de junio sobre UTPR ha recibido 48 visitas en menos de un mes.

Queda claro que la página web cumple su objetivo de servir de medio de divulgación e información para los socios y profesionales relacionados con la protección radiológica, poniendo al alcance de todos la documentación que resulta de interés.

Joan Font  
Coordinador de la página web de la SEPR

# LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN 2006

El pasado 27 de marzo de 2007, se celebró en el Salón de actos del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) la jornada "La Protección Radiológica en el 2006", organizada por la SEPR en colaboración con el CSN.

La Jornada fue inaugurada por la Presidenta del CSN, Dña. Carmen Martínez Ten. En su intervención, la presidenta del CSN recordó la necesidad de reforzar la colaboración institucional, elemento clave para alcanzar los retos en materia de protección radiológica de las personas y del medio ambiente. En la sesión de apertura participaron también D. Manuel Oñorbe, Director General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo y D. Rafael Ruiz Cruces, Presidente de la SEPR.

A la Jornada asistieron más de un centenar de profesionales del mundo de la investigación, la medicina y la industria para poner en común los avances científicos logrados en sistemas de diagnóstico y radioterapia, así como para analizar aspectos biológicos, sociales y medioambientales relacionados con la protección frente a las radiaciones ionizantes y no ionizantes.

A continuación se recogen los resúmenes de las comunicaciones que tuvieron lugar durante la Jornada, en los que se describen cuáles han sido los resultados, retos y logros en los diferentes sectores relacionados con la protección radiológica durante el año 2006.

## Resultados de los programas reguladores en protección radiológica y emergencias en 2006. Proyectos para 2007.

Juan Carlos Lentijo. Director General de Protección Radiológica del CSN

Los hechos más relevantes en protección radiológica y emergencias durante el año 2006 se pueden resumir en los siguientes puntos:

### **Instalaciones y fuentes radiactivas. Normativa**

Se publicó el R.D. 229/2006 sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas, que describe los requisitos aplicables a dichas fuentes en cuanto a inventario, control de movimientos y seguridad física. También define disposiciones para el control de las fuentes huérfanas, destacando los aspectos de formación, el equipamiento de detección y las campañas de recuperación.

Actualmente está en curso la revisión del R.D. 1891/1991 sobre Radiodiagnóstico médico y tres Instrucciones del CSN sobre: Homologación de cursos para las acreditaciones personales en radiodiagnóstico; Periodos de retención de documentación de funcionamiento de IIRR, y Especificaciones de funcionamiento de IIRR.



Apertura de la Jornada. De derecha a izquierda: Manuel Oñorbe (Director General de Salud Pública. Ministerio de Sanidad y Consumo), Carmen Martínez Ten (Presidenta del Consejo de Seguridad Nuclear), Rafael Ruiz Cruces (Presidente de la Sociedad Española de Protección Radiológica) y Juan Carlos Lentijo (Director General de Protección Radiológica del CSN).

Respecto a normativa general, destacan las revisiones en curso de la Ley del CSN (y la Ley Energía Nuclear) y del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas.

### **Instalaciones radiactivas y de rayos X autorizadas**

En 2006 el número total de instalaciones radiactivas (RINR) era de 1.316, de las cuales una era de 1ª Categoría,

1.004 de 2ª Categoría y 311 de 3ª Categoría. Asimismo estaban registradas 25.665 instalaciones de radiodiagnóstico médico (RD. 1891/1991), lo que supone un incremento de 7.263 respecto de las que había en el año 2000.

### **Actuaciones reguladoras en instalaciones radiactivas**

Durante el año 2006, se realizaron un total de 351 actuaciones de



licenciamiento en las instalaciones (industria, medicina, investigación, docencia y comercialización), de las que 66 fueron nuevas autorizaciones de funcionamiento, 41 clausuras y 244 modificaciones. Se realizaron 1.602 inspecciones, distribuidas en 1.234 de control y 124 de puesta en marcha o clausura en instalaciones radiactivas y 244 de control en rayos X médicos. Se realizaron 98 apercebimientos.

Se emitieron Instrucciones técnicas complementarias para requerir la adaptación de las instalaciones de gammagrafía móvil a la norma ISO 3999 versiones 1997/2000.

### **Actuaciones reguladoras en entidades de servicio**

A finales de 2006 estaban autorizados 66 Servicios de Protección Radiológica (SPR), autorizándose 3 nuevos en el año, mientras que estaban en evaluación las solicitudes de otros 19. Se realizaron 25 inspecciones a SPR. Hay 46 Unidades Técnicas de Protección Radiológica (UTPR) autorizadas, sobre las que se efectuaron 3 autorizaciones y se realizaron 22 inspecciones en 2006. Asimismo, existen 22 Servicios de Dosimetría Personal Externa (SDPE) y 9 Interna (SDPI), sobre los que, en 2006, se realizaron 8 inspecciones y 10 autorizaciones de modificación.

Se emitieron Instrucciones Técnicas Complementarias para armonización de plazos y contenidos de los informes periódicos de las UTPR y para la incorporación de la ICRP-66 en los SDPI de centrales nucleares.

### **Dosimetría**

A finales de 2006, el número de trabajadores clasificados como expuestos era de 95.151, de los cuales 6.449 en centrales nucleares; 1.182 en ins-

talaciones del ciclo de combustible, residuos y CIEMAT; 75.870 en instalaciones radiactivas médicas; 6.880 en industriales; 4.683 en instalaciones de investigación; 5 en instalaciones en desmantelamiento y clausura y 82 en transporte.

La Dosis Individual media ha variado en los distintos colectivos entre 0,38 y 1,51 mSv/año en las instalaciones, siendo de 2,73 mSv/año en el transporte.

Se realizó la 4ª campaña de intercomparación de SDPE y se presentaron los resultados de la campaña I-131 en los SDPI.

Del suceso con Po-210 en el Reino Unido, se ha concluido que existió un déficit en la información; hubo buena coordinación nacional y se puso de manifiesto la debilidad existente en las capacidades nacionales en dosimetría interna (bioensayo).

### **Licencias y formación en protección radiológica**

En 2006 se renovaron 986 licencias de operadores y 474 de supervisores de IIRR y se concedieron 856 y 339 nuevas licencias, respectivamente. En total, a finales de año, existían 5.575 licencias de operadores y 2.475 licencias de supervisores de estas instalaciones. Además, existen 50.950 operadores acreditados para rayos-X de uso médico y 36.497 para dirigir este tipo de instalaciones.

En este mismo ámbito, se homologaron 24 cursos para licencias de personal de IIRR y 7 para rayos-X médicos. Además, el CSN, en colaboración con el CIEMAT, está preparando un portal de materiales didácticos para cursos de licencias de IIRR y acreditaciones para radiodiagnóstico médico, que estará próximamente accesible desde la página web del CSN ([www.csn.es](http://www.csn.es)).

### **Foro de protección radiológica en el medio sanitario**

En 2006 las principales actividades del Foro se relacionaron con los siguientes temas:

- Protocolo para dosimetría de área (RPSCRI art. 31).
- Control de contaminación interna de trabajadores expuestos en IIRR médicas con material no encapsulado.
- Criterios de alta y medidas de PR del público en tratamientos con radiofármacos.
- Guías de protección de la infancia expuesta a radiaciones ionizantes por razones médicas.

Además, se ha trabajado en el desarrollo de los siguientes procedimientos genéricos: Gestión de efluentes radiactivos; Gestión de residuos radiactivos sólidos

### **Protección radiológica del público y ambiental. Normativa**

Dentro del programa para completar el desarrollo normativo de los residuos radiactivos y el desmantelamiento, se han elaborado propuestas específicas para incluir en la *Ley de Energía Nuclear* (a través del proyecto de modificación de la *Ley del CSN*) y del *Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas*. Asimismo, se mantiene una participación activa en el grupo de trabajo de la asociación WENRA, para armonización de normativa de seguridad de los residuos y del desmantelamiento.

En este mismo contexto, se publicó la Guía de seguridad del CSN sobre "*Planes de Gestión de residuos radiactivos*" y se avanzó en los proyectos de Instrucción del CSN sobre "*Criterios radiológicos para la liberación de emplazamientos nucleares*" y de Guía de Seguridad sobre "*Plan de restauración de emplaza-*



mientos", cuya aprobación en ambos casos está prevista para 2007

### **Plan de actuación CSN sobre protección frente a radiación natural**

En lo relativo al desarrollo del Título VII del *Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes*, sobre control de exposiciones debidas a radiación natural, el CSN aprobó una nueva versión de su Plan de actuación en este ámbito, que incluye: la definición de los tipos de industrias y actividades afectadas; orientaciones para los estudios de evaluación de impacto radiológico; el establecimiento de niveles de actuación y medidas de protección para radón en lugares de trabajo y en viviendas y para industrias NORM; niveles de exención/descartificación y criterios de evaluación de impacto radiológico de almacenamientos de residuos NORM.

Se ha contribuido a la creación de infraestructura nacional y se ha impulsado la implantación de la red de radiación natural: REDRADNA.

En lo que se refiere a situaciones específicas, destacan las relativas al Proyecto de descontaminación del embalse de Flix, sobre el que se realizó la evaluación de impacto radiológico y el informe para la declaración de impacto ambiental y se establecieron los criterios radiológicos para el almacenamiento de residuos. Asimismo, respecto de la antigua fábrica de Erkos en Cartagena, se establecieron los criterios radiológicos para la descontaminación de terrenos y para el almacenamiento de residuos y se realizó la evaluación del impacto radiológico de la retirada de fosfoyesos. Finalmente, se realizó la evaluación de impacto radiológico de la plataforma petrolífera Casablanca.

### **Impacto radiológico de las instalaciones**

Los programas de control de efluentes en 2006 mostraron una situación de normalidad, sin que se identificara ninguna incidencia de interés.

Se realizó un análisis de incidencia en las CCNN españolas de la aplicación de la recomendación de la UE 2004/2/EURATOM sobre "Normalización de información relativa a descargas de CCNN".

En 2006 se finalizó el segundo informe nacional de la Convención conjunta sobre residuos radiactivos y se realizó la 2ª reunión de seguimiento en el OIEA.

### **Vigilancia radiológica ambiental (PVRA)**

Los PVRA en 2006 en el entorno de las instalaciones y en el ámbito nacional dieron resultados de normalidad, confirmando la calidad radiológica del medio ambiente en España.

Entre las actuaciones realizadas para garantizar la calidad en las medidas de radiactividad ambiental, destacan las relativas a la normalización de procedimientos, las campañas de intercomparación y el fomento de acreditación de laboratorios.

En relación con los programas especiales de vigilancia, se debe mencionar las nuevas actuaciones en Palomares, dirigidas al control de las zonas afectadas.

### **Nuevo estudio epidemiológico. Características generales**

En 2006, el CSN y el Mº de Sanidad (a través del Instituto de Salud Carlos III-CNE) suscribieron un Convenio para realizar un nuevo estudio epidemiológico para investigar la posible incidencia sobre la salud de las personas de la exposición a las radiaciones derivada

del funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo de combustible y de la radiación natural.

Se ha fijado un plazo de tres años para realizar el estudio, cuyo alcance incluye las zonas de influencia de las instalaciones nucleares y radiactivas del ciclo, en un radio de 30 km, y dos áreas con diferente exposición a radiación natural no influidas por ninguna instalación. El estudio incorpora una valoración de la exposición debida a las instalaciones y a las fuentes naturales de radiación, por lo que se prevé reconstruir el historial de exposición de la población desde el inicio de la operación de las instalaciones hasta 2003.

Se ha decidido utilizar la Dosis Efectiva como indicador de exposición, considerando las limitaciones asociadas a esta magnitud, por lo que se utilizará únicamente como un discriminador global de exposición. La ICRP ha apoyado esta decisión, siempre que se tengan en cuenta las limitaciones mencionadas. Se ha puesto a punto una metodología para la estimación realista de las dosis debidas tanto a vertidos como a radiación natural.

El estudio se realiza en un contexto de transparencia, por lo que se ha constituido un *Comité consultivo independiente*, integrado por 26 representantes de diversas entidades (autoridades sanitarias de comunidades autónomas, municipios, asociaciones ecologistas, titulares y asociaciones sindicales), así como expertos independientes.

### **Avances en planes de emergencia**

En lo relativo al desarrollo normativo, se publicó la *Guía de Seguridad 1.9 sobre Ejercicios y simulacros en CCNN*. Asimismo, se avanzó en el desarrollo del

### Proyecto de *Directriz Básica de Riesgos Radiológicos*.

Continuó la incorporación del Plan 2005, aprobándose los Planes directores de los Planes exteriores de emergencia nuclear e iniciando la elaboración de los Planes de los Grupos Operativos. En cuanto a la formación de actuantes, se mantuvo una intensa actividad en colaboración con la Escuela Nacional de Protección Civil de la DGPCE, la Escuela Militar de Defensa NBQ, los cuerpos de Policía y Guardia Civil y la Unidad Militar de Emergencias (UME).

En el ámbito de emergencias el CSN mantiene relaciones muy activas con la UME y las unidades NBQ del Cuerpo Nacional de Policía y la Guardia Civil, y está impulsando nuevas relaciones con las CCAA para implantación de Planes Emergencia Radiológica. Se suscribió un nuevo Acuerdo con la Junta y la Universidad de Extremadura sobre vigilancia radiológica en emergencias. Asimismo, se mantuvo una intensa actividad en el contexto internacional, destacando las colaboraciones con OIEA y NEA.

El servicio del CSN de atención permanente de emergencias funcionó con normalidad en la Salem, y continuó aplicándose el Plan de mejora de las capacidades de emergencias, destacando la ampliación de la instrumentación radiométrica y la dosimetría en emergencias (3000 DLD) y la implantación de nuevos sistemas en la Salem: seguimiento, registro, centro documental, sistemas audiovisuales, etc.

En 2006 se mantuvo una importante actividad de ejercicios y simulacros: todas las instalaciones nucleares españolas, ECORINTE 06 y ECURIE; y se participó en ejercicios en EEUU, Rusia y Suecia. Así mismo, se produjeron



dos emergencias reales, una debida a un incendio forestal en las proximidades de la central nuclear Vandellós-II, y la otra por un accidente de transporte con materiales radiactivos en Málaga.

### **Avances en Seguridad Física (SF)**

Se elaboró el informe del CSN para la ratificación de la Convención sobre Seguridad Física de instalaciones y materiales nucleares. Se publicó la IS-09 sobre *criterios de SF para CCNN*, iniciándose la adaptación de los sistemas y servicios de las mismas.

Se inició la elaboración de normativa específica de seguridad física para fuentes y transportes, y se impulsó un nuevo Plan de recuperación de fuentes huérfanas (MITC-CSN-EN-RESA) a realizar los próximos años en cumplimiento del RD 229/2006.

En el ámbito de la seguridad física, el CSN mantiene relaciones con instituciones nacionales, como la Secretaría de Estado de Seguridad (FyCSE) y la AEAT (MEGAPORTS), y a nivel

internacional: OIEA (misión IPPAS en Holanda, y seminarios en Argentina, México y China) y dentro del grupo europeo ENSRA.

En 2006, se impulsó la formación en materia de Seguridad Física, tanto de los técnicos del CSN como de las instituciones participantes en el sistema nacional.

### **Nuevas recomendaciones ICRP. Revisión Normas Básicas de Seguridad (BSS)**

En el ámbito Nacional, el CSN mantiene un grupo de trabajo interno y participa en el grupo de trabajo de la SEPR para revisar las nuevas recomendaciones de ICRP. En el ámbito internacional se mantiene una participación activa en el grupo EGIR de la NEA.

Por otro lado, ya se ha iniciado la revisión de las BSS, en el contexto de un grupo Inter-agencias (NEA, OIEA), como paso previo a su discusión en los Comités de Normas del OIEA (RASC, WASC, CSS), lo que requerirá coordinar la participación española.



## Avances científicos de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.

Almudena Real.

Los avances en el conocimiento sobre los efectos biológicos de radiaciones ionizantes, han sido recogidos en diferentes informes, artículos o documentos elaborados en el año 2006 por distintos Organismos Internacionales y Nacionales, entre los que destaca UNSCEAR, pero también hay que mencionar a la ICRP y el OIEA, así como el BEIR de EE.UU.

### **Comité científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR)**

Este Comité revisa toda la información existente sobre las fuentes de radiación ionizante y sus efectos en la salud de las personas y el medio ambiente, así como sobre los mecanismos biológicos implicados en dichos efectos. Los informes elaborados por UNSCEAR constituyen el fundamento científico utilizado, entre otros, por la Comisión Internacional de Protección Radiológica para elaborar sus recomendaciones en protección radiológica (PR) y por los organismos pertinentes de las Naciones Unidas para formular normas básicas de seguridad internacionales para PR y para la seguridad de las fuentes de radiación.

UNSCEAR publicó en el año 2000 su último informe sobre efectos biológicos de la radiación y en 2001 uno centrado en los efectos hereditarios. En 2006, año del 50 aniversario desde la primera sesión del Comité, UNSCEAR ha elaborado un informe para la Asamblea General de la ONU, en el que se incluyen los siguientes anexos científicos:

### *Estudios epidemiológicos sobre la radiación y el cáncer*

El Comité, a partir de los datos de los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki, ha calculado que el riesgo durante toda la vida de fallecer a causa de un cáncer sólido tras una dosis aguda de 1 Sv es de 4,0-7,5%, y en el caso de la leucemia de 0,7-1,0%, considerando cinco poblaciones específicas (China, Japón, Puerto Rico, Estados Unidos y Reino Unido e Irlanda del Norte) de todas las edades. Estos valores de riesgo de cáncer son ligeramente más bajos que los estimados en el informe del año 2000. Diversos estudios epidemiológicos realizados en poblaciones expuestas a dosis y tasas de dosis bajas, han rendido valores de riesgo en general algo más altos que los calculados a partir de la población japonesa, pero del mismo orden de magnitud. Existen evidencias de que el riesgo de desarrollar cáncer para personas irradiadas durante la infancia, podría ser dos o tres veces mayor que para adultos. Sin embargo, es necesario analizar las cohortes irradiadas existentes para poder concluir al respecto.

### *Evaluación epidemiológica de la enfermedad cardiovascular y otras enfermedades distintas del cáncer debidas a la exposición a las radiaciones*

Está bien documentado que el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares aumenta tras exposición del corazón a dosis altas de radiación, lo cual puede ocurrir en tratamientos de radioterapia. Para dosis más bajas

(1-2 Gy), únicamente los datos de los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki indican la existencia de nexos entre la enfermedad cardiovascular mortal y la exposición a radiación. Otros estudios ofrecen pruebas poco claras o coherentes de que aumente el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares por exposición a dosis de 1-2 Gy, lo que impide para estas dosis concluir sobre la existencia de una relación causal entre exposición e incidencia de enfermedades cardiovasculares.

En cuanto a otras enfermedades distintas de las cardiovasculares y del cáncer, los datos disponibles son insuficientes como para inferir una relación causal entre exposición a dosis de 1-2 Gy y la aparición de dichas enfermedades.

### *Efectos indirectos y retardados de la exposición a la radiación ionizante*

La estimación de los riesgos para la salud humana vinculados a la exposición a las radiaciones se basa de manera mecanicista en el criterio de que los efectos perjudiciales de la radiación se originan en las células irradiadas o, en el caso de efectos heredables, en células que descienden directamente de las irradiadas. No obstante, se han reseñado varios de los llamados efectos indirectos y retardados de la exposición a las radiaciones que podrían poner en tela de juicio ese concepto. El Comité concluye que actualmente los datos disponibles proporcionan cierta base para concluir que existe una relación entre dichos efectos y la enfermedad,



pero no de causalidad. El Comité subraya que la estimación de los efectos sanitarios de las radiaciones se basa en observaciones epidemiológicas y experimentales de un aumento significativo de la incidencia de la enfermedad tras la exposición a radiación. Dichas observaciones tienen en cuenta de manera implícita elementos mecanicistas relacionados no sólo con los efectos directos de las radiaciones, sino también con los efectos indirectos y retardados.

#### *Efectos de la radiación ionizante en el sistema inmunológico*

Está bien documentado que dosis altas de radiación producen la supresión del sistema inmunológico. Para dosis y tasas de dosis bajas existen incertidumbres, habiéndose descrito tanto efectos estimulantes como supresores. Para poder concluir al respecto, será necesario conocer las consecuencias que las dosis bajas tendrían a largo plazo en el sistema inmune y su relación con la aparición de enfermedades.

#### *Evaluación de las fuentes del radón en relación con sus efectos en los hogares y lugares de trabajo*

La conclusión del Comité en este tema es que aún cuando se producen importantes incertidumbres al extrapolar los riesgos de exposición al radón calculados en los estudios de mineros, para conocer los riesgos de esa exposición en los hogares, los factores de riesgo obtenidos en los estudios de mineros y en los estudios de exposición en los hogares coinciden de manera notable.

La opinión general del Comité, es que los datos examinados para su informe correspondiente a 2006 no hacen necesario introducir cambios en sus actuales estimaciones de los riesgos derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.

#### **Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP): Nuevas recomendaciones 2007**

Como se trata de manera más extensa en otra presentación de la Jornada, la ICRP está próxima a publicar sus nuevas recomendaciones en protección radiológica. En relación con ese acontecimiento, cabe mencionar que el Comité 1 de la ICRP, que trata sobre los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, ha publicado en 2006 el documento "Información biológica y epidemiológica sobre los riesgos sanitarios atribuibles a la radiación ionizante", que constituye uno de los documentos de base de las nuevas recomendaciones. Además, en 2006 el C1 también ha publicado el documento "Extrapolación a bajas dosis del riesgo de cáncer atribuible a la radiación ionizante" (ICRP-99).

En las nuevas recomendaciones se contempla de manera explícita, por primera vez en unas recomendaciones, la protección del medio ambiente frente a radiaciones ionizantes. El Comité 5, que es el encargado de estos temas, ha comenzado en 2006 a elaborar un documento en el que se tratan, entre otros temas, los efectos de las radiaciones ionizantes en especies no humanas (animales y plantas).

Para elaborar las nuevas recomendaciones se ha considerado toda la información generada en las áreas de epidemiología y radiobiología, desde que se publicaran las anteriores recomendaciones en 1990. Algunos cambios de las nuevas recomendaciones en relación a los efectos biológicos son:

- Los anteriormente denominados efectos deterministas, pasarán a llamarse lesiones al tejido, ya que la Comisión entiende que este término refleja mejor los efectos que se producen tras exposición a dosis moderadas-altas de radiación.

- Los factores de ponderación de algunos tejidos han cambiado. Así, los valores de  $w_T$  para mama, médula, colon, pulmón, estómago pasan de 0,12 a 0,60; para gónadas y otros tejidos (hasta un total de 15) pasan de 0,08 a 0,16; para vejiga, esófago, hígado, tiroides pasan de 0,05 a 0,20 y para superficies óseas, cerebro, glándulas salivales, piel pasan de 0,01 a 0,04.

- Se sigue considerando que la relación dosis-respuesta es lineal sin umbral para desarrollo de cáncer y efectos heredables. Los nuevos coeficientes nominales de probabilidad de cáncer y efectos heredables calculados son ligeramente inferiores a los obtenidos en 1990, aunque no hay una diferencia significativa. Por ello, los valores de límites de dosis a aplicar al público en general o a los trabajadores no serán modificados en las nuevas recomendaciones

- Respecto al riesgo de enfermedades no-cancerígenas tras exposición a dosis bajas de radiación y a los efectos no dirigidos y tardíos, la Comisión coincide en sus conclusiones con las alcanzadas por UNSCEAR, comentadas en el apartado anterior. Sobre las implicaciones de la susceptibilidad genética, la ICRP considera que aunque existen enfermedades genéticas conocidas, éstas afectan a un porcentaje muy pequeño de la población por lo que es poco probable que distorsionen la estimación del riesgo.

#### **Comité sobre los Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes (BEIR) de EE.UU.**

Este Comité, de la Academia de Ciencias de EE.UU., ha publicado en 2006 su séptimo informe, el BEIR VII sobre los efectos en la salud de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante. Las conclusiones del Comité coinciden



ampliamente con las de UNSCEAR e ICRP, anteriormente comentadas

### **Lecciones aprendidas tras 20 años del accidente de Chernobyl**

Coincidiendo con el 20 Aniversario del accidente de Chernobyl, en 2006 se han publicado numerosos documentos sobre las consecuencias de dicho accidente en la salud de las personas y el medio ambiente. En la página electrónica de la Sociedad Española de Protección Radiológica ([www.sepr.es](http://www.sepr.es)) se pueden descargar muchos de los documentos publicados sobre el tema.

Destacar el trabajo realizado por el Foro de Chernobyl de las Naciones Unidas dirigido a evaluar el impacto sobre la salud del accidente de Chernobyl, cuyos resultados han sido publicados en el artículo "Cancer consequences of the Chernobyl accident: 20 years on" (Cardis y col., J. Radiol. Prot. 26: 127-140; 2006). El estudio muestra que ha habido un aumento significativo en la incidencia de cáncer de tiroides en los niños y adolescen-

tes expuestos a yodo radiactivo tras el accidente. Para otros cánceres, los estudios son escasos, presentan limitaciones metodológicas y aún puede ser temprano para concluir sobre el impacto radiológico global del accidente, ya que para cánceres sólidos los periodos de latencia pueden ser de varias décadas. Considerando datos obtenidos en otras poblaciones expuestas a radiación, es de esperar que en Chernobyl haya un pequeño aumento en el riesgo relativo de cáncer, que si bien será difícil de identificar en estudios epidemiológicos, puede rendir un número sustancial de casos de cáncer en el futuro, dado el elevado número de personas expuestas.

El OIEA ha publicado en 2006 el informe "Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience", en el que se describen los efectos que la radiactividad liberada en Chernobyl ha tenido en especies no humanas y en el medio ambiente en general.

En los últimos años se ha avanzado en el conocimiento de los efectos bio-

lógicos de las radiaciones ionizantes, permitiendo reducir las incertidumbres en la estimación del riesgo de desarrollar cáncer y enfermedades heredables. También se ha obtenido información relativa a los mecanismos celulares y moleculares por los que actúa la radiación, contribuyendo al esclarecimiento de la respuesta biológica tras exposición a dosis bajas de radiación (del orden de decenas de mSv), las más relevantes desde el punto de vista de la PR. Hay varias cuestiones que deberán resolverse en los próximos años al no existir suficientes datos en la actualidad, entre las que cabe destacar la posible relación entre exposición a radiación y aumento del riesgo de padecer enfermedades diferentes al cáncer, como pueden ser las enfermedades cardiovasculares; los efectos de dosis bajas de radiación en el sistema inmune y las consecuencias para la salud; o las implicaciones que los denominados efectos no dirigidos o tardíos de la radiación podrían tener en el actual sistema de protección radiológica.

## *Las nuevas recomendaciones de ICRP e implicaciones en la revisión de la normativa internacional.*

*David Cancio.*

El año 2006 ha estado marcado por la publicación del borrador de la revisión de las Recomendaciones de la ICRP. Otro hecho relevante, a nivel nacional, asociado a lo anterior, es que el Grupo de Trabajo organizado por la SEPR con la presencia de representantes de los diversos sectores interesados ha logrado consensuar y participar activamente enviando los comentarios españoles a la ICRP. Asi-

mismo, en marzo, se ha reunido en CIEMAT la Comisión Principal de ICRP, en septiembre, también en CIEMAT, se reunió el Comité 4 y en ambos casos conjuntamente con la SEPR se ofreció una Jornada abierta donde los Presidentes de los Grupos de Trabajo presentaron los avances de los trabajos de la ICRP.

En paralelo con los desarrollos de la ICRP tanto la Comisión Europea como

el Organismo Internacional de Energía Atómica han comenzado una serie de actividades preparatorias para la revisión de las Normas Básicas Europeas (EURATOM) y las Internacionales respectivamente. La revisión de la Recomendaciones es uno de los aspectos importantes a tener en cuenta para la actualización de las Normas Básicas.

El mismo Grupo de Trabajo de la SEPR mencionado anteriormente participará

también activamente en este proceso revisando los borradores que se vayan produciendo.

Desde el año 2005 existe una interesante discusión y propuestas para la revisión y desarrollo de los aspectos de las Normas considerados prioritarios, no sólo por lo apuntado anteriormente sino también inducido por la aplicación en la práctica y las novedades científicas o evolución de los criterios.

La revisión de las **Recomendaciones de ICRP** en realidad no incorpora cambios fundamentales para la práctica de la protección radiológica, es tal vez adecuado considerarlas como una actualización o revisión de algunos aspectos. Por ejemplo, se han revisado las bases biológicas de la protección y se han establecido modificaciones en los factores de peso de los diferentes tejidos para la evaluación de la dosis efectiva, siendo la inducción de cánceres el efecto fundamental. Los factores nominales de riesgo resultan algo menores que en las recomendaciones anteriores. Los principios fundamentales de justificación, optimización y limitación individual se mantienen.

En el borrador del 2006 se había propuesto extender el concepto de restricción de dosis a todas las situaciones, pero después de los comentarios efectuados se retienen como anteriormente para las situaciones planificadas, y se utilizan niveles de referencia para las situaciones existentes o de emergencia. No obstante cambia el alcance de la optimización ya que se estipula que es necesario optimizar por debajo de los niveles de referencia, mientras que en las actuales recomendaciones era suficiente con alcanzar esos niveles. Esto generará dificultades para su aplicación en la práctica.



*M<sup>a</sup> Teresa Macías y Leopoldo Arranz, coordinadores de la sesión: "Acciones internacionales y aspectos biomédicos".*

Finalmente es necesario apuntar que ICRP por primera vez introduce el concepto de Protección del Medio Ambiente en sí mismo.

La **Comisión Europea** a través del Grupo de Expertos para la aplicación del artículo 31 del Tratado EURATOM ha comenzado el proceso de revisión de las Normas Básicas Europeas (*Directiva 96/29*).

Se ha establecido que es necesario reforzar los requerimientos para:

- Las fuentes de radiación natural.
- Los criterios para la exención y en especial para la desclasificación.
- La cooperación entre los Estados Miembros para armonizar los criterios y la planificación para situaciones de emergencia.
- La aproximación gradual en el control regulador según el riesgo de las exposiciones que se esperan.

Se han constituido tres grupos de trabajo para analizar los temas y establecer recomendaciones para su tratamiento en la revisión de las Normas. El horizonte temporal tendría como objetivo finalizar en el año 2008, la aprobación por parte del Consejo podría esperarse en 2010.

En el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), durante el año se completó el plan para la revisión de las Normas Básicas de Seguridad conocidas como las Normas Internacionales. En la actualidad ya existen grupos de trabajo y responsabilidades de las Agencias involucradas.

Es de notar que al Comité para la revisión de las Normas Internacionales se han incorporado la Comisión Europea y observadores de ICRP e IRPA. Ello puede propiciar una mayor sustentación, además de armonizar al máximo la normativa internacional. Aquí conviene indicar que en la versión anterior que ahora se revisa han copatrocinado a la misma el OIEA que ejerce la secretaría, OIT, FAO, OMS, OPS, AEN/OCDE.

Las conclusiones principales revisadas por el Comité de Protección Radiológica (RASSC) son:

- No hay necesidad urgente de cambios.
- Existe la necesidad de tener en cuenta las recomendaciones de ICRP y el nuevo documento "Fundamentos de Seguridad".



- También existe la necesidad de tener en cuenta los Acuerdos Internacionales tales como el Código de Conducta y las diversas Convenciones.

- Se necesita introducir mejoras en el balance, claridad y asegurar la consis-

tencia con las Normas de Seguridad que se están editando.

En el trabajo realizado se ha consensado el posible contenido de los Capítulos a incluir en las Normas Básicas y se ha previsto un Capítulo dedicado a posi-

bles requerimientos para la Protección de Medio Ambiente, aspecto incluido por la ICRP, pero es necesario apuntar que este tema está todavía en pleno desarrollo y tal vez no suficientemente maduro como para ser objeto de regulaciones.

## Las aplicaciones médicas. Novedades instrumentales. Acciones internacionales en PR en ICRP, IAEA, CE, OMS

Eliseo Vañó.

### Plan internacional de PR de los pacientes

El Comité de Seguimiento del Plan Internacional de Acción de Protección Radiológica de los Pacientes, coordinado por el OIEA, se reunió en Madrid, del 8 al 10 de febrero de 2006. En el Comité estuvieron representadas las sociedades médicas más importantes, así como la Organización Mundial de la Salud, la Organización Panamericana de Salud y la Comisión Europea.

Se formularon recomendaciones en las áreas identificadas como prioritarias: Seguir apoyando la formación en protección radiológica (PR) de los pacientes, apoyar la difusión de la información sobre temas de PR (con especial interés en el servidor WEB que estaba poniendo en marcha el OIEA), intercambio de información entre las sociedades científicas y organizaciones implicadas (incluyendo los aspectos de accidentes e incidentes en exposiciones médicas), apoyar el incremento de profesionales de Física Médica en aquellos países en los que todavía exista un déficit de estos especialistas, apoyar los aspectos de PR en las modalidades de alta tecnología con mayor crecimiento en muchos países (TC multicorte, radiología digital,

TC-PET, radioterapia con intensidad modulada, etc.), promocionar los programas de garantía de calidad en las exposiciones médicas, refinar los aspectos reguladores en exposiciones médicas, apoyar los programas de asistencia en estas materias a terceros países, y prestar atención a otros aspectos emergentes como el control de calidad de los programas informáticos implicados en los aspectos de dosis a pacientes, aspectos éticos de las exposiciones médicas, transferencias de equipos de segunda mano, etc.

### Comité 3 de ICRP (Protección en medicina)

El Comité 3 (Protección en Medicina) de la ICRP celebró su reunión anual en San Francisco, los días 24-28 de septiembre de 2006, bajo la presidencia de la Dra. Claire Cousins, radióloga intervencionista del Reino Unido.

Se discutieron los documentos que están actualmente en fase de elaboración. A continuación se indica el miembro del Comité responsable de cada uno de los documentos, y el título del mismo (con traducción libre del título original en inglés):

1. Documento de fundamentos sobre "Protección Radiológica en Medicina" (M. Rosenstein).

2. Protección Radiológica para cardiólogos durante los procedimientos guiados con fluoroscopia (C. Cousins).

3. PR en las modernas técnicas de radioterapia (JM Cosset).

4. Dosis de radiación a los pacientes derivadas de los radiofármacos (S. Mattsson)

5. Gestión de dosis a los pacientes en TC multidetector (M Rehani).

6. Dosimetría de manos en radiofarmacia (J Liniecki).

7. Formación en PR para procedimientos diagnósticos e intervencionistas (E. Vano).

8. PR en radiología pediátrica (H. Ringertz).

9. Justificación de exposiciones voluntarias (no ocupacionales) a las radiaciones ionizantes sin el correspondiente beneficio médico (a elaborar conjuntamente por el Comité 3+Comité 4) (pendiente de acuerdo).

10. Nuevas recomendaciones de la ICRP. El Comité discutió el último borrador de septiembre de 2006 y consideró que los aspectos médicos están dispersos en esa versión y se ha sugerido que se unifican en un único capítulo.

También se plantearon los temas de los nuevos documentos a abordar en los próximos años, con las siguientes



prioridades (1 indica la mayor prioridad y 3 la menor):

a. Prevención de accidentes en los nuevos equipos de radioterapia (P. Ortiz) prioridad 1.

b. Cribado de individuos asintomáticos con radiaciones ionizantes (nuevo miembro del Comité 3, pendiente de nombramiento) prioridad 1.

c. PR ocupacional en braquiterapia (JM Cosset) prioridad 2.

d. Protección en PET (PET/TC) y ciclotrones (M. Rehani) prioridad 2.

e. Información sobre PR para los pacientes (M Rehani) prioridad 2.

f. PR ocupacional y dosimetría a los operadores en radiología intervencionista. Correlación con la PR de los pacientes (C Cousins) prioridad 2.

g. Ampliando el uso de los niveles de referencia en radiología digital e intervencionista (E. Vañó) prioridad 2.

h. Seguimiento de personas accidentalmente expuestas (I. Gusev) prioridad 2.

i. Protección en terapia con protones e iones pesados (Y Yonekura) prioridad 3.

j. Beneficios de las alternativas con radiaciones no ionizantes y justificación de exposiciones médicas (H. Ringertz) prioridad 3.

### **Comisión Europea**

Durante 2006, el Grupo de Expertos del Artículo 31 del Tratado EURATOM ha celebrado sus dos reuniones habituales, dedicando a la PR de las exposiciones médicas, una especial atención. El Grupo de trabajo específico para esta área, delegado del plenario del Art. 31, ha tenido varias reuniones adicionales para preparar los temas que posteriormente se han analizado en las sesiones plenarias.

En la reunión de octubre de 2006, se organizó simultáneamente un seminario científico sobre "Nuevas evi-

dencias de los riesgos radiológicos y su posible repercusión en las Normas Básicas de Seguridad (BSS)", en el que algunos aspectos del área médica fueron muy relevantes. N. Kleiman de la Universidad de Columbia, presentó las nuevas evidencias de las cataratas radioinducidas, sugiriendo que podría tratarse de un efecto estocástico sin umbral de dosis.

En el grupo de trabajo específico de exposiciones médicas se analizaron las especificaciones técnicas para los futuros contratos de actualización de los documentos sobre "Criterios de Aceptabilidad de Instalaciones Radiológicas" y de "Referral Criteria". Se analizó el proyecto de un banco de datos europeo sobre accidentes e incidentes en exposiciones médicas y su posible interacción con proyectos similares en el OIEA.

En una de las sesiones, Barry Wall (Health Protection Agency del Reino Unido) presentó un informe del proyecto titulado "Dose Datamed" sobre la metodología para la estimación de dosis a la población derivada de los exámenes de radiodiagnóstico (artículo 12 de la Directiva 97/43/EURATOM).

Se analizó también la posibilidad de celebrar un segundo "workshop" en Dublín sobre exposiciones médico legales. Se informó que la red ALARA que coordina C. Lefauve desde Francia, podría ampliar su actividad a temas de explosiones médicas. Se analizó el informe de la primera reunión de la Plataforma de Educación y Formación en PR (EUTERP) celebrada el 11-12 mayo de 2006 en Bruselas.

Con respecto al proyecto de "Guía sobre protección en pediatría", se informó del estado de la negociación con los grupos que han presentado ofertas para ver si se puede iniciar el

contrato.

Sobre el tema de la armonización en la formación del experto en Física Médica se acordó entrar en contacto con el Presidente de la EFOMP para que presente el material disponible en la organización que preside.

### **Otras acciones internacionales**

Durante 2006, la Facultad de Medicina de Málaga, ha sido de nuevo la sede de un importante evento internacional (2 al 4 de octubre) con más de 150 participantes representando a 18 países. El Simposium Internacional sobre la Protección Radiológica del Paciente (SIPRPO6) ha constituido una puesta a punto sobre el estado actual y las necesidades futuras de esta actividad basándose en el Plan Internacional de Acción del Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Un total de 65 trabajos han sido recopilados en la Revista Radioprotección (no 49 Vol. XIII, Oct-2006) referidos a las áreas temáticas de: Radiobiología, Radiodiagnóstico General, Radiología Intervencionista, Radiología Pediátrica, Radiología de la Mama, Medicina Nuclear, Radioterapia, Embarazo y Radiación Ionizante y Normativa y formación en PR.

El SIPRPO6 ha logrado tratar en profundidad la evolución de las técnicas y sus implicaciones en protección radiológica, tanto con participación de pioneros en las nuevas técnicas, como de profesionales con dilatada experiencia en el día a día, así como de reguladores nacionales e internacionales que ha expuesto el estado actual de la PR del Paciente. Existen métodos de optimización que están todavía muy lejos de estar explotados o transferidos a los programas de formación.

El actual Presidente de la SEPR y tam-



bién del Comité Organizador del evento, el Prof. Rafael Ruiz Cruces, dejó claro que se había logrado el objetivo

de valorar el estado actual y futuro de la protección radiológica del paciente, fomentando el diálogo y el intercambio

de información entre la amplia diversidad de profesionales.

## Acciones en 2006 y proyectos de la especialidad de radiofísica hospitalaria

Montserrat Ribas

Desde diciembre de 2005 en que se constituyó la **Comisión Nacional de Radiofísica Hospitalaria (CNRFH)** del Consejo de Nacional de Especialidades en Ciencias de la Salud, para dar cumplimiento a la *Ley 44/2003, de 21 de noviembre, de Ordenación de las Profesiones Sanitarias*, se han realizado las siguientes acciones:

- Informar sobre el número de plazas para la convocatoria del año 2007 de formación especializada de Radiofísicos Hospitalarios. La CNRFH propuso ofertar todas las plazas de las Unidades Docentes Acreditadas (28). Esta actividad se realiza anualmente a petición del Ministerio de Sanidad y Consumo (MSC).

- Refrendar el documento elaborado y presentado al MSC en el 2005 por la anterior CNRFH, sobre los requisitos de acreditación de las Unidades Docentes para la formación de especialistas sanitarios en radiofísica hospitalaria.

- Revisar el programa de formación de tres años, que anteriormente a la creación de esta CNRFH se había elaborado y presentado al MSC y a su vez se había informado al Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Se han aportado ligeras modificaciones al programa que no afectan al contenido teórico y práctico y se ha presentado de nuevo al MSC.



- Resolución del MSC aprobada en abril 2006 sobre formación en Protección Radiológica que tienen que impartir los Servicios de Radiofísica Hospitalaria / Física Médica / Protección Radiológica en los programas formativos de especialidades en ciencias de la salud y que corresponde a cada Comunidad Autónoma desarrollarlo.

En este sentido, en algunas CCAA, como Aragón, Cataluña y Madrid, los respectivos Servicios mencionados se han reunido con la Administración correspondiente para llegar a un acuerdo y empezar a aplicar la resolución a partir de junio de 2007.

La CNRFH, con motivo de los cambios previstos para la adaptación del sistema universitario español al Espacio Europeo de Educación Superior, está trabajando en manifestar su opi-

nión en relación con la formación sanitaria del especialista en Radiofísica Hospitalaria. Estimamos que esta debe englobar dos aspectos:

- Una formación universitaria que abarque un programa de grado y de postgrado, de forma que se alcancen los 300 ECTS a partir de los cuales se permita el acceso a las pruebas para la formación de especialista.

- Una formación hospitalaria, mediante el programa lectivo establecido para esta especialidad con una duración de cuatro años.

Estos dos proyectos son en los que ha empezado a trabajar la CNRFH y así lo ha manifestado a la Dirección General de Universidades del Ministerio de Educación y Ciencia y también a la Dirección General de Ordenación Profesional del MSC.

## Últimos avances tecnológicos en los sistemas de diagnóstico por imagen y radioterapia

Miguel Modolell y Adolfo Velasco

### Últimos avances tecnológicos en radioterapia

En los últimos años han surgido nuevas técnicas que ayudan a cumplir más fácilmente el objetivo de la radioterapia. Uno de ellos ha sido conseguir el suministro de la mayor dosis posible al volumen blanco, respetando al máximo los tejidos sanos circundantes.

Para ello mi conferencia se centrará en dos de las fases del proceso:

- A) Planificación
- B) Tratamiento

En planificación ha habido tres avances que, a mi juicio, han facilitado mucho el trabajo del radiofísico:

- 1- Histogramas dosis-volumen.
- 2- Planificación 3d.
- 3- Planificación inversa.

En el caso del tratamiento los avances se centran en el modo y en las zonas del cuerpo donde se va a realizar el tratamiento:

- 1- IMRT en todas sus modalidades (cómo irradiar)
- 2- IGRT: en qué zonas irradiar

### Últimos avances tecnológicos en los sistemas de diagnóstico por imagen

El desarrollo tecnológico de los sistemas de imagen que utilizan rayos X ha permitido grandes avances en el rendimiento de los equipos, en la calidad de imagen obtenida y también en las dosis.

Se presenta un sumario de nuevas tecnologías ya disponibles, y algunas en desarrollo, que permiten alcanzar los objetivos enunciados en equipos de: radiografía, fluoroscopia, tomografía axial computerizada y medicina nuclear.

En el área de radiografía tenemos los detectores planos, utilizados en salas de rayos X, pero también en unidades móviles e incluso en sistemas telemandados dedicados a la realización de estudios complejos (con múltiples proyecciones, medios de contraste y fluoroscopia).

Los detectores planos también se utilizan en sistemas de intervencionismo con gran éxito, obteniendo una cali-

dad de imagen excelente con matrices de hasta 2.000 pixels por 2.000 pixels (4 megapixels) en toda la cadena de imagen. En estos sistemas, además se reducen las dosis con sistemas de filtrado espectral y con sistemas de corte de los pulsos de fluoroscopia por rejilla (con control computerizado).

En los últimos años los sistemas TAC se han beneficiado de una auténtica revolución tecnológica, con logros como la adquisición simultánea de hasta 64 cortes con una cobertura de hasta 40 mm. Ahora, la evolución sigue con: mayores coberturas, espectacular mejora de la calidad de imagen gracias al TAC espectral, y también gestión especial de la dosis en los estudios cardiológicos (con reducciones de dosis de hasta el 80%).

Por último, el PET también ha tenido un avance revolucionario con la tecnología denominada *Time of Flight*, con la que es posible medir dentro de un evento de coincidencia, el tiempo que tarda el fotón en llegar al detector, con una precisión de hasta 650 ps.

## Aplicaciones en biomedicina: Nuevas técnicas de imagen I+D. Perspectivas futuras

Fernando Usera

### Las técnicas de imagen en investigación y diagnóstico

La utilización de radiaciones ionizantes en investigación y diagnóstico ha posibilitado el desarrollo de técnicas

de transmisión como la radiografía y la tomografía axial computerizada (TAC ó TC) o de emisión, en las que es necesaria la administración previa de un radiotrazador: gammagrafía, tomografía computerizada por emisión de

fotón único (SPECT) y tomografía por emisión de positrones (PET).

Las técnicas de transmisión producen fundamentalmente una imagen anatómica, mientras que las técnicas de emisión proporcionan una imagen



esencialmente funcional del tejido u órgano en estudio. Actualmente, el desarrollo de nuevas técnicas en las que se combinan la transmisión y la emisión de radiaciones ionizantes, está permitiendo un salto cualitativo tanto en el diagnóstico temprano como en la investigación en biomedicina a nivel fisiológico y molecular.

### **Desde la gammagrafía a la PET/CT**

Las técnicas de emisión son muy seguras ya que las moléculas marcadas utilizadas como radiotrazadores se administran en dosis muy pequeñas y, por otra parte, la cantidad de radiación recibida es similar o inferior a la recibida en una exploración radiológica convencional.

La técnica de emisión clásica es la gammagrafía, en la que se obtiene una imagen planar mediante la utilización de una gammacámara. Posteriormente, surgió la SPECT como una variante tomográfica de la gammagrafía. En la SPECT, las imágenes obtenidas en diferentes ángulos se usan para reconstruir una serie de imágenes tomográficas que permiten determinar mejor la localización y distribución del radioisótopo, proporcionando mejores resultados sobre la funcionalidad de órganos y tejidos.

Por último, la PET, presenta importantes ventajas frente a las dos técnicas indicadas ya que, al basarse en la radiación gamma de aniquilación, puede utilizar un circuito de coincidencia formado por dos gammacámaras opuestas, pudiéndose obtener mayor resolución en la imagen y reduciéndose el fondo de detección. La aparición de la PET ha sido posible gracias al desarrollo de nuevos aceleradores de partículas para la obtención fácil de emisores beta positivos, a la obtención de nuevas moléculas susceptibles de utilizarse como radiotrazadores y al desarrollo de nuevos elementos foto-

detectores y de sistemas informáticos de alta capacidad.

Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, las técnicas de emisión, entre ellas la PET, no ofrecen una imagen anatómica con elevada resolución. Esto se ha resuelto muy recientemente con el desarrollo de la técnica combinada PET/CT, en la cual, y gracias a complejos programas informáticos, se combinan las imágenes anatómicas de alta resolución suministradas por la CT con las claras imágenes de funcionalidad obtenidas con la PET.

### **Aplicaciones de la PET en investigación biomédica. Perspectivas**

Con la técnica PET ó PET/CT se han abierto grandes posibilidades en la investigación del cáncer, de las enfermedades cardiovasculares, de las enfermedades cerebrales y en general de enfermedades que cursan sin cambios estructurales y que únicamente presentan cambios bioquímicos. Esto es debido a que se pueden estudiar "in vivo", y de forma no destructiva, funciones biológicas como la actividad metabólica, el flujo sanguíneo, la viabilidad celular, la proliferación celular, el transporte de aminoácidos, la densidad y ocupación de neuroreceptores, etc.

Sin embargo, la investigación en humanos se encuentra en muchas ocasiones limitada, lo que hace que tenga una importancia primordial la utilización de animales de experimentación, fundamentalmente roedores. Esto ha dado lugar al desarrollo reciente de los microPET y microPET/CT. Una cámara PET de animales pequeños ha de adaptarse al tamaño de los mismos, situando los sensores a una distancia reducida para obtener una buena sensibilidad. Por otro lado, debe disponer de una resolución espacial suficiente, cercana al milímetro. Además, en los

nuevos microPET se ha mejorado la velocidad en la obtención de la imagen y la calidad de la misma.

La utilización de microPET ha abierto nuevas perspectivas de investigación a nivel fisiológico y molecular: desarrollo de nuevos fármacos, estudio de radiotrazadores en animales antes de usarlos con seres humanos, estudios de expresión génica, y en concreto de terapia génica, etc.

Las ventajas que aportan los microPET en investigación, han provocado que se empiecen a implantar instalaciones de este tipo a lo largo de la geografía nacional. Por ahora, se han autorizado al menos ocho instalaciones microPET (dos en Madrid, dos en Barcelona, una en Salamanca, una en Málaga, una en Sevilla y una en Pamplona), estando en proyecto al menos otras cuatro (dos en Madrid, una en Derio y una en Santiago de Compostela).

A continuación se especifican dos de las aplicaciones más importantes y novedosas de la PET:

#### *Desarrollo de nuevos fármacos:*

En el desarrollo de nuevos fármacos utilizando la técnica PET, se utilizan radiofármacos en muy baja cantidad, no produciéndose interferencias en el estudio debidas a efectos farmacodinámicos y facilitándose la autorización de los ensayos clínicos. La PET, al ser una técnica "in vivo" no invasiva presenta una serie de ventajas que permiten obtener muy buenos resultados en la caracterización farmacocinética y farmacodinámica, así como en la evolución y seguimiento de los tratamientos. Además la sensibilidad que se puede obtener es muy elevada, pudiéndose detectar concentraciones del orden de 1 picomol en tejido.

#### *Estudios de terapia génica:*

En los estudios de terapia génica se utilizan vectores virales en los que se



ha introducido el gen terapéutico. Estos vectores deben tener afinidad selectiva por los tejidos de interés, introduciendo su material genético y haciendo que el gen terapéutico se exprese en las células diana. En los estudios sobre terapia génica utilizando la PET, ade-

más del gen terapéutico, se introduce en el vector viral un gen reportero cuyo producto va a tener afinidad por una sonda radiotrazadora que se adicionará posteriormente. De esta forma, y en función de la unión específica proteína reportera – sonda radiotrazadora, se

pueden resolver cuestiones sobre la estrategia de terapia empleada relativas al grado de transferencia génica, la especificidad del vector utilizado, el grado de expresión del transgen terapéutico, la duración de dicha expresión, etc.

## Dosimetría e Instrumentación. Hitos 2006

Antonio Delgado

### Actínidos

De las no excesivamente numerosas novedades imputables al extinto 2006, mi opción es destacar dos hechos relevantes, de distinta naturaleza, pero ambos relacionados con el control y la medida de Actínidos. Se trata por un lado del protagonismo creciente de la dosimetría interna de actínidos provocado por las actividades en auge de desmantelamiento y descontaminación (D+D) de instalaciones nucleares y por otro de la necesidad de detectar con fiabilidad actínidos, evitando tanto falsos positivos como negativos, en las muy importantes actividades de control de tráfico ilegal de material nuclear necesarias para comprobar el cumplimiento del tratado de no proliferación.

#### a) Dosimetría Interna de Actínidos

En el esquema de protección radiológica en actividades de D+D, especialmente en las derivadas de la clausura de centrales nucleares, un hecho característico y diferencial es la exposición a actínidos, Pu y Am esencialmente y por tanto la necesidad de establecer controles específicos, ambientales y también individuales. Como la clausura de la primera generación de CCNN ha comenzado ya e irá previsiblemente ampliándose y extendiéndose a nuevas centrales, la necesidad de tales

controles seguirá una pauta parecida y su número y frecuencia también aumentará en los próximos años, llegando a ser muy probablemente una de las actividades más importantes en los laboratorios de dosimetría.

Fuera de las actividades de D+D la presencia de actínidos es muy limitada especialmente en los países sin industria militar nuclear, como es el caso de España. Ello puede haber propiciado que exista una cierta indefinición acerca del papel relativo de los controles ambientales y los individuales y que además los métodos habituales para la determinación de actínidos en excretas, lentos y costosos, se adapten mal a situaciones con alta demanda de controles.

Es urgente en primer lugar clarificar cuando basta con controles ambientales y cuando y en qué condiciones son requeridos controles individuales por bioanálisis de excretas. Para ello es necesario un análisis realista de los valores de la actividad mínima detectable de los métodos susceptibles de empleo para ambos tipos de controles y para los radionucleidos de interés. No es tarea simple pero es imprescindible y urgente. Bien podría suceder que para actínidos el esquema habitual control de área/control individual no fuera de aplicación. La dificultad de medir concentraciones de actividad muy ba-

jas junto a los elevados coeficientes de dosis típicos de los actínidos, propician que cualquier actividad significativamente superior al AMD resulte en una dosis efectiva comprometida en claro conflicto con los niveles de registro e investigación establecidos de modo genérico para cualquier radionucleido.

#### b) Detectores superconductores para control de tráfico ilegal de material nuclear

En marzo del 2006 el *National Institute for Standards and Technology* (NIST, EEUU) publicó una nota de prensa anunciando el desarrollo de un prototipo de detector de radiación gamma empleando materiales superconductores a muy baja temperatura mejorando en más de un factor 10 las características de los mejores detectores convencionales, refiriéndose en particular a la resolución en energía y a los detectores de semiconductor (HPGe). (*NIST News Release: Record-Breaking Detector May Aid Nuclear Inspections, March, 14, 2006*). En la nota se hace referencia a pruebas con diferentes isótopos de Pu y U que han permitido apreciar la sustancial mejora de la capacidad de detección y caracterización del complejo esquema de emisiones X y  $\gamma$  producido por estos isótopos. Ello en la práctica permitiría realizar de forma completa y exenta de ambigüedades el análisis isotópico de esos materiales permitiendo averiguar



su concentración relativa y por ello de qué tipo de material se trata, combustible nuclear, o material militar. Ello es esencial para el control y la prevención de tráfico ilegal de materiales nucleares,

y ese es precisamente el propósito y la aplicación contemplada para el nuevo detector gamma superconductor.

El detector está constituido por un conjunto de microcalorímetros, ope-

rando a 0,1 K, detectando los incrementos de temperatura inducidos por la radiación gamma en un material superconductor asociado a un microtermistor.

## Centrales nucleares e instalaciones de fabricación de combustible nuclear

Domingo Sustracha

### Resultados de la operación de las centrales

Las centrales nucleares españolas han operado con normalidad en el año 2006. Se han realizado las 4 paradas programadas para recargas y otras 5 paradas no programadas para resolver diferentes problemas técnicos que han surgido en la operación de las centrales. Estos valores confirman la tendencia decreciente de los últimos años, en línea con las tendencias internacionales y son fruto del esfuerzo del sector Nuclear español en la reducción del término fuente en las centrales y de la optimización de las tareas de mantenimiento y operación en las centrales.

Respecto a las descargas de radioactividad a través de los efluentes líquidos y gaseosos, no se ha producido ninguna descarga incontrolada de las centrales al medio ambiente, manteniéndose los valores de radiactividad medidos en los planes de vigilancia radiológica del entorno de las instalaciones en los mismos niveles que en las medidas preoperacionales realizadas antes de la puesta en marcha de la central.

Se han registrado un total de 66 sucesos notificables en el conjunto de las centrales, todos ellos de nivel 0 (sin significación para la seguridad) de acuerdo con la escala internacional INES del OIEA. De estos, 7 han tenido que ver con temas radiológicos: 4 con alarmas de alta radiación en sistemas o zonas

de las centrales; 1 con alarma de radiación en la gestión de residuos; 1 con fuentes radiactivas y 1 con señales espurias de la instrumentación.

En el año 2006 se ha puesto en marcha, a modo de prueba, el Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC). Este sistema es una metodología de evaluación del funcionamiento de estas instalaciones desde el punto de vista de la Seguridad Nuclear y la Protección Radiológica, consistente en el seguimiento de unos indicadores definidos y la identificación y evaluación de hallazgos.

Desde el punto de vista de la PR se han definido dos indicadores:

- Efectividad del control de la exposición ocupacional: refleja ocurrencias en zonas de Permanencia Reglamentada o de Acceso Prohibido, así como exposiciones no planificadas.

- Control de efluentes radiactivos: refleja si ha habido casos de incumplimiento de dosis mensual, liberaciones incontroladas o la dosis acumulada debido a efluentes supera los 100  $\mu$ Sv en los 12 últimos meses.

A lo largo del año 2006 estos indicadores han estado en Verde con valor 0 en todas las Centrales, no habiéndose producido en 2006 ningún suceso categorizado como hallazgo.

En conclusión, se puede afirmar que desde el punto de vista de la PR en la operación de las centrales el año

2006 ha sido un año normal, sin hechos significativos que destacar.

### Actuaciones sectoriales

De forma sectorial, las centrales nucleares españolas se coordinan a través de la Comisión de Protección Radiológica y Sanitaria del Comité de Energía Nuclear de UNESA (Comisión de PRyS), en la que están representadas, a través de sus jefes de PR, todas las centrales nucleares. UNESA tiene establecidas una vía de relación sectorial con el CSN a través del Grupo mixto CSN-UNESA de Protección Radiológica y Residuos (Grupo Mixto de PRR) y otra vía de relación sectorial con ENRESA a través de la Comisión Paritaria UNESA-ENRESA. Las actuaciones sectoriales más destacadas en cada uno de estos foros han sido las siguientes:

#### Comisión de PRyS de UNESA

- Se han aportado datos anuales de dosis ocupacional al banco internacional de datos dosimétricos (ISOE).

- Se ha realizado un estudio de la experiencia acumulada hasta la fecha en la utilización de los pórticos instalados en las centrales para detección de material radiactivo en vehículos de transporte.

- Finalización de un informe para evaluar las posibilidades del desarrollo de acciones para la reducción de volumen

de residuos producidos anualmente por las centrales nucleares.

A lo largo del año 2006 se han editado en UNESA los siguientes documentos técnicos conjuntos:

CEN-17 "Seguimiento de las actividades rutinarias del servicio de protección radiológica"

CEN-18 "Determinación del punto de tarado para el pórtico de vehículos en las CC.NN. españolas"

CEN-19 "Guía para el transporte de material radiactivo (TMR)"

CEN-20 "Procedimiento para la expedición del transporte de materiales radiactivos"

CEN-21 "Procedimiento para la recepción del transporte de materiales radiactivos"

#### *Grupo Mixto CSN-UNESA de PRR*

- Se ha trabajado con el CSN en la definición de los indicadores de Protección Radiológica operacional (trabajadores) y Protección Radiológica ambiental (público) del Sistema Integrado de Supervisión de Centrales (SISC). Se ha colaborado también con el CSN en la elaboración de procedimientos de inspección en el área de Protección Radiológica y se ha preparado un proyecto de procedimiento genérico para determinar aquellos hallazgos que deben ser corregidos en el Programa de Acciones Correctivas (PAC).

- Realización de un proyecto de validación de los factores de escala de bulbos de media y baja actividad para su aplicación a materiales desclasificables.

- Finalización del proyecto INDAC de dosimetría interna.

- Elaboración de una propuesta al CSN, sobre la redacción de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETFs) en lo referente a la interpretación de sucesos notificables de Protección Radiológica.

- Incorporación de los aspectos relativos al combustible gastado y residuos

de alta actividad en la guía del CSN para la preparación de los Planes de gestión de Residuos Radiactivos de las centrales.

#### *Comisión Paritaria UNESA-ENRESA*

- Actualización del Acuerdo con ENRESA sobre financiación de proyectos de reducción de volumen de residuos de las centrales.

- Preparación de una revisión y actualización del Contrato-Tipo sobre gestión de residuos, combustible y desmantelamiento de centrales.

#### **Resultados de la operación de la fabrica de elementos combustibles de ENUSA**

El proceso de fabricación de combustible tiene los mismos planteamientos conceptuales de PR que las centrales nucleares, pero con la característica de que se trabaja con un solo elemento: el uranio. Las propiedades específicas de este elemento y sus radioisótopos, así como los procesos cerámicos y mecánicos de fabricación de los elementos combustibles, condicionan los riesgos y las medidas de protección y control correspondientes.

En el año 2006 la dosis colectiva operacional en la fabrica de Juzbado ha sido de 0,041 Sv/x persona, con una dosis máxima de 2,6 mSv, no habiéndose dado positivos de contaminación interna ni en análisis de orina ni por contador de radiactividad corporal. Así mismo, no se ha producido ninguna descarga incontrolada de la instalación al medio ambiente, manteniéndose los valores de radiactividad medidos en los planes de vigilancia radiológica preoperacionales.

#### **Otros acontecimientos relevantes del año 2006.**

En el ámbito de la energía nuclear cabe destacar adicionalmente a lo ya

expuesto los siguientes acontecimientos:

- *Parada definitiva de José Cabrera:* El 30 de Abril del 2006 ceso de forma definitiva su operación la Central Nuclear de José Cabrera, debido a la no renovación de su permiso de explotación por parte del Ministerio de Industria. El resumen operativo de los últimos tres años de esta central presenta unos resultados muy significativos:

- No ha habido ningún disparo en los últimos 5 años.

- La máxima producción anual de su historia fue en el año 2004, con 1,246 Gwh.

- El máximo tiempo acoplado a la red fue en el 2005 con 388 días: 14/01/04 a 05/02/05.

- El menor tiempo de recarga fue en el 2005, con 26 días.

- La dosis ocupacional media de los últimos 5 años ha sido de 0,63 Sv/persona, lo que representa una reducción del 75% respecto a la media de la vida de la central.

- La menor dosis colectiva en recarga ha sido en el 2005 con 0,327 Sv/p.

Ya en los últimos años de operación se venía trabajando en actividades de predesmantelamiento y acondicionamiento de residuos operacionales, destacándose la gestión de residuos del Almacén III, en el que se almacenaban los restos de las últimas importantes modificaciones de diseño para la modernización de la central efectuadas en los últimos 10 años. Estos restos representaban un total de 404 Tn de chatarra, de las cuales se ha desclasificado 250 Tn (62%). El proceso ha supuesto la aplicación de técnicas de investigación y desarrollo de metodología, aprobada por el CSN, que han supuesto un importante ahorro de dosis y costes.

- *Proyecto Garoña 2019:* Con objeto de renovar el permiso de explotación de la Central Nuclear de Santa



María de Garoña, válido hasta el año 2009, esta central viene desarrollando un profundo plan de renovación, que ha tenido un hito muy importante en el año 2006 con la presentación de la solicitud de renovación de este permiso hasta el año 2019. El CSN deberá analizar esta solicitud y emitir un informe, para que el Ministerio de Industria emita la correspondiente solicitud de explotación por el periodo que considere oportuno. El plazo para emitir esta autorización es mediados del año 2009.

Hay que destacar que en Estados Unidos, país de referencia de la tecnología de la C.N. de Santa María de Garoña, el organismo regulador norteamericano (NRC) ha concedido ya la renovación de licencias de operación hasta los 60 años a 48 unidades en 27 emplazamientos (46% del parque) de las centrales nucleares del país, entre ellas a 16 centrales BWR análogas a Garoña (entre ellas sus coetáneas Monticello, Dresden 2 y 3, Nine Mile Point 1 y 2) y para el 2009 más de la mitad de las centrales americanas habrán renovado su licencia hasta los 60 años.

• *Mesa de Diálogo sobre la evolución de la energía nuclear en España:* A lo largo del primer semestre del año 2006 se han venido desarrollando las reuniones de una mesa de diálogo de amplio espectro político y social que ha reflexionado sobre temas relacionados con el futuro de la energía nuclear en España, agrupados en cuatro áreas:

- Estrategia para la gestión de los residuos radiactivos de alta actividad.
- Información a la Sociedad y su participación en los mecanismos de toma de decisión.
- El Consejo de Seguridad Nuclear y la legislación en materia de Medio Ambiente.
- La cobertura de la demanda energética en España y la energía nuclear.

El Sector nuclear estuvo representado en esta Mesa por UNESA y el Foro Nuclear, participando muy activamente en todos los debates. Las conclusiones más significativas asociadas al área de cobertura de la demanda, alcanzadas en la Mesa de Diálogo se resume en los siguientes puntos:

- El Gobierno debe desarrollar políticas energéticas dirigidas a garantizar suministro y competitividad, considerando que el uso mayoritario de combustibles fósiles hace que el modelo energético actual no sea sostenible a largo plazo. El análisis a largo plazo de la estrategia de suministro eléctrico debe considerar los siguientes factores:
  - Integrado en un contexto energético amplio.
  - Disponibilidad actual y evolución previsible de tecnologías.
  - Repercusiones medioambientales y económicas.
  - Capacidad de ahorro y eficiencia energética.
  - Seguridad de suministro.
  - Objetivo de alcanzar un modelo energético sostenible futuro.
- Las causas de la oposición de la población a la energía nuclear se debe principalmente a:
  - La inexistencia de una solución probada para los residuos de alta actividad.
  - El riesgo percibido relacionado con este tipo de energía.
- Una reducción progresiva de la generación nuclear exigiría disponer de un plan alternativo de sustitución realista.
- Para que la energía nuclear sea una opción energética con vistas a futuros desarrollos.
  - Avances tecnológicos para mejoras en la seguridad.
  - Costes de inversión y plazos de construcción menores.
  - Generación de menos residuos.
  - Bajo riesgo de proliferación.

- Solución adecuada a la gestión de los residuos de alta actividad.

- Amplio consenso político y social.

— Para garantizar la seguridad de las instalaciones nucleares en funcionamiento es necesario su mantenimiento adecuado mediante inversiones y la disposición de capacidades técnicas y humanas.

— La energía nuclear no contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero ni al calentamiento global.

— Se debe realizar un esfuerzo de I+D en todas las fuentes, para conseguir procesos más limpios y eficientes

• *Resurgimiento mundial de la energía nuclear:* El año 2006 ha vivido un notable resurgimiento de la energía nuclear en distintos países del mundo desarrollado. La situación actual es la siguiente:

— EUROPA

- Alemania: ¿continuación acuerdo gobierno/industria?

- Bulgaria y Rumania: construcción nuevas centrales.

- Finlandia: construcción 5º reactor; consideración 6ª unidad.

- Francia: Flamanville-3; nuevo programa reactores en 2020

- Holanda: operación a largo plazo CN Borssele.

- Suecia: reconsideración moratoria; aumento de potencia.

- Reino Unido: reanálisis de la opción nuclear.

- Rusia: ambicioso programa construcción nuevas centrales.

— ESTADOS UNIDOS

- New Energy Act 2005.

- Previsión 10 nuevos reactores en 2015.

- Operación a largo plazo: 48 reactores.

— ASIA

- China + India: construcción de 60 nuevos reactores en 25 años

— OTROS PAÍSES CON PLANES NUCLEARES

- Australia, Sudáfrica, Marruecos, etc.



## Desarrollos nacionales e internacionales en la gestión de los residuos radiactivos

Pedro Carboneras

**A nivel nacional** los hechos más relevantes en esta materia han sido los siguientes:

- El Gobierno ha aprobado el 6º Plan Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PGRR), a propuesta del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC). El Plan aprobado tiene dos elementos diferenciales básicos respecto de los anteriores:

a) En su gestación han participado diversos Agentes nacionales ofreciendo comentarios y pareceres, por lo que puede decirse que este nuevo Plan parte de un grado mayor de consenso general en su contenido.

b) El reforzamiento de la importancia de la gestión temporal de los residuos radiactivos de alta actividad (incluyendo al combustible nuclear gastado), como el componente más estratégico y esencial, en el momento actual, de la gestión de residuos radiactivos en el país.

- En este periodo, el Gobierno impulsó una mesa de diálogo, de composición amplia, relativa a diversos aspectos en torno al futuro de la energía nuclear. Una parte del debate estuvo dedicado a la gestión temporal de los residuos de alta actividad (incluyendo el combustible nuclear gastado). En este punto y siguiendo diversos acuerdos Parlamentarios y el contenido del PGRR aprobado, el énfasis principal se puso en la conveniencia de proceder a la implantación en España de un Almacén Temporal Centralizado (ATC) para este tipo de residuos, siguiendo un proceso de voluntariedad y transparencia plenos.

Siguiendo las conclusiones de esta "mesa de diálogo", desde el Gobierno

se ha creado una Comisión Interministerial y un Comité Técnico Asesor, para impulsar y conducir el tema indicado, que está avanzando en sus tareas, con vistas a plantear un proceso abierto y público de ofrecimiento, con sus características y condiciones, en los primeros meses de 2007 previsiblemente.

En relación con este tema, ENRESA ha obtenido del Consejo de Seguridad Nuclear la apreciación favorable de un diseño genérico para la instalación del ATC, lo que sin duda facilitará el proceso de autorizaciones de la misma en el futuro.

- También resulta relevante la retirada, por parte del Gobierno, del recurso de inconstitucionalidad planteado en su día sobre la Ley de Fiscalidad de Andalucía, en vigor desde 2003, que grava el almacenamiento de residuos radiactivos en El Cabril. Esta ha coincidido con la edición de una nueva versión de dicha Ley, aprobada el 30/12/2006, que introduce variaciones sustanciales en la misma, que se consideran muy positivas para la operatividad de la gestión de residuos de media y baja actividad en España.

- En este periodo ha avanzado el proceso de conversión de ENRESA en una "entidad Pública Empresarial" (EPE), tal y como decidieron las Autoridades, que no altera su operatividad, pero asigna a la gestión de los residuos radiactivos el carácter de "servicio público". Se requiere un cierto desarrollo legal complementario a lo ya elaborado y la aprobación del Estatuto correspondiente. El proceso presumiblemente concluirá a lo largo de 2007.

En los aspectos más operativos de las actividades en España en relación con este tema, se puede destacar:

- Operación normal del Centro de Almacenamiento de residuos de Media y Baja Actividad (RMBA) de El Cabril. Avanza según programa la construcción de las nuevas celdas para el almacenamiento de los residuos de muy baja actividad (RBBA), que presumiblemente entrarán en operación en 2007. A finales de 2006 se habrán recibido un total de 26.254 m<sup>3</sup> de RMBA, y almacenado 4.910 contenedores en las celdas, con un grado de ocupación del 54,80%.

- Se mantiene la normalidad en la retirada y gestión de RMBA de las Instalaciones españolas. En 2006 se sigue observando una mejora en la gestión interna de los Titulares de Instalaciones, que en el caso de las radiactivas estaría relacionado con los desarrollos reglamentarios en vigor respecto de la "desclasificación" de materiales residuales y con la aplicación de Guías Técnicas desarrolladas por la SEPR.

- Se mantiene la operatividad del "Protocolo para la Vigilancia Radiológica de los Materiales Metálicos", en vigor desde 1999 a raíz del incidente de fusión de una fuente radiactiva. Se producen unas 100 detecciones al año, la mayor parte a causa de materiales contaminados con radiactividad natural. Este "Protocolo" está siendo una referencia para otros desarrollos nacionales e internacionales, en áreas y con objetivos similares.

- Por parte de ENRESA, en colaboración con los Titulares de las instalacio-



nes respectivas, se avanza en la ejecución del proyecto de desmantelamiento de determinadas instalaciones del CIEMAT (PIMIC), y también en el desarrollo del proyecto para el desmantelamiento de la C.N. José Cabrera (Zorita), cuyo comienzo se prevé en 2009. En el emplazamiento de Vandellós 1 se mantiene la situación de "latencia" y se lleva a cabo el programa de vigilancia correspondiente. También en la antigua fábrica de uranio de Andújar (FUA), ya restaurada, se mantiene el programa de vigilancia.

- ENRESA mantiene operativa su capacidad para retirar cabezales radiactivos de pararrayos que aún existan en el territorio nacional. Tras la masiva retirada ya finalizada, los casos son ya esporádicos.

En el caso de los Detectores Lónicos de Humo (DIH), el cambio normativo que entró en vigor en 2005, asigna la responsabilidad de su retirada y gestión a los fabricantes y comercializadores, actuando ENRESA sólo al final de la cadena, para retirar y gestionar la pequeñas fuentes desmontadas. A finales de 2006, los comercializadores han promovido la operación de una instalación radiactiva en la Comunidad Catalana, para hacerse cargo de su parte de la gestión.

- En febrero se publicó el RD 229/2006 sobre el control de fuentes radiactivas de alta actividad y fuentes huérfanas. En base al mismo, las Autoridades (MICYT y CSN) han decidido encargar a ENRESA la realización de una campaña, de alcance nacional, para la búsqueda y recuperación de fuentes huérfanas, a desarrollar entre 2007 y 2008, y con cargo a los Presupuestos Generales del Estado, en base a las asignaciones oportunas. La campaña dará comienzo en Febrero 2007 y se espera contar con los apoyos institucionales y operativos oportunos para su desarrollo exitoso.



Isabel Villanueva y Pío Carmena, coordinadores de la sesión "Aspectos dosimétricos, técnico-industriales, medioambientales y sociales".

**A nivel internacional**, el acontecimiento más importante, en lo que a gestión de residuos se refiere, fue la celebración de la segunda reunión de revisión de la *Convención Conjunta* sobre la seguridad de la gestión del combustible gastado y sobre la seguridad de la gestión de los desechos radiactivos, que tuvo lugar en Viena del 15 al 24 de mayo.

En el marco de EURATOM, el Consejo aprobó en los últimos días de año el 7º Programa Marco de Investigación y Desarrollo en Fisión, que como en programas anteriores se centra en gran medida en la gestión de los residuos radiactivos.

En lo que respecta a países de nuestro entorno, en Francia se aprobó la ley sobre residuos radiactivos, como una parte del Código Medioambiental. En ella se revisan aspectos fundamentales de la política nacional para la gestión de estos materiales, conducida por varias instituciones públicas, que incluyen las responsabilidades de la agencia estatal ANDRA.

En el Reino Unido, el Gobierno asumió las recomendaciones del CoRWM (comité independiente establecido en 2002 para el estudio de alternativas para la gestión de los residuos radiac-

tivos de larga vida), que destacaba la disposición geológica como mejor alternativa para la gestión a largo plazo de los residuos británicos de alta actividad. Al tiempo, el gobierno se propone aumentar las capacidades y responsabilidades de la *Nuclear Decommissioning Authority* (NDA), hasta ahora responsable del desmantelamiento de centrales de primera generación, el almacenamiento definitivo de los residuos de baja actividad y el almacenamiento temporal, mediante asunción de la responsabilidad del programa de disposición geológica y la incorporación de los conocimientos y tecnología de UK NIREX desarrollados en estos años en relación a las actividades para el almacenamiento geológico.

Las actividades internacionales de ENRESA siguieron una línea similar a la de años anteriores, colaborándose con Organismos Internacionales y apoyando al desarrollo, en áreas de su competencia técnica, de países del Este de Europa y Sudamérica. La colaboración con el OIEA se centró tanto en la participación en reuniones de este Organismo como en la recepción de visitas científicas y de becarios, en su gran mayoría latino americanos, como

en diversas misiones en calidad de expertos. En relación con los países del este europeo, sola o en colaboración de otras Agencias similares, se han

desarrollado estudios de diseño y puesta en aplicación de estrategias de gestión. Con una finalidad similar, se formalizó un acuerdo específico con la CNEA de

Argentina para asesorar a esta Comisión en el desarrollo de un proyecto de instalación de almacenamiento definitivo de RBMA similar a la de El Cabril.

## *Radiaciones no ionizantes: acciones legales y novedades científicas en 2006*

*Alejandro Úbeda*

El 2006 fue un año productivo en la investigación dedicada a la radioprotección ante radiaciones no ionizantes (RNI). El área que ha registrado un mayor crecimiento en la generación de información sigue siendo la investigación del potencial cancerígeno de las RNI ambientales, principalmente las radiofrecuencias, incluyendo la telefonía móvil, y las frecuencias extremadamente bajas (ELF), incluyendo la frecuencia industrial, de 50 / 60 Hz. A esa temática se ha sumado recientemente un interés por la posible influencia de esas RNI en el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas y en los efectos fisiológicos y cognitivos de los campos ELF y de las radiofrecuencias moduladas a ELF. Dejando a un lado, por su volumen y complejidad, los resultados de los numerosos estudios experimentales publicados en 2006, nos centraremos aquí en resumir los datos epidemiológicos más representativos. Entre ellos, es obligado hacer mención a los avances en el estudio internacional INTERPHONE (13 países) sobre incidencia de diversos tipos de tumores (glioma, meningioma, neurinoma acústico y tumores malignos de parótidas) en usuarios de teléfonos móviles. El estudio, todavía inconcluso y con los datos de la mayoría de los países participantes todavía por analizar, no ha mostrado hasta el momento incrementos significativos y consistentes de incidencia general de tumores entre usuarios. Algunos estu-

dios nacionales de INTERPHONE han mostrado índices elevados de glioma o de neurinoma acústico en áreas cerebrales ipsilaterales (las zonas más irradiadas, en el lado donde el sujeto se aplica el teléfono) en usuarios de "largo plazo". Sin embargo, estos hallazgos han venido siendo achacados al azar o a posibles sesgos en la metodología de recolección de datos (ver por ejemplo, <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/114072761/HT-MLSTART>). Sólo el análisis completo e integrado de los datos aportados por todos los países participantes permitirá obtener respuestas fidedignas y estadísticamente robustas a las cuestiones todavía no dilucidadas.

En lo que concierne a la epidemiología de la leucemia en trabajadores expuestos a campos ELF relativamente intensos, y en niños que viven en ambientes con niveles altos de campos de 50/60 Hz, los nuevos datos proporcionan respaldo parcial al conjunto de evidencia anterior indicativa de incremento moderado de riesgo de desarrollo o agravamiento del citado cáncer entre sujetos expuestos crónicamente. Si bien la posibilidad de que dicho incremento de riesgo se deba a otros factores concurrentes, distintos de los campos, no ha podido ser descartada. Ver, por ejemplo, Kabuto y col., *Int. J. Cancer* 119: 643-650 (2006)

En el estudio de efectos distintos de los relacionados con la etiología del

cáncer, destacan trabajos recientes en voluntarios expuestos a campos intensos ELF o a radiofrecuencias con modulación ELF (como en las señales de telefonía móvil). Revisiones recientes del conjunto de la evidencia disponible ponen de manifiesto coincidencias entre distintos estudios en el sentido de que exposiciones breves pueden inducir cambios mensurables en la actividad eléctrica cerebral, particularmente en la de frecuencia alfa (8 – 13 Hz). En general, las respuestas fisiológicas tienden a darse desfasadas, con posterioridad al estímulo más que en el curso de éste, y no suelen tener repercusiones cognitivas ni comportamentales significativas en los sujetos. La relevancia de estos hallazgos para la salud está aún por determinar. Ver, por ejemplo Cook y col., *Bioelectromagnetics* 27: 613-627 (2006).

También en 2006 se ha registrado un avance en el estudio de los potenciales efectos de exposiciones ocupacionales crónicas a campos ELF sobre la incidencia de enfermedades neurodegenerativas. Así, el actual bloque de evidencia ha revelado indicios de una asociación modesta entre exposición ocupacional y el riesgo de demencia. En lo concerniente a la esclerosis lateral amiotrófica, estudios epidemiológicos recientes confirman observaciones previas de incidencia elevada de la enfermedad entre soldados y en trabajadores de



la industria eléctrica y electrónica. Ver, por ejemplo, Hug y col., *Soz. Preventiv Med.* 51: 210-220 (2006).

Aun siendo numerosos, los datos aparecidos en 2006 no han añadido a la información preexistente sobre potencial nocividad de las RNI ambientales débiles pruebas que hayan sido consideradas determinantes para la modificación de los estándares internacionales de radioprotección. Así,

los organismos internacionales de referencia, como ICNIRP, mantienen su criterio de que, en ausencia de pruebas más consistentes y a falta de mecanismos de respuesta biológica bien identificados, los estándares de seguridad no deben ser modificados por el momento. No obstante, numerosos países y estados han optado por revisar a la baja los límites de seguridad, sobre todo aquellos que se refieren

a exposiciones del público a RNI de frecuencia industrial. En este sentido, y a pesar de iniciativas emprendidas por diversos organismos públicos, España no ha dado todavía cumplimiento a sus compromisos de legislar en materia de protección del público ante campos de frecuencias bajas e intermedias y de protección ante exposiciones ocupacionales a RNI en el espectro 0 Hz – 300 GHz.

## *Acciones y proyectos sobre la incorporación de los grupos implicados ("stakeholders") en la gestión de la protección radiológica y la elaboración de un código de conducta*

*Eduardo Gallego y Leopoldo Arranz*

### **Jornadas de trabajo organizadas en 2005 y 2006**

Con el objetivo de contribuir al desarrollo y difusión de una cultura de participación de los agentes sociales y grupos implicados en las decisiones que afectan a la protección radiológica, la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR), en colaboración con la Sociedad Francesa de Radioprotección (SFRP) y la Sociedad de Protección Radiológica del Reino Unido (SRP), organizaron una serie de jornadas internacionales de trabajo, cuya primera edición tuvo lugar en Salamanca en noviembre de 2005, habiéndose celebrado la segunda en Montbéliard (Francia) en diciembre de 2006. Las Jornadas han recibido el apoyo internacional de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE, de la Comisión Europea (DG-TREN) y de la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA).

Entre los objetivos particulares de estas jornadas, sobresalen los siguientes:

- Promover la difusión de las experiencias existentes entre los grupos implicados.
- Aportar un apoyo de largo alcance a los procesos de implicación de los grupos implicados.
- Crear foros de diálogo entre los profesionales de la protección y los grupos implicados.
- Elaborar un "código de conducta" para los profesionales de la PR que avale el compromiso de la profesión para con las personas y los grupos implicados, integrando los principios éticos. Dicho código de conducta ha recibido el respaldo de la Comisión Ejecutiva de la IRPA, lo cual ayudará a su difusión y aplicación a través de su red de sociedades.

A partir de la presentación de casos y experiencias prácticas recientes, las jornadas fueron el cauce del debate entre grupos de interesados tales como autoridades nacionales, operadores, expertos en comunicación, ONGs, autoridades locales,

representantes sindicales, organizaciones ecologistas, profesionales de la PR, etc.

En Salamanca, las jornadas se centraron principalmente en la regulación de instalaciones operativas, incluyendo el control y vigilancia radiológica ambiental; el emplazamiento, licenciamiento y desmantelamiento de instalaciones; la preparación y gestión de situaciones de emergencia y la recuperación y rehabilitación de lugares y territorios contaminados.

En Montbéliard se trató la protección en el ámbito sanitario (incorporación del paciente como agente activo en la toma de decisiones en los procedimientos médicos que le conciernen) y la protección frente a la radiación de origen natural (especialmente el radón, donde se ha asociado la incorporación de medidas técnicas de remedio a la mejora de la calidad del hábitat). Asimismo se discutieron los aspectos que deberán integrar el Código de conducta.

### **Proyecto para 2007**

Se pretende cerrar el ciclo, concluir la elaboración del código de conducta y fomentar la expansión de las conclusiones en las terceras jornadas en noviembre de 2007, que se organizarán en la sede de la Radiation Protection Division de la Health Protection Agency (antiguo NRPB), cerca de Oxford. Se organizarán sesiones dedicadas a todos los ámbitos de la PR (trabajadores de la industria nuclear y no nuclear, medicina, público y medioambiente: radiación natural, impacto por descarga de efluentes, gestión de residuos radiactivos, emergencias,...). El objetivo es producir un documento de conclusiones, que sirva de referencia para los profesionales de la PR sobre la necesidad, riesgos y oportunidades de la participación social en la elaboración de decisiones en PR, así como sobre los métodos aplicables en base a la experiencia. Dicho documento, así como el código de conducta, constituirán el legado de la serie de estas tres Jornadas.

### **Propuesta de un código de conducta**

Básicamente, la elaboración del "Código de conducta" responde a una demanda social. En las sociedades maduras existe una creciente preocupación por los riesgos asociados a ciertas actividades industriales o tecnológicas por el deterioro del medio ambiente. La implicación de nuevos grupos y agentes en el análisis de los problemas y en la adopción de las soluciones están permitiendo alcanzar decisiones mucho mejor adaptadas al contexto local. La experiencia pone de manifiesto que las decisiones adoptadas de esta forma son más aceptables y sostenibles que aquellas que son vistas como una imposición de las autoridades y los expertos.



Los profesionales necesitamos una ayuda y una guía para poder entender mejor el tipo de demandas que surgen desde la sociedad, así como para estimular a la participación y proporcionar un marco de trabajo a la hora de iniciar los procesos de diálogo con los demás grupos implicados. Sobre ello se debatió en la Jornada de Montbéliard, poniendo las bases sobre las que se está elaborando actualmente el "código de conducta" que se espera someter a debate abierto a través de las Sociedades científicas de PR integrantes de la IRPA, con el objetivo de llegar con un texto final que sería aprobado en la Asamblea General de la IRPA durante el próximo congreso de Buenos Aires en octubre de 2008.

Por consiguiente, el código se iniciará con una declaración de compromiso genérica "a fin de promover la participación de cuantos agentes y grupos resulten relevantes para una protección radiológica de mejor calidad, efectividad y sostenibilidad, tanto en situaciones de rutina como en emergencias, de cara a la toma de aquellas decisiones que pudieran tener un impacto sobre la calidad de vida y el bienestar de los trabajadores, los ciudadanos y el medio ambiente. De esta forma, se aspira a desarrollar el adecuado clima de confianza y credibilidad, tanto a lo largo del proceso de análisis y toma de decisiones, como una vez adoptadas las decisiones finales."

El código se formula en torno a los siguientes principios de actuación:

- Iniciar el proceso lo antes posible, identificar el calendario del mismo y comprometerse para el largo plazo.
- Permitir un proceso abierto, incluyente y transparente.
- Establecer equipos de trabajo multidisciplinares y plurales, con arreglo a la naturaleza del problema.
- Reconocer mutuamente el papel y responsabilidad de cada agente a lo largo del proceso de discusión con los grupos y agentes sociales, de elaboración de decisiones y de aplicación de las mismas. La participación debe siempre conllevar un cierto grado de co-responsabilidad.
- Identificar y construir objetivos comunes.
- Construir un lenguaje común, que facilite la comprensión y el aprendizaje colectivo.
- Facilitar el libre intercambio de información en toda circunstancia.
- Respetar la equidad a la hora de expresarse y la validez de todos los puntos de vista.
- Evaluar continuamente las reacciones tanto al propio proceso como a su resultado.

Obviamente, aunque estos principios son generales, su aplicación deberá adaptarse a la escala y naturaleza de los problemas así como a la disponibilidad de medios para su desarrollo.

# Citogenética en cáncer de tiroides y terapia con $^{131}\text{I}$

L. Popova<sup>1</sup>, V. Hadjidekova<sup>1</sup>, R. Christova<sup>1</sup>, S. Agova<sup>2</sup>,  
V. Grudeva<sup>3</sup>, T. Hadjieva<sup>3</sup>, I. Domínguez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>National Center of Radiobiology and Radiation Protection, Sofia 1756, Bulgaria

<sup>2</sup>Radiotherapy Department, Medical University, Sofia, Bulgaria

<sup>3</sup>Department of Medical Genetics, Medical University, Sofia 1431, Bulgaria

<sup>4</sup>Departamento de Biología Celular, Facultad de Biología, Sevilla, España

## RESUMEN

Se ha analizado la producción de micronúcleos (MN) y aberraciones cromosómicas (AC) en linfocitos de sangre periférica en un grupo de 26 pacientes con carcinoma de tiroides diferenciado que habían sido expuestos a terapia con yodo-131 ( $^{131}\text{I}$ ).

Las muestras de sangre fueron extraídas inmediatamente antes del tratamiento con  $^{131}\text{I}$  y un mes después del mismo. La terapia usada en los pacientes consistió en ablación con yodo radiactivo (RIA) o tratamiento con yodo radiactivo (RIT) tras una tiroidectomía radical. La cantidad de actividad de  $^{131}\text{I}$  administrada oralmente varió entre 3330 y 4030 MBq según el tipo de terapia (RIA o RIT). Los resultados muestran un incremento significativo en la frecuencia media de micronúcleos y de aberraciones cromosómicas en los pacientes un mes después de haber recibido la terapia. Los valores medios  $\pm$  SD para los MN antes y después del tratamiento resultaron ser  $10.72\% \pm 5.84\%$  y  $25.28\% \pm 12.6\%$  respectivamente. Para las aberraciones cromosómicas, la frecuencia media  $\pm$  SD obtenida antes del tratamiento fue de  $1.16\% \pm 0.36\%$  y después del mismo fue de  $2.3\% \pm 0.87\%$ . Estos resultados indican que la terapia con  $^{131}\text{I}$  produce genotoxicidad detectable tras un mes de la aplicación del tratamiento.

## INTRODUCCIÓN

El yodo-131 ( $^{131}\text{I}$ ) es un radionúclido emisor  $\beta/\gamma$  con una vida media de unos 8 días que se acumula en el tiroides [1], por lo que se utiliza ampliamente en el tratamiento de cáncer de tiroides.

En pacientes con cáncer diferenciado de tiroides (DTC) la extirpación con yodo radiactivo (RIA) y el tratamiento

con yodo radiactivo (RIT) tras una tiroidectomía radical son métodos ampliamente reconocidos como parte de una terapia combinada que produce excelentes índices de supervivencia a largo plazo [2-5]. Hay estudios que indican que los pacientes con DCT de bajo riesgo tienen una tasa de recidiva del 0.9% cuando se les aplica RIT a los restos de tiroides, lo que resulta en una supervivencia para el 96-99% de

ellos de 20 años, y una tasa de mortalidad por cáncer de sólo 0.9% [6]. En pacientes con DTC de alto riesgo, RIT produjo una supervivencia de 20 años en el 60-79% de los mismos y una mortalidad del 28% [6].

El uso terapéutico de  $^{131}\text{I}$ , al igual que ocurre con cualquier radiación ionizante, puede producir daño genético a los pacientes [7]. Se han descrito alteraciones citogenéticas mediante

## ABSTRACT

In order to assess the genotoxic risk of the therapy with radioiodine-131 ( $^{131}\text{I}$ ), the production of micronuclei (MN) and chromosome aberrations (CA) were analysed in the peripheral blood lymphocytes of a group of 26 patients undergoing therapy with this radionuclide for differentiated thyroid carcinoma (DTC). Blood samples were taken immediately before  $^{131}\text{I}$  administration and 1 month later. The patients underwent radioiodine ablation (RIA) or radioiodine therapy (RIT) after radical thyroidectomy. The amount of orally administered  $^{131}\text{I}$  activity varied from 3330 to 4030 MBq according to the kind of therapy (RIA or RIT). Results show that after radioiodine therapy there is a significant increase in the frequency of MN and CA. The mean frequencies of MN  $\pm$  SD before and after the therapy were  $10.72\% \pm 5.84\%$  and  $25.28\% \pm 12.6\%$  respectively. For CA, the mean frequencies obtained were  $1.16\% \pm 0.36\%$  before and  $2.3\% \pm 0.87\%$  after the therapy. These findings indicate a genotoxic activity of  $^{131}\text{I}$  therapy estimated after a period of one month.

la aplicación del test de aberraciones cromosómicas (AC) [8,9] y de micronúcleos (MN) [10-12], así como mediante el uso combinado de MN con hibridación *in situ* con fluorescencia (FISH) [13,14]. Recientemente, la aplicación de la electroforesis de células individuales, técnica conocida como ensayo del cometa, para analizar daño en pacientes tratados con  $^{131}\text{I}$ , dio como resultado la detección de un ligero aumento del daño en el ADN [15].

Se han registrado asimismo datos que sugieren que en pacientes terapéuticamente expuestos a  $^{131}\text{I}$ , existe un riesgo bajo pero significativo de desarrollar un cáncer secundario. Estos cánceres secundarios pueden aparecer en los tejidos más expuestos a la radiación, como por ejemplo en las glándulas salivares [16,17], el estómago [18] y la vejiga urinaria [19]. Se han descrito también leucemias secundarias en niños tratados con iodo-131 meta-iodobenzilguanidina ( $^{131}\text{I}$ -MIBG) [20]. Se ha propuesto que el daño cromosómico que lleva al desarrollo de tumores secundarios podría ser un efecto de la radiación tras la terapia con  $^{131}\text{I}$  [21].

Las alteraciones cromosómicas en linfocitos de sangre periférica se han considerado durante décadas buenos biomarcadores citogenéticos, capaces de detectar riesgos de una posible exposición a agentes físicos y químicos. Muchos estudios realizados en humanos indican una relación positiva entre incremento de la frecuencia de daño cromosómico y aumento del riesgo de cáncer [21]. Numerosos estudios en linfocitos de personas expuestas a  $^{131}\text{I}$ , incluyendo supervivientes de la bomba atómica, indican la inducción de aberraciones cromosómicas por

Paciente	Edad	Fumador	A(MBq)	Dc(mGy)
1	58	No	3330	216
2	59	No	3330	216
3	61	No	3330	216
4	37	No <sup>d</sup>	3330	216
5	76	No	3330	216
6	58	No	3330	216
7	63	No	3330	216
8	63	No	3330	216
9	24	No	3330	216
10	39	Si	3580	235
11	30	Si	3580	235
12	26	No	3580	235
13	49	No <sup>d</sup>	3580	235
14	49	No	3580	235
15	76	No	3580	235
16	28	No <sup>d</sup>	3580	235
17	38	Si	3580	235
18	23	No <sup>d</sup>	3580	235
19	30	No	3700	240
20	64	No	3700	240
21	36	No	4030	240
22	62	No	4030	262
23	68	No	4030	262
24	60	No	4030	262
25	39	No	4030	262
26	45	No <sup>d</sup>	4030	262

<sup>a</sup> Pacientes 1-14, 16, 18, 20-26 eran mujeres y el resto hombres

<sup>b</sup> Pacientes 1-9 recibieron RIA y el resto RIT

<sup>c</sup> El paciente 23 tenía cáncer folicular de tiroides, y el resto papilar

<sup>d</sup> No fumadores desde hacía dos años o menos

A: actividad; Dc: dosis cuerpo entero

**Tabla I.** Datos clínicos de los pacientes, actividad del yodo radiactivo y dosis de radiación, <sup>a</sup>, <sup>b</sup>, <sup>c</sup>

radiación y aumento en la incidencia de cáncer especialmente de tiroides [22-24]. Asimismo se ha asociado el aumento de la incidencia de cáncer de tiroides en niños con la liberación de  $^{131}\text{I}$  tras el accidente nuclear de Chernobil [25].

Tanto el test de aberraciones cromosómicas como el de micronúcleos se han utilizado ampliamente como dosímetros para estimar la exposición a radiación. El test de MN, que detecta fragmentos cromosómicos y/o cromosomas enteros en linfocitos binucleados



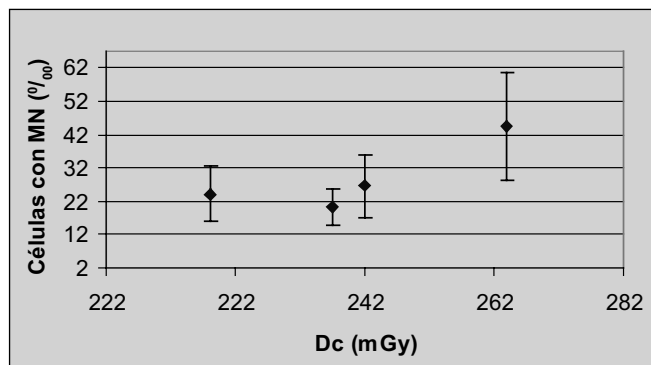


Figura 1. Frecuencia de células con micronúcleos (MN) para distintas dosis de  $^{131}\text{I}$  recibidas en todo el cuerpo (Dc).

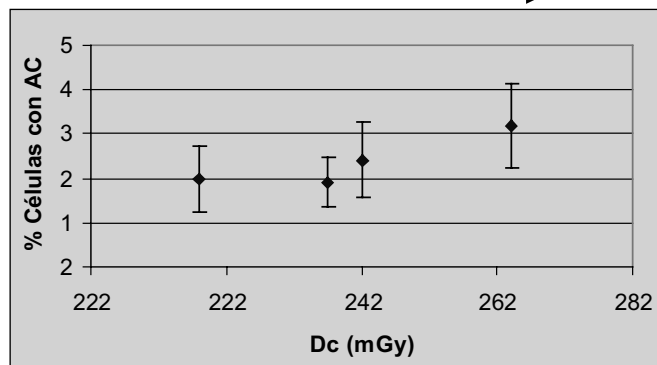


Figura 2. Frecuencia de células con aberraciones cromosómicas para distintas dosis de radiación aplicada en todo el cuerpo (Dc).

tras un bloqueo de la citocinesis por citocalasina B [26], se ha aplicado para realizar dosimetría en pacientes expuestos a radioterapia utilizándose ampliamente para estimar mediante extrapolación la dosis total de exposición a radiación [26-29].

El objetivo de este trabajo fue estudiar la incidencia de daño citogenético en linfocitos de pacientes con DTC que habían sido sometidos a tiroidectomía un mes después de recibir el tratamiento con  $^{131}\text{I}$  mediante el test de AC y el de MN.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Terapia de los pacientes

Un grupo de veintiséis pacientes fue tratado mediante RIA o RIT. Tres pacientes eran hombres y 23 mujeres y su edad estaba comprendida entre 23 y 76 años. El objetivo de la terapia fue eliminar el tejido tiroideo residual, tratar metástasis de nódulos linfáticos y/o metástasis distantes de pulmón. Las características de los pacientes se muestran en la tabla I. La cantidad de actividad terapéutica de  $^{131}\text{I}$  administrada oralmente dependió del tipo de terapia (RIA o RIT) y varió desde 3300 a 4030 MBq. Los pacientes 22 a 26 recibieron una segunda terapia con

$^{131}\text{I}$ , entre seis meses y un año después de la primera; el estudio citogenético se realizó inmediatamente antes y un mes después del segundo tratamiento.

### Cálculo de la dosis absorbida

Para calcular la dosis de  $^{131}\text{I}$  que recibieron los linfocitos, se aplicó el modelo metabólico propuesto por Smith T. y Edmonds C.J. (1984) [30], que estima la magnitud de actividad acumulada en varios órganos (estómago, pared de vejiga urinaria, tiroides/tumor, hígado, médula ósea roja, y resto del cuerpo). Esta aproximación también permite realizar cálculos de dosis de radiación en distintos órganos diana: médula ósea roja, pared de la vejiga urinaria, mamas, gónadas, hígado, pulmones, glándulas salivares y todo el cuerpo. Las dosis de radiación en el cuerpo entero fue calculada a partir de la cantidad de actividad administrada en MBq y la captura diagnóstica media de  $^{131}\text{I}$  en el tiroides o en el área del cuello (tabla I). Según nuestros artículos anteriores, las dosis así obtenidas para cuerpo entero, médula ósea y sangre difieren en un 15-30% [31]. La relación dosis-efecto entre radiación y MN y AC se determinó a partir de la dosis recibida por todo el cuerpo (figuras 1 y 2).

### Muestras de sangre

Se extrajeron muestras de sangre de 1ml en vacutainers con Li-heparina mediante punción. La primera muestra, que sirvió de control, se extrajo antes del tratamiento con  $^{131}\text{I}$  y la segunda, un mes después de la dosis terapéutica.

A todos los pacientes se les entrevistó con el objetivo de obtener información sobre su estilo de vida, terapias médicas anteriores y otras informaciones relacionadas con su historial médico previo.

### Análisis citogenético

Los cultivos para el test de micronúcleos se prepararon mezclando 1 ml de sangre completa con 5 ml de medio RPMI-1640 (Sigma, U.S.A.), suplementado con 20% de suero bovino y fitohemaglutinina a una concentración final de 2  $\mu\text{g}/\text{ml}$  para estimular la entrada en ciclo de división. Los cultivos se incubaron a 37°C en 5% de  $\text{CO}_2$ . A las 44 h de haber sido iniciados, se les añadió citocalasina B a una concentración final de 6  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , con el objeto de bloquear la citocinesis. Las células se recogieron a las 72 h, se fijaron con metanol y ácido acético (3:1), y se realizaron preparaciones que fueron teñidas con Giemsa al 5% en tampón fosfato pH 6.8. El recuento

de micronúcleos se realizó en al menos 1000 células binucleadas por cada donante según el criterio propuesto por Fenech (1993) [26].

Los cultivos para analizar aberraciones cromosómicas se prepararon de la forma descrita anteriormente. Tras 48 h de incubación en presencia de fitohemaglutinina, se añadió Colcemida (Gibco) a una concentración final de 0.5 µg/ml durante dos horas. Las células fueron expuestas a un tratamiento hipotónico con KCl 0.075 M y se fijaron con metanol acético (3:1), se hicieron preparaciones y se tiñeron con Giemsa al 5%. Para el recuento de aberraciones se analizaron 500 células por cada cultivo utilizado.

### Ética

Tras informar a todos los pacientes sobre la realización del estudio y obtener el consentimiento para ello, éste fue aprobado por el comité de ética local.

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante los paquetes estadísticos Sigma Stat y SPSS. Para comparar la incidencia de micronúcleos antes y después del tratamiento con yodo radiactivo se utilizó el test  $\chi^2$ . La comparación de las frecuencias de aberraciones cromosómicas antes y después del tratamiento se realizó mediante el t-test para muestras relacionadas.

Para determinar la dependencia funcional entre dosis de radiación de todo el cuerpo y la frecuencia de células con micronúcleos, así como entre dosis de radiación e inducción de células aberrantes, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman.

Paciente	‰ MN antes	‰ MN después	‰ células con MN antes	‰ células con MN después
1	8.5	39	8.5	35.5
2	9.5	10	9.5	9
3	22 <sup>a</sup>	35	18 <sup>a</sup>	31
4	13	17.5	10.5	16
5	14	30.5	13	26.5
6	7	21	7	19
7	14.5	28.3 <sup>b</sup>	13	26 <sup>b</sup>
8	6	23 <sup>a</sup>	5	21 <sup>a</sup>
9	7	17	6.5	16.5
10	14	15	12.5	14
11	6	21	6	17.5
12	7.5	24 <sup>a</sup>	7.5	24 <sup>a</sup>
13	9.5	8.5	8.5	8.5
14	16	24	15.5	22.5
15	13	25	10.5	22
16	2 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	16 <sup>a</sup>
17	19	24	17.5	24
18	12	16	11	15
19	9.5	20	9.5	19
20	16.5	43	14	35.5
21	5.5	21	5.5	19
22	21.5	38 <sup>a</sup>	17	33 <sup>a</sup>
23	9.5	30	9	27.5
24	32	62	30.5	59
25	6	35	6	31.5
26	5.5	71	4.5	61

\* En todos los casos se contaron 2000 células excepto:

<sup>a</sup> se contaron 1.000 células

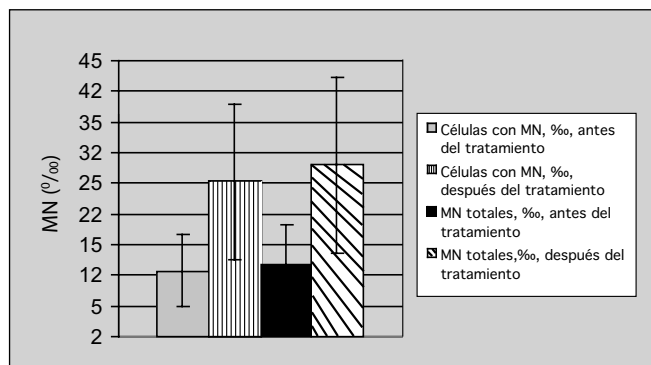
<sup>b</sup> se contaron 3.000 células

**Tabla II.** Frecuencia de micronúcleos (MN) en linfocitos binucleados antes y después del tratamiento con <sup>131</sup>I\*.

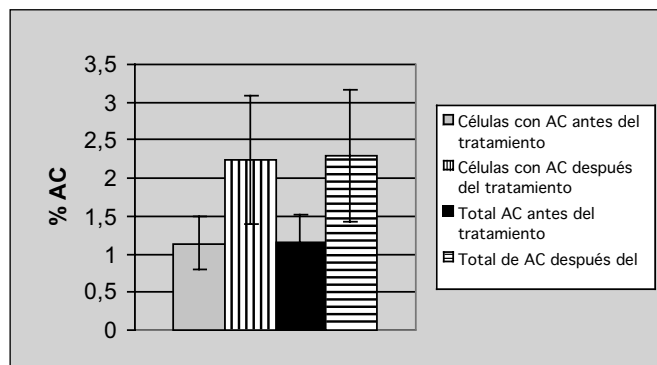
### RESULTADOS

La frecuencia de MN observada antes y después del tratamiento con <sup>131</sup>I se muestra en la tabla II. El análisis de MN antes del tratamiento en pacientes

con DTC muestra que la frecuencia de linfocitos con micronúcleos era similar a la frecuencia basal obtenida en individuos sanos [22]. La media  $\pm$  SD de la frecuencia de linfocitos con MN antes del tratamiento fue de 10.72 %.



**Figura 3.** Frecuencia media de micronúcleos en pacientes de tiroides antes y después del tratamiento con  $^{131}\text{I}$ .



**Figura 4.** Frecuencia media de aberraciones cromosómicas en pacientes con cáncer de tiroides antes y después de la terapia con  $^{131}\text{I}$ .

$\pm 5.84$  ‰. Esta frecuencia está de acuerdo con los valores de nuestro control interno del laboratorio (12.9 ‰, Popova L., datos no publicados), y con la frecuencia espontánea de la población búlgara obtenida a partir de 194 individuos [32]. También observamos en los pacientes investigados una variabilidad individual considerable en la frecuencia basal de MN, que va desde 2 ‰ a 30.5 ‰.

Los resultados obtenidos tras el tratamiento con  $^{131}\text{I}$  muestran que la frecuencia de linfocitos con MN se incrementó significativamente a  $25.28$  ‰  $\pm 12.66$  ‰ ( $\chi^2 = 2.9990$ ,  $P < 0.001$ ). Asimismo se obtuvo variabilidad interindividual tras el tratamiento, observándose frecuencias entre 8.5 ‰-61 ‰.

En la figura 1 se representa la frecuencia de células con MN para las distintas dosis de radiación utilizadas. Los resultados indican que hay una moderada relación entre dosis aplicada y frecuencia de MN ( $r = 0.5$ ,  $\alpha < 0.01$ ), que es más evidente para la dosis más alta.

En cuanto a los valores para el número total de MN, la frecuencia obtenida antes de la terapia resultó ser de  $11.78$  ‰  $\pm 6.41$  ‰ y aumentó hasta el  $27.98$  ‰  $\pm 14.39$  ‰ tras

el tratamiento con  $^{131}\text{I}$  ( $\chi^2 = 3.359$ ,  $P < 0.001$ ).

La tabla III muestra los resultados del análisis de aberraciones cromosómicas antes y después del tratamiento. Los resultados indican que hubo un incremento estadísticamente significativo en la producción de aberraciones después del tratamiento. La frecuencia media de células con aberraciones antes del tratamiento fue de  $1.14$  ‰  $\pm 0.35$  ‰, y de  $2.24$  ‰  $\pm 0.85$  después del mismo ( $t = -8.833$ ,  $P < 0.001$ ). En relación al número total de aberraciones, la media de la frecuencia antes del tratamiento fue de  $1.16$  ‰  $\pm 0.36$  ‰, y después del tratamiento  $2.30$  ‰  $\pm 0.87$  ‰ ( $t = -8.825$ ,  $P < 0.001$ ). La frecuencia de células con aberraciones para cada paciente muestra una variabilidad interindividual que va del 0.6 al 2 ‰ antes del tratamiento y del 1 al 4.4 ‰ tras el tratamiento con yodo radiactivo.

En cuanto a la relación entre dosis aplicada a todo el cuerpo y producción de células aberrantes (figura 2) se observa, al igual que en los MN, un moderado incremento de AC a medida que aumenta la dosis ( $r = 0.5$ ,  $\alpha < 0.01$ ) que es también más clara con la dosis más alta.

## DISCUSIÓN

Nuestro estudio demuestra que el daño cromosómico, detectado mediante el análisis de MN y de AC en linfocitos de pacientes con DTC un mes después del tratamiento con  $^{131}\text{I}$  es significativamente más alto que antes del tratamiento. Las figuras 3 y 4 muestran respectivamente los valores medios de micronúcleos y aberraciones, antes y después de la terapia con  $^{131}\text{I}$ .

Aunque no hay muchos estudios sobre los efectos citogenéticos en pacientes tratados terapéuticamente con compuestos radiactivos, la mayoría de ellos indican la producción de efectos genotóxicos en pacientes tratados cuando el análisis se realiza mediante los tests de MN [10-12, 27-29] y de AC [8-9, 33]. Sin embargo, los estudios que han utilizado el test de intercambios entre cromátidas hermanas para detectar los efectos de la terapia con yodo radiactivo no han dado resultados positivos [34]. En cuanto a la utilización de los tests de MN y de AC, se han llevado a cabo estudios longitudinales con el objetivo de detectar la incidencia, así como la persistencia de daño cromosómico potencial inducido por terapia con

$^{131}\text{I}$ . En este sentido, se analizaron los efectos citogenéticos de la terapia con  $^{131}\text{I}$  en linfocitos inmediatamente después y tras varios intervalos después de la terapia [27,29]. Los resultados mostraron que el daño cromosómico en estas células persistía durante un largo período de tiempo, incluso 6 meses después de la terapia [27, 29]. Aunque este valor decreció con el tiempo, la frecuencia de células con MN obtenidas transcurrido un año después del tratamiento siempre permaneció más alta que antes de la terapia [27]. Hay otros estudios que utilizando el test de AC convencional y FISH con el cromosoma 4 como sonda, indican la persistencia del daño biológico hasta 2 años después de la exposición terapéutica [35]. En el presente estudio sólo se estudió 1 muestra de sangre de cada donante. Nuestros resultados demuestran que la frecuencia de micronúcleos y aberraciones no disminuye después de 1 mes de la administración de yodo radiactivo, aunque después de la tiroidectomía total la vida media efectiva del  $^{131}\text{I}$  en los pacientes era muy baja.

Por otra parte, aunque hay una gran variabilidad individual en cuanto a la frecuencia de MN y AC, hemos observado que existe una relación entre la frecuencia de células con daño citogenético y la dosis aplicada a todo el cuerpo (figuras 1 y 2). Estos resultados se han obtenido en una población pequeña y son necesarios estudios más amplios; sin embargo parece que pequeñas variaciones en el rango de dosis podrían tener efectos citogenéticos que habría que tener en cuenta a la hora de aplicar las terapias.

Puesto que el daño cromosómico podría ser el suceso inicial en el proceso que lleva al desarrollo de cáncer se-

Paciente	% AC antes	% AC después	% células con AC antes	% células con AC después
1	1	1.8	0.8	1.8
2	0.6	1	0.6	1
3 <sup>a</sup>	-	-	-	-
4	1	1.4	1	1.4
5	1.6	2.6	1.4	2.6
6	0.8	2	0.8	1.8
7	1.6	3.2	1.6	3
8	1.4	3	1.4	2.8
9	1.2	1.4	1.2	1.4
10	1	2	1	1.8
11	1.4	2.2	1.4	2.2
12	1.2	1.4	1.2	1.4
13	0.8	1.2	0.8	1
14	1	2	0.8	2
15	1.2	2.2	1.2	2.2
16	0.6	2.2	0.6	2
17	1.6	3	1.6	3
18	1	1.6	1	1.6
19	1	1.8	1	1.8
20	1.2	3.2	1.4	3
21 <sup>a</sup>	-	-	-	-
22	1	2.6	1	2.6
23	0.8	2	0.8	2
24	2	4.4	2	4.4
25	1.8	4	1.6	3.8
26	1.2	3.2	1.2	3.2

\* En todos los casos se contaron 500 células excepto:

<sup>a</sup> no se pudo contar ninguna célula.

**Tabla III.** Frecuencia aberraciones cromosómicas (AC) en linfocitos de pacientes antes y después del tratamiento con  $^{131}\text{I}$ .\*

cundario [21] y el daño cromosómico en linfocitos es un indicador de daño cromosómico en otras células somáticas [21, 26] los tests de micronúcleos y aberraciones podrían tener un valor predictivo para identificar pacientes con un mayor riesgo de desarrollar

un cáncer secundario tras someterse a la radioterapia. En este sentido, en un artículo anterior, habíamos calculado que el riesgo de desarrollar cáncer secundario por radiación era 1.8 veces mayor que el de la población no expuesta [36]. Hay también



varios estudios recientes que indican el desarrollo de cánceres secundarios como consecuencia de tratamientos quimioterapéuticos. Por ejemplo, se ha descrito la producción de leucemias secundarias en pacientes tratados con agentes quimioterapéuticos que incluyen cisplatino [37].

Se ha sugerido una relación entre el aumento en la frecuencia de daño cromosómico y la predisposición al cáncer en ciertos tipos de cánceres. Nuestros resultados indican que la frecuencia basal de MN y AC en el grupo de pacientes no era significativamente mayor que en el grupo control. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Monteiro y col. [38], que en un estudio similar no encontraron diferencias significativas en las frecuencias basales de MN y AC entre el grupo de pacientes con cáncer de tiroides no familiar y el grupo control. Estos resultados apoyan la idea de que los linfocitos de pacientes con carcinoma de tiroides no familiar no presentan una inestabilidad cromosómica constitutiva.

En conclusión, hubo un aumento estadísticamente significativo en la frecuencia de daño cromosómico en los linfocitos de pacientes DTC un mes después de recibir terapia con  $^{131}\text{I}$ , estimada mediante el uso de los tests de MN y AC. Por nuestra parte, pues, opinamos que ambos análisis resultan ser útiles a la hora de evaluar efectos genotóxicos del tratamiento del cáncer de tiroides con  $^{131}\text{I}$ . Un estudio amplio mediante estos tests citogenéticos en un gran número de pacientes DTC tratados una o más veces con RIA podría mostrar la importancia del daño cromosómico como predictivo de carcinogénesis secundaria.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Felipe Cortés la corrección de la redacción del manuscrito. Asimismo agradecemos al Dr. Rafael Pino su participación en los análisis estadísticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Slater R.J. Radioisotopes in Biology: A Practical Approach. Oxford University Press, Oxford, UK, 1990.
- [2]. Mazzaferri E., Jhiang S. Long-term impact of initial surgical and medical therapy on papillary and follicular thyroid cancer. *Am J Med* 97: 418-428; 1994.
- [3]. Mazzaferri E. Thyroid remnant  $^{131}\text{I}$  ablation for papillary and follicular thyroid carcinoma. *Thyroid* 7: 265-271; 1997.
- [4]. Samaan N., Schultz P.N., Hickey R. The results of various modality of therapy of well-differentiated thyroid carcinoma: A retrospective review of 1599 patients. *J Clin Endocrinol Metabol* 75: 714-719; 1992.
- [5]. Tubiana M. Role of radioiodine in the therapy of local thyroid cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 36: 263-265; 1996.
- [6]. Hadjieva T. Scoring Patients' Risk in Differentiated Thyroid Cancer (Validation of five scoring system based on therapeutic outcome of 406 patients treated in Bulgaria). *Oncologie* 24: 561-568; 2001.
- [7]. Hall E. The Physics and Chemistry of Radiation Absorption. In: *Radiobiology For The Radiologist*, 4th Ed. Pg:8-13. Lippincott JB, Philadelphia, PA; 1994.
- [8]. Baugnet-Mahieu L., Lemaire M., Léonard A., Gerber G.B. Chromosome aberrations after treatment with radioactive iodine for thyroid cancer. *Radiat Res* 140: 429-431; 1994.
- [9]. Gundy S., Katz N., Füzy M., Ésik O. Cytogenetic study of radiation burden in thyroid disease patients treated with external irradiation or radioiodine. *Mutat Res* 360: 107-113; 1996.
- [10]. Livingston G.K., Foster A.E., Elson H.R. Effect of in vivo exposure to iodine-131 on the frequency and persistence of micronuclei in human lymphocytes. *J Toxicol Environ Health* 40: 367-375; 1993.
- [11]. Gutiérrez S., Carbonell E., Galofré P., Xamena N., Creus A., Marcos R. A cytogenetic follow-up study of thyroid cancer patients treated with  $^{131}\text{I}$ . *Cancer Lett* 91: 199-204; 1995.
- [12]. Watanabe N., Yokoyama K., Kinuya S., Shuke N., Shimizu M., Futatsuya R., Michigishi T., Tonami N., Set H., Goodwin D.A. Radiotoxicity after iodine-131 therapy for thyroid cancer using the micronucleus assay. *J Nucl Med* 39: 436-440; 1998.
- [13]. Ramírez M.J., Surrallés J., Galofré P., Creus A., Marcos R. Radioactive iodine induces clastogenic and age-dependent aneuploidic effects in lymphocytes of thyroid cancer patients as revealed by interphase FISH. *Mutagenesis* 12: 449-455; 1997.
- [14]. Ramírez M.J., Surrallés J., Galofré P., Creus A., Marcos R. FISH analysis of 1cen-1q12 breakage, chromosome 1 numerical abnormalities and centromeric content of micronuclei in buccal cells from thyroid cancer and hyperthyroidism patients treated with radioactive iodine. *Mutagenesis*, 14: 121-127; 1999.
- [15]. Gutiérrez S., Carbonell E., Galofré P., Creus A., Marcos R. The alkaline single-cell gel electrophoresis (SCGE) assay applied to the analysis of radiation induced DNA damage in thyroid cancer patients treated with  $^{131}\text{I}$ . *Mutat Res* 413: 111-119; 1998.
- [16]. Hall P., Holm L.E., Lundell G., Bjelkengren G., Larsson L.G., Lindberg S., Tennvall J., Wicklund H., Boice J.D. Jr. Cancer risk in thyroid cancer patients. *Br J Cancer* 64: 159-163; 1991.
- [17]. Dottorini M.E., Lomuscio G., Mazzucchelli L., Vignati A., Colombo L. Assessment of female fertility and carcinogenesis after iodine-131 therapy for differentiated thyroid carcinoma. *J Nucl Med* 36: 21-27; 1995.
- [18]. Holm L.E., Hall P., Wiklund K., Lundell G., Berg G., Bjelkengren G., Cederquist E., Ericsson U.B., Hallquist A., Larsson L.G. et al. Cancer risk after iodine-131 therapy for hyperthyroidism. *J Natl Cancer Inst* 83: 1072-1077; 1991.
- [19]. Edmonds C.J., Smith T. The long-term hazards of the therapy of thyroid cancer with radioiodine. *Br J Radiol* 687: 45-51; 1986.
- [20]. Weiss B., Vora A., Huberty J., Hawkins R.A., Matthay K.K. Secondary myelodysplastic

syndrom and leukemia following <sup>131</sup>I metaiodobenzylguanidin therapy for relapsed neuroblastoma. *J Pediatric Hematol/Oncol* 25: 543-547; 2003.

[21]. Ron E., Kleinerman R.A., Boice J.D. Jr., LiVolsi V.A., Flannery J.T., Fraumeni J.F. Jr. A population based case-control study of thyroid cancer. *J Natl Cancer Inst* 79: 1-12; 1987.

[22]. Hagmar L., Bonassi S., Stromberg U., Brogger A., Knudsen L.E., Norppa H., Reuterwall C. Chromosomal Aberrations in Lymphocytes predict Human Cancer: A report from the European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health. *Cancer Res* 58:17-21; 1998.

[23]. Awa A.A., Honda T., Sofuni T., Neriishi S., Yoshida M.C., Matsui T. Chromosome aberration frequency in cultured blood cells in relation to radiation dose of A-bomb survivors. *Lancet* 2: 903-905; 1971.

[24]. Conard R.A. Late radiation effects in Marshall Islanders exposed to fallout 28 years ago. In: *Radiation Cancerogenesis: Epidemiology and Biological Significance*. Pg: 57-71. Boice JD, Fraumeni JF, editors. New York Raven Press, 1984.

[25]. Likhtarev A., Sobolev B.G., Kairo I.A., Tronko N.D., Bogdanova T.I., Oleinic V.A., Epshtein E.V., Beral V. Thyroid cancer in the Ukraine. *Nature* 375: 365-366; 1995.

[26]. Fenech M. The cytokinesis-block micronucleus technique: a detailed description of the method and its application to genotoxicity studies in human population. *Mutat Res* 285: 35-44; 1993.

[27]. Gutierrez S., Carbonell E., Galofre P., Creus A., Marcos R. Cytogenetic damage after <sup>131</sup>I-iodine therapy for hyperthyroidism and thyroid cancer. A study using micronucleus test. *Eur J Nucl Med* 26: 1589-1596; 1999.

[28]. Monsieurs M.A., Thierens H.M., van de Wiele C.V., Vral A.M., Meirlaen I.A., de Winter H.A., de Sadeleer C.J., de Ridder L.I., Kaufman J.M., Dierckx R.A. Estimation of risk based on biological dosimetry for patients treated with radioiodine. *Nucl Med Commun* 20: 911-917; 1999.

[29]. Ballardín M., Gemignani F., Bodei L., Mariani G., Ferdeghini M., Rossi A.M., Migliore L., Barale R.. Formation of micronuclei and clastogenic factor(s) in patients receiving therapeutic doses of iodine-131. *Mutat Res* 514: 77-85; 2002.

[30]. Smith T., Edmonds C.J. Radiation dosimetry in the therapy of thyroid cancer. *Radiat Prot Dosim* 5: 143-149; 1984.

[31]. Hadjjeva T., Vassilev G. Whole body and organ doses after postoperative radioiodine ablation for differentiated thyroid cancer. *Proc of Conference on Physical and Engineering Problems in Nuclear Medicine*, Sofia & London, Clinical Science Foundation, London 56-58, 1994.

[32]. Vaglenov A., Karadjov A. Micronucleus frequencies in Bulgarian control population. *Centr Eur J* 187-194; 1997.

[33]. Puerto S., Marcos R., Ramírez M.J., Galofre P., Creus A., Surrallés J. Equal induction and persistence of chromosome

aberrations involving chromosomes 1, 4 and 10 in thyroid cancer patients treated with radioactive iodine. *Mutat Res* 469: 147-158; 2000.

[34]. Gutiérrez S., Carbonell E, Galofre P, Creus A., Marcos R. Low sensitivity of sister chromatid exchange assay to detect the genotoxic effects of radioiodine therapy. *Mutagenesis* 14: 221-226; 1999.

[35]. M'Kacher R., Légal J.D., Schlumberger M., Aubert B., Beron-Guillard N., Gausson A., Parmentier C. Sequential biological dosimetry after a single treatment with iodine-131 for differentiated thyroid carcinoma. *J Nucl Med* 38: 377-380; 1997.

[36]. Hadjjeva T., Vassilev G. Carcinogenic risk after radioiodine ablation for early papillary thyroid cancer. *World J Nucl Med*, 2004, Sup 1, abs .

[37]. Wierecky J., Kollmannsberger C., Boehlke I., Kuczyk M., Schleider J., Schleucher N., Metzner B., Kanz L., Hartmann J.T., Bokemeyer C. Secondary leukaemia after first-line high-dose chemotherapy for patients with advanced germ cell cancer. *J Cancer Res Clin Oncol* 131: 255-260; 2004.

[38]. Monteiro O., Oliveira N.G., Rodrigues A.S., Lares A., Ferreira T.C., Limbert E., Rueff J. No evidence of increased chromosomal aberrations and micronuclei in lymphocytes from nonfamilial thyroid cancer patients prior to radiotherapy. *Cancer Genetics and Cytogenetics* 123: 55-60; 2000.

# Validación de un Método para optimizar actividad radionuclídica en SPECT

Marlén Pérez Díaz<sup>1</sup>, Oscar Diaz Rizo<sup>2</sup>, Adlin López Díaz<sup>3</sup>,  
Eric Estévez Aparicio<sup>4</sup>, Reinaldo Roque Díaz<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central de las Villas. Centro de Estudios de la Electrónica y las Tecnologías de la Información. Villa Clara (Cuba)

<sup>2</sup>Instituto Superior de Ciencias y Tecnología de Avanzada. Departamento de Física Nuclear. Ciudad Habana (Cuba)

<sup>3</sup>Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Departamento de Medicina Nuclear. Habana (Cuba)

<sup>4,5</sup>Hospital Universitario Celestino Hdez Robau. Departamento de Medicina Nuclear. Villa Clara (Cuba)

## RESUMEN

Se valida un método de optimización de actividad en MN por comparación con las curvas ROC. El método fue probado en 21 SPECT realizados con un maniquí de inserto cardíaco. Tres lesiones (L1, L2 y L3) fueron ubicadas sobre la pared del miocardio. Tres valores de actividad radionuclídica (84 MBq, 37 MBq o 18.5 MBq) de Tc-99m diluido en agua fueron utilizadas como fondo. Se utilizó análisis discriminante lineal para seleccionar los parámetros que determinaron la calidad de la imagen (relaciones Fondo/Lesión (B/Li) y Señal/Ruido (Si/N)). Dos clústeres con diferente calidad de imagen ( $p=0.021$ ) fueron obtenidos a partir de las variables seleccionadas. El primero contenía los estudios realizados con 37 MBq y 84 MBq y el segundo los estudios realizados con 18.5 MBq. Las relaciones B/L1, B/L2 y B/L3 son los parámetros que construyen la función con un 100 % de casos correctamente clasificados dentro de los clústeres. El valor de 37 MBq fue el menor para el cual los resultados de las relaciones B/Li presentaron buenos resultados, sin diferencias significativas respecto a 84 MBq ( $p>0.05$ ) y por tanto, el óptimo en este estudio. Este resultado fue coincidente con el obtenido tras la aplicación del método ROC, con una correlación entre ambos métodos de  $r=0.890$ .

## INTRODUCCIÓN

La calidad de la imagen en SPECT es críticamente dependiente de la actividad administrada al paciente. Por razones de protección radiológica del paciente, no es conveniente aumentar

la actividad más allá de ciertos valores máximos recomendados [1]. Sin embargo, se considera que un valor de actividad está optimizado cuando encontramos el menor valor que permite preservar la exactitud diagnóstica para cada tipo de estudio [2,3].

Vestergreen et al. [2] han encontrado que la decisión final sobre qué valor de actividad utilizar en cada estudio debe ser basado en realizar análisis ROC [4] (Del inglés *Receiver-Operating Characteristic*). Sin embargo, desde 1975 se utilizan en la Física

## ABSTRACT

A discriminant method for optimizing the activity administered in NM studies is validated by comparison with ROC curves. The method is tested in 21 SPECT, performed with a Cardiac phantom. Three different cold lesions (L1, L2 and L3) were placed in the myocardium-wall for each SPECT. Three activities (84 MBq, 37 MBq or 18.5 MBq) of Tc-99m diluted in water were used as background. The linear discriminant analysis was used to select the parameters that characterize image quality (Background-to-Lesion (B/L) and Signal-to-Noise (S/N) ratios). Two clusters with different image quality ( $p=0.021$ ) were obtained following the selected variables. The first one involved the studies performed with 37 MBq and 84 MBq, and the second one included the studies with 18.5 MBq. The ratios B/L1, B/L2 and B/L3 are the parameters capable to construct the function, with 100 % of cases correctly classified into the clusters. The value of 37 MBq is the lowest tested activity for which good results for the B/Li variables were obtained, without significant differences from the results with 84 MBq ( $p>0.05$ ). The result is coincident with the applied ROC-analysis. A correlation between both method of  $r=0.890$  was obtained.



Médica los marcadores y probabilidades derivadas de los métodos estadísticos como el Análisis discriminante y las Técnicas de Clustering [5-7], los cuales ofrecen una escala mucho más continua que las técnicas ROC. Pérez et al. han desarrollado un método físico-matemático para optimizar actividad en Medicina Nuclear, basado en dichas técnicas [8-11]. En este trabajo se presenta una versión al español de la validación de este método para SPECT [12].

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Adquisición de imágenes

Se utilizó un maniquí de inserto cardíaco (modelo ECT/CAR/I producido por GAMMASONICS. [www.gammasonics.com/](http://www.gammasonics.com/)), [13]. Se situaron Tres lesiones (L1, L2 y L3) frías (sin actividad en su interior), por combinaciones de pares, en las dos posibles localizaciones sobre la pared del miocardio para cada uno de los 21 SPECT realizados. El miocardio fue rellenado de agua con  $^{99m}\text{Tc}$  diluido, a fin de constituir un fondo caliente. Se utilizaron uno de los siguientes tres valores de actividad para cada estudio (84 MBq, 37 MBq o 18.5 MBq). La actividad fue homogenizada en el volumen de agua, ubicando el maniquí sobre un homogenizador magnético durante 5 minutos, previo a cada SPECT.

Para adquirir las imágenes tomográficas se utilizó una cámara gamma digital Sopha (1000, circular DCX, Francia), equipada con un colimador de propósito general, de huecos paralelos y de resolución media (HRBE8-140). La gamma cámara fue sometida a control de calidad, siguiendo el protocolo NEMA (NU-1-1994 *address SPECT camera performance*) [14].

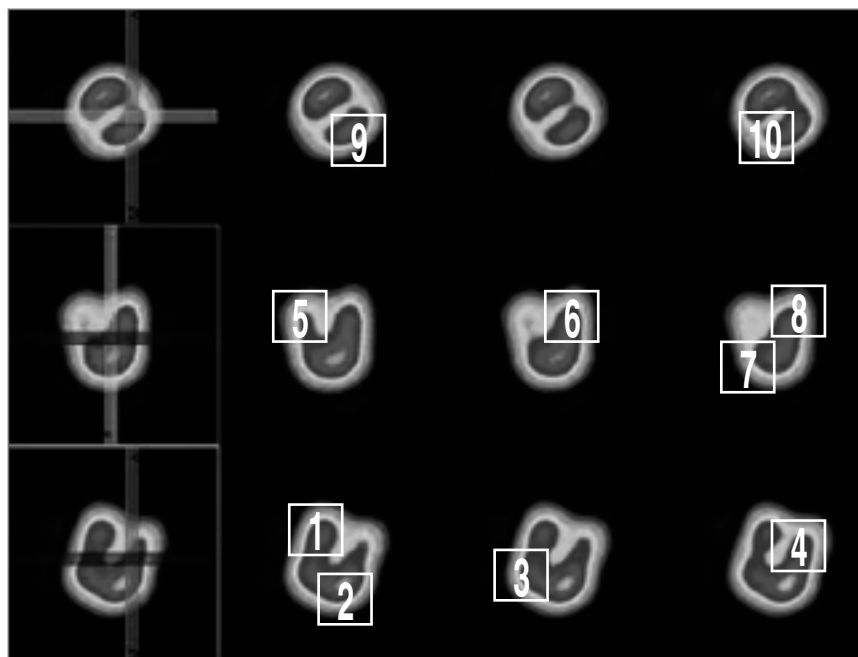


Figura 1. Ejemplo de cortes utilizados en el estudio con sitios de evaluación ROC.

Se adquirieron en cada SPECT 32 vistas en  $180^\circ$ , utilizando una órbita circular, comenzando en  $-45^\circ$  RAO y concluyendo en  $135^\circ$  LPO, (30 segundos por proyección). Las imágenes fueron adquiridas bajo una matriz de  $64 \times 64$  píxeles. El radio de rotación fue de 16 cm en todos los casos. La ventana energética fue situada en  $140 \text{ keV} \pm 15\%$ .

### Reconstrucción de imágenes

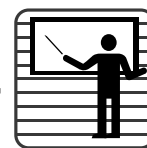
La reconstrucción de imágenes se realizó siguiendo el algoritmo de Retroproyección filtrada, prefiltrando con Rampa ( $f_c = 1.0$  Nyquist (Ny)) y luego alisando con Butterworth (4,  $f_c = 0.18$  Ny) (ancho del corte = 1 pixel).

Cortes transversales, sagitales y coronales se seleccionan para realizar la visualización de las lesiones, a partir de 10 sitios, previamente definidos sobre zonas de lesión y de fondo. (Figura 1). Las 21 imágenes reconstruidas

se dividieron *a priori* en 41 grupos de cortes para facilitar el procedimiento de observación. La Figura 1 muestra un ejemplo de uno de estos grupos.

### Evaluación de imágenes para ROC y Análisis discriminante

Las imágenes reconstruidas fueron mostradas a tres observadores expertos en imágenes de tomografía cardíaca, quienes desconocían en cada caso la actividad utilizada. Los observadores evaluaron 82 regiones anormales (correspondientes a los sitios donde se ubicaron los pares de lesiones) y 54 regiones normales, sobre una escala de 4 puntos para obtener un marcador de cada una y realizar análisis ROC [4]. La evaluación se realizó como sigue: 1 = normal, 2 = probablemente normal, 3 = probablemente patológica y 4 = patológica. Las regiones normales y anormales fueron evaluadas aleatoriamente. Además, se le preguntó a cada



observador su evaluación cualitativa sobre la calidad de cada grupo de imágenes, para realizar análisis discriminante, asumiendo convencionalmente como Buena (5 puntos), Regular (4 puntos) o Pobre (3 puntos). El orden para analizar los estudios fue desde los realizados con la menor actividad, luego los de actividad intermedia y por último los realizados con la mayor actividad. La figura 1 muestra un ejemplo de una de las 41 imágenes reconstruidas analizadas, con la ubicación de los sitios de evaluación.

El análisis ROC fue aplicado a los datos obtenidos en la prueba de observaciones. El área bajo las curvas fue calculada a partir de la estadística de Wilcoxon [15].

### **Variables medidas y procedimiento matemático**

Se determinó el número máximo de conteos por píxel en los tres cortes reconstruidos de cada grupo de imágenes en Regiones de interés (ROIs) de 3x3 píxeles. Estas regiones fueron ubicadas en los sitios de lesiones (L1, L2 o L3), el ápex (A) (el cual fue siempre considerado como una región de fondo en nuestro estudio) y dos regiones de fondo adicionales (P1 y P2) tomadas en la misma posición en todos los estudios. Estas variables fueron utilizadas para construir un grupo de relaciones Fondo/Señal (B/L1, B/L2 y B/L3). El valor de fondo tomado se calcula como la media entre todos los sitios evaluados (A, P1 y P2) en cada corte. Las relaciones se calcularon como:

$$B/Li = \text{Fondo} / \text{Fondo-Señal} \quad (1)$$

$i=1$  to 3

Estas relaciones Fondo/Señal así como las relaciones Señal/Ruido (S/N) y el contraste imagen fueron las variables cuantitativas evaluadas como crite-

rio objetivo de calidad de imagen. Las mismas fueron introducidas al software Statistical Package for Social Science (SPSS 9.0) para desarrollar el análisis discriminante.

Las relaciones  $S_i/N$  fueron calculadas a partir de la ecuación de Hoffman y Phelps [16].

$$S_i/N = (Nri)^{1/2} / R^{1/4} \quad (2)$$

Nri: Conteos reconstruidos

R: Número de píxeles que contienen actividad

$i=1$  a 3

El contraste imagen fue calculado como el recíproco de B/Li multiplicado por 100%.

Las técnicas de Clustering fueron utilizadas para determinar si a partir de las variables medidas se podían obtener diferentes niveles de calidad de imagen que fueran además, significativamente diferentes [8,11]. Estas técnicas son particularmente necesarias en aquellos casos en que los observadores expertos no pueden distinguir estos niveles por simple apreciación visual.

El análisis discriminante fue implementado para los clústeres obtenidos. Una descripción completa del aparato matemático que soporta la adecuación de esta técnica a la aplicación concreta que hacemos para optimizar actividad en Medicina Nuclear, puede ser encontrada en [8,11]. En esencia, se construye una función lineal discriminante de la calidad de imagen para las variables seleccionadas como determinantes de los clústeres forma-

dos. El método también determina la importancia relativa de cada variable seleccionada en la clasificación, a partir del cálculo del coeficiente de correlación de cada una con la función construida. Se obtiene entonces, como actividad radionuclídica optimizada, la menor que permite que todas las variables determinantes de la calidad de la imagen tengan sus valores dentro del clúster de mayor calidad de imagen construido.

### **RESULTADOS**

La Figura 2 muestra el área bajo la curva ROC de cada uno de los 3 observadores y la Tabla I resume sus valores. Obsérvese que no existen diferencias significativas en los resultados para 37 MBq y 84 MBq ( $p>0.05$ ), para un 95 % de confianza, en el caso de los tres observadores. Sin embargo, estas diferencias sí fueron significativas respecto a 18.5 MBq, principalmente para el observador 1 ( $p=0.008$ ).

Es importante explicar el comportamiento que han tenido las tasas de falsos positivos y falsos negativos para cada observador. Las curvas para el observador 1 muestran que cuando la actividad se incrementa, la tasa de falsos positivos se incrementa de 0.024 con 18.5 MBq hasta 0.073 para 84 MBq. No se observaron diferencias significativas en este sentido entre 84 MBq y 37 MBq ( $p>0.05$ ), para un 95 % de confianza. En el caso del cálculo de las tasas de falsos negativos se apreció que

Actividad MBq	Área ( $\pm$ D.t) bajo la curva
84	0.92 $\pm$ 0.08
37	0.92 $\pm$ 0.05
18.5	0.79 $\pm$ 0.07

Tabla I: Área media bajo la curva ROC para los tres observadores.

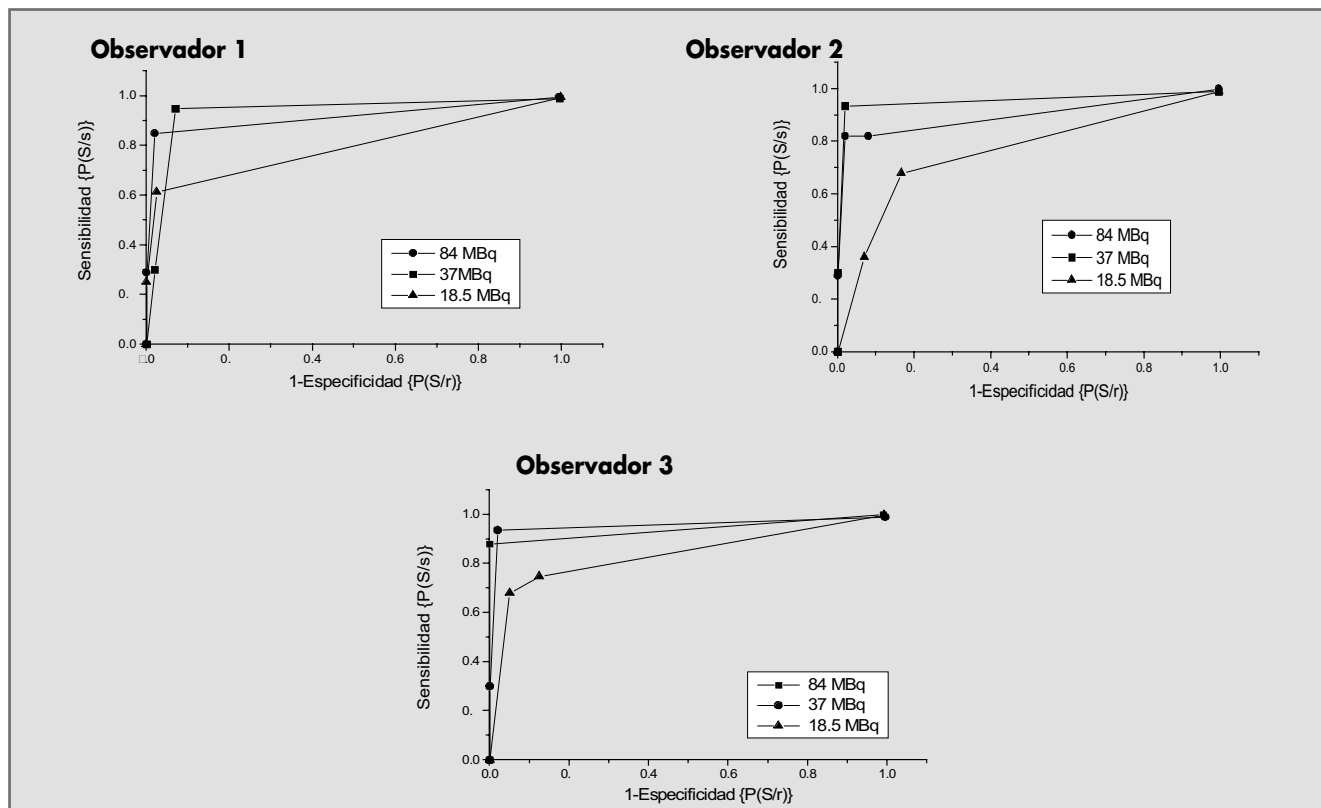


Figura 2. Curvas ROC para cada observador con cada valor de actividad.

la reducción de actividad produjo un incremento en la misma desde 0.036 para 84 MBq a 0.38 para 18.5MBq. Para este último valor, 21 falsos negativos fueron reportados, 8 para 37 MBq y solo 2 para 84 MBq. Para el observador 2, la tasa de falsos positivos fue de 0.02 para 37 y 84 MBq y sufrió un incremento hasta 0.097 para 18.5 MBq. El cálculo de la tasa de falsos-negativos arrojó 0.05 para 84 MBq, 0.18 para 37 MBq y 0.31 para 18.5 MBq. Para el observador

3, las tasas de falsos positivos fueron de 0.12 para 84 MBq, 0.02 para 37 MBq y 0.25 para 18.5 MBq. Las tasas de falsos negativos fueron de 0 para 84 MBq, 0.011 para 37 MBq y 0.14 para 18.5 MBq. Para este último valor, 6 falsos positivos y 29 falsos negativos fueron reportados. Desde este punto de vista no parece posible reducir en este experimento la actividad por debajo de 37 MBq, sin que la precisión en la observación de los expertos se afecte, principalmente

en lo referente al número de falsos negativos. Las diferencias entre las tasas de falsos positivos entre 37 MBq y 84 MBq no fueron significativas ( $p=0.07$ ) para un 95 % de confianza y las tasas de falsos negativos fueron un problema menor.

La figura 3 muestra los resultados del registro en cuanto a detectabilidad de lesiones para cada valor de actividad.

El valor de 37 MBq resultó adecuado para realizar una evaluación precisa de las lesiones. No existieron diferencias significativas entre los marcadores para 37 y 84 MBq ( $p>0.05$ ). El valor de 18.5 MBq, sin embargo, tuvo peores resultados en este sentido. El marcador medio obtenido para cada lesión es menor que para los otros dos valores de actividad.

La Tabla II muestra los resultados medios de las Relaciones Señal/Ruido

Actividad (MBq)	Relaciones Señal/Ruido		
	$S_1/N$	$S_2/N$	$S_3/N$
18.5	$7.57 \pm 0.04$	$6.56 \pm 0.04$	$7.87 \pm 0.05$
37.0	$10.70 \pm 0.03$	$10.41 \pm 0.02$	$11.22 \pm 0.03$
84.0	$12.04 \pm 0.03$	$13.37 \pm 0.01$	$13.07 \pm 0.02$

Tabla II: Relaciones medias Señal/Ruido.

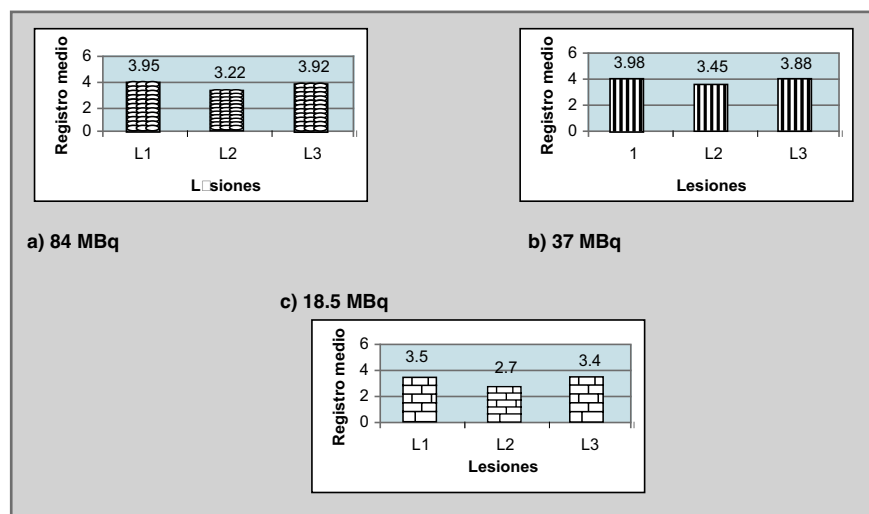
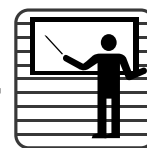


Figura 3. Registro medio para cada lesión con cada actividad.

(Si/N) en los cortes analizados para las tres actividades.

La Figura 4 muestra el valor del Contraste Imagen para cada lesión como un valor medio de los tres cortes para cada actividad.

Se obtuvieron diferencias significativas en el Contraste imagen obtenido con 18.5 MBq ( $p < 0.05$  para todos los casos) con respecto a los estudios realizados con 37 y 84 MBq para la detección de las tres lesiones. Sin embargo, el Contraste Imagen no fue

significativamente diferente para 37 y 84 MBq ( $p > 0.05$ ).

Los tres observadores evaluaron todos los grupos de imágenes observadas como "Buena calidad" (5 puntos), independientemente de con qué actividad fueron obtenidas. Sin embargo, matemáticamente se formaron dos clústeres con calidad de imagen diferenciada a partir de las relaciones Fondo/Señal. El primero contenía los estudios realizados con 37 y 84 MBq y el Segundo los realizados con 18.5 MBq. Los centroides

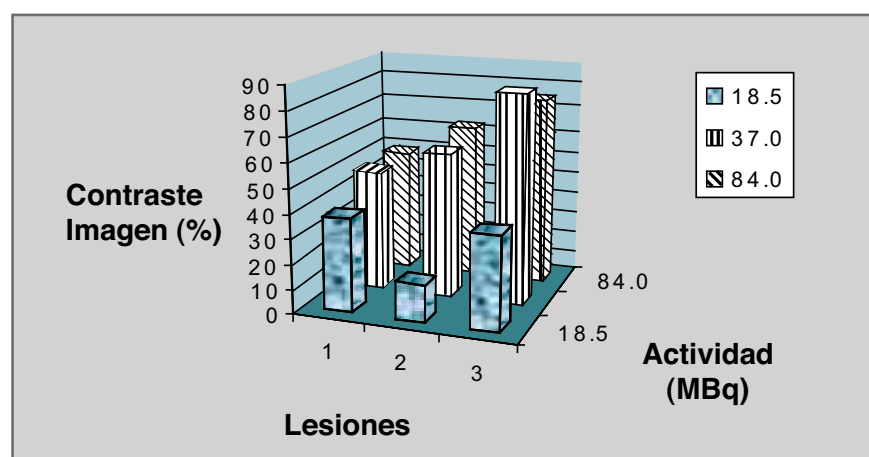


Figura 4. Contraste medio para cada lesión.

del primer cluster fueron:  $B/L1 = 1.93$ ,  $B/L2 = 1.71$  y  $B/L3 = 1.27$ . Los centroides del segundo cluster fueron:  $B/L1 = 2.68$ ,  $B/L2 = 6.64$  y  $B/L3 = 2.61$ . Entonces asumimos que el primer cluster tiene mejor calidad de imagen desde el punto de vista cuantitativo. La calidad de imagen entre ambos conglomerados resultó significativamente diferente ( $p = 0.021$ ). El resto de las variables medidas conforma idénticos clústeres.

Los resultados anteriores muestran muy buena correlación con el área bajo la curva ROC ( $r = 0.890$ ).

Siguiendo el criterio anterior se aplicó el análisis discriminante. La función lineal obtenida fue la siguiente:

$$IQ = 0.987 \frac{B}{L1} - 0.383 \frac{B}{L2} + 0.813 \frac{B}{L3} \quad (3)$$

$IQ$  = Calidad de imagen según la discriminación de los clústeres.

La función fue significativa (Valor de la Lambda de Wilks 0.006 [2]). El 100 % de los casos fue correctamente clasificado dentro de los clústeres. Los coeficientes de correlación de cada variable con la función fueron:  $B/L1$  ( $r = 0.895$ ),  $B/L3$  ( $r = 0.461$ ) y  $B/L2$  ( $r = 0.198$ ). Los mismos representan el peso relativo de cada variable en la discriminación de la calidad de la imagen.

La Tabla III muestra los valores medios de  $B/Li$  para los tres valores de actividad. Las variables seleccionadas como discriminantes se comportaron mejor en general para 84 MBq, pero sin diferencias significativas respecto a 37 MBq ( $p = 0.078$ ).

Se aprecia muy buena correlación entre las relaciones  $B/Li$  con las relaciones  $Si/N$  ( $r = 0.922$ ).

## DISCUSIÓN

El análisis ROC ha arrojado como valor optimizado que permite detectar

Actividad (MBq)	Relaciones Fondo/Señal		
	B/L1	B/L2	B/L3
18.5	2.07±0.21	6.57±0.27	2.61±0.18
37.0	2.32±0.15	1.75±0.20	1.26±0.19
84.0	1.95±0.14	1.67±0.31	1.28±0.16

**Tabla III:** Valor medio de las relaciones Fondo/Señal para cada valor de actividad.

adecuadamente las lesiones en este experimento a 37 MBq (el área bajo la curva ROC no es estadísticamente diferente de la obtenida con 84 MBq). Además, desde el punto de vista de las tasas de falsos positivos y falsos negativos, por debajo de ese valor parece afectarse la precisión en la detección de lesiones por parte de los observadores en este experimento en particular. Las diferencias entre las tasas de falsos positivos entre 37 y 84 MBq no son significativas para un 95 % de confianza y las tasas de falsos negativos para ambos valores fueron un problema irrelevante. Sin embargo, cuando la actividad se redujo hasta 18.5 MBq el umbral de discriminación de los observadores perdió precisión, se elevó considerablemente la tasa de falsos negativos y el contraste imagen se deterioró, cayendo para el caso de L2, prácticamente en el límite detectable por el ojo humano experto (13 %) [17,18]. Es por esto que a la detección de esta lesión se asoció el mayor número de falsos negativos obtenidos para este valor de actividad.

Una buena calidad de imagen implica mantener un bajo y equitativo nivel de ruido y una misma y buena resolución espacial en todas las tomografías. La resolución espacial no es directamente dependiente de la actividad administrada, sino de la distancia entre el colimador y el

paciente, el tamaño de matriz de adquisición y del filtro utilizado durante la reconstrucción de las imágenes. Estos parámetros fueron mantenidos constantes en nuestro experimento y a nuestro juicio su adecuada selección puede constituir la posible razón del por qué todos los observadores evaluaron como "Buena" la calidad de todos los grupos de imágenes tomográficas analizadas.

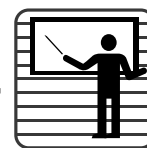
Existió un buen umbral de discriminación entre Señal útil (Lesiones y estructuras) y ruido, con diferencia de más de dos desviaciones típicas en las distribuciones correspondientes, obtenidas a partir del análisis ROC de los tres observadores. Esto sugiere que se obtuvo una buena discriminación en general entre los sitios Normales y Anormales visualizados por los expertos. De ahí, que se hayan obtenido curvas ROC movidas hacia el extremo izquierdo con áreas cercanas a 1 [17,18].

Sin embargo, el método que proponemos en este artículo, brinda una mejor discriminación que la opinión subjetiva de observadores y basado en un número mucho más reducido de mediciones y de tiempo de evaluación de imágenes. A través del método propuesto fueron encontradas ligeras diferencias en la calidad de las imágenes tomográficas a partir de los valores de las relaciones Fondo/Señal, así como de las relaciones Se-

ñal/Ruido y del Contraste imagen. Las imágenes obtenidas con 37 y 84 MBq pertenecen a un cluster y las de 18.5 MBq a otro, con diferencias significativas entre ambos. Estas diferencias no fueron evidentes para el umbral de visualización de los observadores expertos.

Es importante destacar que para reproducir este método en estudios a realizar con pacientes para tomografías cardíacas como por ejemplo: MIBI-Tc99m ó Tl-201 se requiere hacer una adecuación cuidadosa de los niveles de actividad a aplicar, a partir de elegirlos dentro de los valores más comunes que se utilizan hoy en día en estudios de rutina clínica en la práctica de los hospitales, así como a partir de valores recomendados en Normas [1]. Los valores utilizados aquí solo tienen valor práctico a los efectos de este experimento con un maniquí, para probar la funcionalidad matemática del método discriminante para optimizar actividad: no tienen, desde luego, ninguna significación real para ser extrapolados a estudios reales con pacientes. El modo de adecuar dicho método discriminante en estudios con pacientes para otros tipos de estudios reales en Medicina Nuclear, ha sido presentado y discutido en [8-11]. En estos trabajos se destaca también la utilidad del método para reducir el número de variables a tomar en cuenta para establecer el criterio de optimización de actividad. La adecuación de la aplicabilidad de este método para optimizar actividad, en el caso específico del SPECT de perfusión miocárdica con pacientes, constituye aún, trabajo futuro.

Todas las lesiones ubicadas son mayores a 1/1.75 veces el FWHM del sistema utilizado. (La resolución del



colimador utilizado fue de 5.25 mm). Por esta razón la posible influencia del efecto de volumen parcial sobre los falsos negativos obtenidos son despreciables [19]. De hecho, esta tasa fue particularmente muy baja para los valores de actividad de 37 y 84 MBq.

El método aplicado clasificó más del 75 % de los casos correctamente dentro de los clústeres (valor mínimo aceptado para considerar exitosa la aplicación [5]). La lesión más pequeña (L1) resultó la más relevante para la clasificación de niveles de calidad de imagen y las relaciones correspondientes a L2 tuvieron la peor correlación con la función.

El procedimiento de optimización arrojó entonces a 37 MBq como el valor óptimo para las condiciones de este experimento particular. Este valor fue el mínimo para el cual todos los casos pertenecen al cluster de mayor calidad de imagen y las relaciones Fondo/Señal no presentan diferencias significativas respecto a 84 MBq. Un resultado análogo se obtuvo para las relaciones Señal/Ruido, pero como estas últimas tuvieron una alta correlación con las relaciones Fondo/Señal, fueron extraídas de las funciones por resultar multicolineales con estas [20].

El método propuesto ha sido implementado en estudios reales con pacientes, ya sean estudios estáticos [9,10], dinámicos [7,11] ó de SPECT [21]. Esto es un modo simple de reducir la actividad radionuclídica a administrar en la práctica, sin afectar sensiblemente la calidad de la imagen. El método ha sido previamente validado para su utilización en estudios planares de Medicina Nuclear [22]. Puede ser implementado para

cualquier tipo de cámara gamma, inclusive las mas modernas, y resulta particularmente útil para la protección radiológica de los pacientes, de acuerdo con el Principio ALARA [3,23], debido a la reducción significativa que se obtiene sobre las dosis absorbidas sobre muchos tejidos y órganos de los pacientes y sobre la dosis efectiva en general [8-11, 24].

La metodología ROC por su parte requiere de un número mucho mayor de observaciones para arribar a una conclusión (410 observaciones fueron realizadas en este experimento por cada uno de los tres observadores). También, como se puede apreciar, que este tipo de análisis resulta muy dependiente de la experiencia del observador y siempre estará afectado por falsos tanto positivos como negativos [4,15,17,18,25]. Sin embargo, es importante destacar, que en este estudio no obtuvimos una variabilidad significativa entre las evaluaciones de los tres observadores. No obstante a estos factores, es el método científicamente reconocido para determinar qué ve y qué no ve un observador experto en una imagen médica y por tanto, es el recomendado para comparar con respecto a él cualquier nuevo método [2].

Una revisión de otros posibles métodos para optimizar actividad radionuclídica en Medicina Nuclear, bajo el mismo principio de establecer una relación de compromiso entre calidad de imagen y protección radiológica del paciente pueden ser encontrados en [26].

La actividad óptima obtenida con el procedimiento propuesto coincide con la actividad para la cual el área bajo la curva ROC fue mayor, la sensibilidad fue mejor y las tasas

de falsos positivos y negativos un problema menor. Sin embargo, el método discriminante resultó más rápido y simple para distinguir niveles diferenciados de calidad de imagen para propósitos de optimización de actividad. Permitió además, obtener los resultados sobre la base de un número muy reducido de variables objetivas, medidas sobre las imágenes. La correlación de los resultados principales del método discriminante respecto al ROC resultó muy buena, por lo cual podemos considerar validado el método para su utilización en SPECT. Este método discriminante tiene, además, la ventaja de que puede desarrollarse de forma completamente independiente de la subjetividad de observadores con ayuda de las Técnicas de Clustering.

## CONCLUSIONES

La utilización del análisis discriminante como vía para seleccionar las variables capaces de describir mejor la calidad de la imagen en Medicina Nuclear, para propósitos de optimización de actividad radionuclídica, resulta un método rápido y sencillo de implementar para mejorar la Protección radiológica del paciente en nuestros Departamentos de Medicina Nuclear.

En este estudio en particular, 37 MBq fue seleccionado como el valor óptimo para las condiciones técnicas utilizadas, a partir de aplicar tanto el reconocido Análisis ROC como el Método discriminante propuesto. Este último, tiene la ventaja de poder ser implementado de forma completamente independiente de la subjetividad de observadores expertos.

**AGRADECIMIENTO**

Los autores desean agradecer a la *Third World Academy in Sciences (TWAS)* por el aporte económico realizado para el desarrollo de este Proyecto.

**REFERENCIAS**

[1]. Colección de Seguridad 115. Norma Internacional Básica de Protección contra la Radiación Ionizante y de Seguridad de las Fuentes de Radiación. OIEA, Viena, 1994

[2]. Mattsson S., Jacobsson L., Vestergren E. The Basic Principles in Assessment and Selection of Reference Doses: Considerations in Nuclear Medicine. *Rad. Prot. Dosim.* 80: 23-27; 1998

[3]. International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60 Ann. ICRP 21 (1-3), Oxford: Pergamon Press; 1991

[4]. Metz C. E. Basic principles of ROC-analysis. *Sem Nucl Med.* 8: 283-298; 1978

[5]. Venables W.N., Ripley B.D. Statistics and Computing: Modern Applied Statistics with S-Plus. Pg. 311-318: Springer-Verlag, New York, 1994

[6]. Zizking M., Negin M., Piner C., Lapayowker M. Normal and Abnormal Termograms: ROC analysis. *Radiology* 115:341-347; 1975

[7]. Hair J., Anderson R., Tatham R., Black W. Multivariate Analysis. Pg 249-325: Prentice Hall Iberia, Spain, 1999

[8]. Pérez D.M., Quevedo G.J., Ponce V.F., Díaz-Rizo O. Administered activity optimisation in patients studied by equilibrium gated radionuclide ventriculography using pyrophosphate and Tc-99m. *Nuc Med Commun* 23: 347-353; 2002

[9]. Pérez D.M., Quevedo G.J., Díaz-Rizo O., Dopico R. Estévez A.E. Viamonte M.A. Administered Activity Optimization in Skeletal scanning using MDP labelled 99m-Tc. *ALASBIMN Journal*: 16 (4): 2002, Nro. AJ16-5

[10]. Pérez D.M., Díaz-Rizo O., Dopico H.R., Estévez A.E. Administered Activity Optimization in Renal Scintigraphy with DMSA - 99mTc. *ALASBIMN*. 28 (5); 2002, Nro. AJ20-5.

[11]. Pérez D.M., Estévez A.E., Díaz-Rizo O., Roque D.R., Hernández D.C. Administered Activity optimization in 99mTc-MAG3 Renography for Adults. *J Nucl Med Technol* 31: 216-221; 2003

[12]. Pérez D. M., Díaz-Rizo O., López D.A., Estévez A. E., Roque D.R. Activity Optimization Method in SPECT: A comparison with ROC analysis. *Proceeding del II European Congress on Radiation Protection and Nuclear safety*. Paris. Mayo 2006.

[13]. Greer. L., Scarfone Ch. Data Spectrum's SPECT. User's Manual. Data Spectrum Corporation, 437 Dimmock Mill Road Hillsboroug NC 27278; 1999

[14]. The NEMA Standards Publication / No. NU 1-1994. Performance Measurements of Scintillation Cameras. Washington, D.C National Electrical Manufacturers Association (NEMA), 1994.

[15]. Hanley J.A, McNeil B.J. The Meaning and Use of the Area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve. *Radiology* 143: 29-36; 1982

[16]. Sorenson JA, Phelps M. Physics in Nuclear Medicine. Grune and Stratton, Second edition. Orlando, Florida, 1987.

[17]. Evans A. II. The evaluation of Medical Images. Image Evaluation by Signal Detection Theory. In: *Medical Physics Handbook* Pg: 80-113. Adams Hilger Ltd Editors. Techno House UK, 1981

[18]. Goodenough J.D. Psychophysical perception of computed tomography images. In: *Technical aspects of CT*. Pg: 3993-4021, Potts Editorss. Newton 8, Washington D.C, 1981

[19]. Tsui B.M.W., Zhao X. Quantitative single-photon computed tomography: basics and clinical considerations. *Sem. Nucl. Med* 65: 24-36; 1994

[20]. Juez P., Díaz F. Probabilidad y Estadística en Medicina: Aplicaciones en la Práctica Clínica y en la Gestión Sanitaria. Pg: 189-222. Díaz de Santos Editors. Madrid, 1996.

[21]. Pérez. D.M, Díaz-Rizo.O, Estévez.A.E, Roque.D.R., Hernández.D.C. Optimization method for the administered activity to patients in Tc-99m-HMPAO cerebral blood flow SPECT in adults. *Revista Brasileira de Pezquiza. y Desenvolvimento. INAC: 2002. Proceedings de la II Conferencia Internacional Atlántica Nuclear y VI Reunión sobre Aplicaciones Nucleares, Agosto 2002; Rio de Janeiro, Brasil: SBPR, 2002*

[22]. Pérez D. M., Díaz-Rizo O., Farias L. F. Activity Optimization method for Nuclear Medicine Planar Studies based on Discriminant Analysis: A comparison with ROC Curve. *ALASBIMN Journal* 31(8); 2006, N°AJ31-2

[23]. International Commission on Radiological Protection. Protection of the Patient in Nuclear Medicine. ICRP, Publication 52 ann. ICRP 17 (4), Oxford: Pergamon Press; 1987

[24]. International Commission on Radiological Protection. Radiation Dose to Patients from radiopharmaceutical. ICRP Publication 53 Ann. ICRP 18 (1-4), Oxford: Pergamon Press; 1987

[25]. Martínez C.J., Orensanz L., Somoza E. Optimización de una prueba diagnóstica mediante la utilización del análisis receiver operating characteristic y de la teoría de la información. *Rev. Neurol* 24: 412-416; 1996

[26]. Pérez D.M., Díaz-Rizo O., Ferrer G. N. Métodos de optimización de la actividad a administrar al paciente en estudios de Medicina Nuclear (revisión del Tema). *Rev Fis. Med.* 7: 22-25; 2006





### 5th International Symposium on Naturally Occurring Material, (NORM V)

Del 19 al 22 del pasado mes de marzo, se celebró en Sevilla el "5th International Symposium on Naturally Occurring Material, (NORM V)", organizado por el Grupo de Física Nuclear Aplicada de la Universidad de Sevilla en colaboración con la Agencia Internacional de Energía Atómica, el Consejo de Seguridad Nuclear y la Universidad de Huelva. En este simposio internacional, continuación natural de los celebrados previamente en, Holanda, Alemania, Bélgica y Polonia, participaron un total de 200 delegados pertenecientes a 40 países de los cinco continentes, los cuales expusieron y debatieron sobre los últimos avances y conocimientos existentes en relación a las exposiciones susceptibles de ser recibidas por trabajadores y público en general, debidas a la radiación natural involucrada en procesos industriales convencionales (no pertenecientes al ciclo del combustible nuclear) en los que o bien se utilizan como materia prima o bien se generan productos, residuos y/o vertidos enriquecidos en radionucleidos naturales (materiales NORM).

En particular, y durante el simposio, se dedicaron sesiones específicas a los siguientes temas de interés: a) procesado y uso de minerales de zirconio en la industria cerámica, b) el uso industrial del torio, c) producción de pigmentos de dióxido de titanio, d) reciclado de metales contaminados por radiactividad natural, e) extracción y procesado de tierras raras, y f) extracción, procesado y uso de minerales fosfatados. Por el contrario, se descartó *a priori* el tratar la minería de uranio y su impacto radiológico ocupacional y ambiental, así como el tema del radón (salvo cuando estuviera asociado a los procesos industriales y mineros antes comentados) por existir ya congresos consolidados y bien establecidos sobre estas temáticas.

El Simposio se dividió en un total de 8 sesiones, durante las cuales se expusieron un total de 6 conferencias plenarias (de 40 minutos) y 32 exposiciones orales (20 minutos), y se exhibieron un total de 65 posters (con una breve exposición oral introductoria de 3 minutos). Cada uno de los cuatro días del Congreso, se finalizó con una exposición de 30 minutos de duración, realizadas por

reconocidos expertos, en las que se resumieron y destacaron las principales conclusiones expuestas en la exposiciones realizadas ese día, y se incitaba a la audiencia a debatir sobre los puntos más interesantes. Finalmente, y fuera del programa oficial, el viernes 23 de marzo un grupo de unos 40 congresistas participaron en una visita guiada a las plantas de producción de ácido fosfórico de Fertiherbas en el polígono industrial de Huelva, así como a las balsas de almacenamiento de fosfoyeso, donde pudieron comprobar y evaluar la nueva política de gestión de este sub-producto llevada a cabo por la citada compañía.

Sin entrar a valorar el nivel científico-técnico del Congreso, al haber estado inmerso en su estructuración, definición de líneas prioritarias y organización el autor de esta nota informativa como presidente del comité local organizador, si que creo necesario resaltar independientemente los siguientes puntos:

a) Ha quedado en este congreso claramente de manifiesto la cada vez mayor concienciación internacional sobre la necesidad de investigar y regular convenientemente las exposiciones ocupacionales y al público asociadas a las actividades de industrias NORM. Ello queda claramente reflejado en dos hechos: el número de participantes en este simposio casi duplica al número máximo de participantes alcanzado en congresos NORM previos, y la participación no se ha circunscrito esencialmente al ámbito europeo como en eventos anteriores. Unos 60 participantes no europeos han dado una dimensión mundial a este evento.

b) Es especialmente estimulante el observar la cada vez mayor coordinación y predisposición hacia un objetivo común de los diversos sectores involucrados en la problemática NORM. En Sevilla, un 35% de los participantes provenía del sector industrial y/o empresarial (se encontraban representadas industrias de fertilizantes, cerámicas, petroleras, químicas, de reciclado de metales, etc), un 45% provenía de universidades o centros públicos, y un 20% provenía de organismos que desarrollan sus actividades, fundamentalmente de regulación y control, bien en la administración pública de sus países o en instituciones internacionales. Y a diferencia de Congresos previos donde estos sectores parecían tener objetivos e intereses encontrados, la mencionada predisposición y coordinación de los diversos sectores antes mencionados

quedó de manifiesto en Sevilla a través de una comunicación y discusión fluida e intensa entre los participantes a lo largo de las diversas jornadas del Congreso.

Por otra parte, es de destacar el papel muy relevante jugado en este Congreso por la Comunidad Española trabajando en el tema NORM. Prácticamente toda la Comunidad española trabajando en la temática del Congreso estuvo presente en el evento, participando muy activamente: 1 Conferencia Plenaria, 4 exposiciones orales, 18 presentaciones tipo poster, 3 co-presidencias de sesión y 4 miembros en el Comité Científico avalan el papel español en este evento. Esta amplia participación demuestra la variedad y riqueza de estudios que la Comunidad NORM en España está desarrollando durante los últimos años.

No me gustaría finalizar sin remarcar, como presidente del Comité Organizador, el apoyo económico brindado por diversas instituciones nacionales y autonómicas para la apropiada organización de este evento. En este sentido la ayuda facilitada por la Universidad de Sevilla, la Fundación ENRESA y las Consejerías de Medio Ambiente y de Innovación, Ciencia y Tecnología de la Junta de Andalucía es especialmente agradecida. Y, es de destacar por otra parte también, como no, la ayuda moral y logística de la Sociedad Española de Protección Radiológica a través de su equipo directivo.

Modestamente creo que la celebración del Congreso NORM V en Sevilla, puede considerarse como un hito para la Comunidad Española trabajando en este campo tan particular de la protección radiológica. Pero un hito, que más que como una meta, debe interpretarse como el impulsor ideal para la consolidación de esta rama de la protección radiológica a nivel nacional. El que este papel impulsor quede ratificado en un futuro, está en manos de la variada Comunidad española (científico-técnica, reguladora, industrial) involucrada en este campo. El siguiente Congreso de esta saga (NORM VI) a celebrar en Marraquech (Marruecos) será una magnífica oportunidad de demostrar que el esfuerzo realizado en este 2007 con la organización de este Congreso Internacional no ha sido en vano.

Rafael García-Tenorio  
Catedrático de Universidad Física Aplicada,  
Universidad de Sevilla.  
Presidente del Comité Organizador NORM

**Congreso Conjunto SEPR-SEFM**

Durante la última Asamblea General de la SEFM celebrada en Granada el 24 de mayo 2007 con ocasión de su Congreso Nacional, se votó la realización del próximo Congreso Nacional en el año 2009, en Alicante, de forma conjunta con la SEPR. De 118 votos, 77 votaron afirmativamente (65 %), por lo que finalmente se aprobó. El Presidente de su Comité Organizador, el Dr. Bartolomé Ballester, resaltó su satisfacción por ello y animó a todos a participar. Estamos seguros de que esta prueba piloto, que habrá que analizar posteriormente, será un gran éxito, tanto de participación como de contenido científico, en el que tendrán cabida todos los sectores implicados, de forma independiente salvo los temas de interés común, como es la Protección Radiológica en el área sanitaria.

En esa misma Asamblea General también se celebraron las elecciones de la renovación



*Natividad Ferrer.*

de algunos cargos de la Junta Directiva. Se presentaron dos candidaturas encabezadas por la Dra. Natividad Ferrer (Hospital Ramón y Cajal) y el Dr. Luís Núñez (Hospital Puerta de Hierro), dos excelentes profesionales con muy amplia experiencia hospitalaria. Hubo una gran participación (182 votos de los que 11 fueron en blanco). Ganó la candidatura de Natividad Ferrer con 109 votos (60%) en la que se presentaban también la Dra. Inmaculada Jerez (Tesorera), el Profesor José Hernández Armas (Vocal) y el Dr. David Burgos (Vocal). A todos ellos, socios también de la SEPR, nuestra gran felicitación y ánimos.

*Leopoldo Arranz*

Ricardo Manso deja el legado de una forma de entender la vida, de una forma de hacer y de edificar que San Buenaventura analizaba así: "Saber por saber es curiosidad. Saber por ser sabido es vanidad. Saber para edificarse es prudencia. Saber para edificar es caridad." Un legado que deberemos saber conservar y transmitir celosamente sus amigos de toda España y sobre todo de Segovia y Extremadura, sus compañeros de estudios -ingenieros de minas-, sus compañeros de trabajo -Junta de Energía Nuclear, Enusa, Instituto Nacional de Industria, Enresa y Sociedad Nuclear Española- y sus conciudadanos de Pozuelo de Alarcón, donde vivía y donde fundó y dirigió la Asociación Cultural El Ágora de Pozuelo.

Además de estas actividades, Ricardo colaboró con toda clase de organizaciones e instituciones para el desarrollo y bienestar de la sociedad, destacando su fundamental participación durante cinco años en la elaboración del Diccionario Español de la Energía.

Siento que mi torpeza en la síntesis no pueda glosar tan enjundiosa vida. Temo, por tanto, herir la devoción de su mujer, María Ángeles, para quien cada uno de los recuerdos cotidianos es un brote de desgarrada ausencia, rememorando su inteligencia y bondad que supo alentar en los que le rodeaban.

Decía don Santiago Ramón y Cajal que "Todo hombre, si se lo propone, puede ser escultor de su propio cerebro", porque tan importante como la inteligencia que uno posee es el pensamiento que mueve nuestra inteligencia. Es decir, que nuestra actitud en la vida determinará en gran medida nuestra altitud, nuestra grandeza.

Y ésta fue la meta y el camino que se marcó Ricardo Manso a lo largo de su existencia, que cristalizó en una auténtica superación.

Lo esencial para la felicidad de la vida es lo que cada cual tiene en sí mismo. El arte de vivir consiste en haberlo hecho de tal manera que se piense alguna vez en nosotros cariñoso y gratamente y que se nos eche algo de menos. No se puede pedir más que eso, ni nada mejor. El resto es pura ilusión, pues el poder y la grandeza del hombre no radican en su "haber" sino en su "ser".

Hoy, estoy seguro, desde ese más allá de los justos, Ricardo estará de acuerdo con estas palabras de don José María Pemán, que podrían ser la síntesis de su vida, trayectoria humana y deseos: "Un hombre trabajador, con una Patria y con un Dios".

*Antonio Colino Martínez*

NOTICIAS  
de ESPAÑA

**In Memoriam Ricardo Manso**

El sector nuclear ha sufrido recientemente una pérdida inesperada. Ricardo Manso, profesional de amplia experiencia y presidente de la Comisión de Publicaciones de la SNE, falleció el día 2 de abril.

Desde RADIOPROTECCIÓN recordamos especialmente su colaboración en el número editado conjuntamente por la SEFM, la SNE y la SEPR con motivo de IRPA'11.

Agradecemos a Antonio Colino la nota que publicamos a continuación. En nombre de la SEPR, transmitimos nuestro pésame a sus familiares y amigos:

En el triste acto de expresar el sentimiento del sector nuclear por la muerte de uno de sus miembros se tiende, casi espontáneamente como medida paliativa de nuestro pesar, a evocar su figura, su personalidad, sus hechos más destacados.

La muerte es uno de los problemas más inquietantes, más difíciles de plantear, sobre todo cuando ocurre en las circunstancias que coincidieron en Ricardo Manso.



No es fácil empresa la de glosar la personalidad humana de quien en vida fue un amigo, ya que la amistad implica, ante todo y desde el núcleo mismo de su naturaleza, la existencia de afecto. Y el afecto quizá pudiera deformar mi visión de algunos aspectos del conjunto de las cualidades determinantes de la personalidad de Ricardo Manso.

Con la emoción del afecto me surgen algunos rasgos de su inmensa personalidad, su vehemencia y su generosidad. Generosidad con sus cosas, con sus conocimientos, con su persona toda.

## Presentación del portal de las radiaciones ionizantes del CIEMAT

El pasado 13 de marzo tuvo lugar la presentación oficial del nuevo portal de las radiaciones ionizantes del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

El acto de apertura de la jornada estuvo presidido por la Subdirectora del CIEMAT Milagros Couchoud y la Directora del Departamento de Medio Ambiente del CIEMAT.

D. Juan Carlos Lentijo del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), impartió la conferencia "Información sobre protección radiológica. Punto de vista del Organismo Regulador". Se recordó la evolución social que ha habido en la demanda de comunicación. En el enfoque tradicional, el análisis y la toma de decisiones lo realizaban los especialistas y la comunicación se producía a posteriori mediante ruedas de prensa o notas informativas o a través de información pública de normas o proyectos. El enfoque actual es inclusivo-participativo, es decir, involucra en la toma de decisiones a los grupos interesados ("stakeholders involvement"), siendo las opiniones de especialistas y público elementos de ayuda en la toma de decisiones. Para lograr esta implicación se llevan a cabo negociaciones, se crean comités consultivos, se emplea la intermediación facilitada por agentes independientes, se realizan acuerdos, y se ponen en práctica políticas dialogadas. Frente a este cambio en la demanda de información, el CSN lleva a cabo distintas acciones como son la incorporación de los nuevos enfoques y herramientas, o la participación en foros de desarrollo.

Entre las funciones del CSN se encuentra la protección radiológica de trabajadores, público y medio ambiente, a través de la autorización y/o inspección de las prácticas, y el proporcionar información al público. Los diferentes grupos tienen demandas de información específicas, siendo el Organismo Regulador el que identifica las diferentes necesidades de información para posteriormente poder cubrirlas.

Así, el CSN tiene diversas iniciativas en materia de comunicación dirigidas al público: página electrónica institucional, revista "Seguridad Nuclear", elaboración de notas de prensa y comunicación sobre sucesos y hechos relevantes, así como la publicación de las Actas de las reuniones del Pleno, las Actas de

Inspección o las Instrucciones y Guías. Adicionalmente, el CSN define y participa de forma directa en comités locales de información de instalaciones nucleares (RINR, AMAC).

En cuanto a las iniciativas del CSN en materia de comunicación dirigida a profesionales, se resaltó que el CSN tiene una intensa relación con los profesionales de PR a través de las sociedades profesionales (IRPA), universidades, laboratorios, centros de referencia e I+D, grupos de trabajo (Foro de PR en medio sanitario), plataformas internacionales (Foro iberoamericano, Red ALARA, EURADOS, ISOE, ERTRAP, OSPAR, RADNAT), congresos nacionales e internacionales, portal institucional, revista, publicaciones, oficina telemática, etc.

El CSN también tiene diversas iniciativas en materia de comunicación en el tema de emergencias. Así, elabora los planes de emergencia y dicta las Directrices de implantación. Igualmente proporciona información a la población tanto previa a la emergencia (comportamiento a seguir) como en el caso de emergencia. El CSN lleva a cabo la formación de los equipos de intervención e informa a la UE y los Estados Miembros, así como al Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA).

Para finalizar la conferencia, D. J.C. Lentijo habló sobre el portal temático sobre radiaciones ionizantes del CIEMAT. Destacó que la cantidad de información disponible sobre protección radiológica es muy grande. Si uno hace una búsqueda en Google con los términos "Radiological Protection" aparecen 1.330.000 relaciones, y 352.000 si se busca "Protección radiológica". El CIEMAT tiene una situación excelente en relación con el Organismo Regulador, las sociedades profesionales, los grupos de trabajo nacionales e internacionales, las universidades y grupos de investigación. El nuevo Portal será integrador, interactivo y participativo. Facilitará a los profesionales de la protección radiológica y al público en general acceder a la información actualizada a través de su boletín periódico, el calendario de eventos o las noticias más relevantes que se produzcan en el ámbito de la protección radiológica.

La segunda conferencia fue impartida por el Dr. Lars-Erik Holm, Presidente de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), quien habló de los últimos desarrollos y recomendaciones de la Comisión. Resaltó las novedades introducidas en las Recomendaciones próximas a publicarse, respecto a las dictadas en 1990. Se va a pasar de

una aproximación basada en los procesos de prácticas e intervenciones a una basada en las situaciones de exposición a radiación. Se enfatizará la similitud de las acciones de protección que se realicen sin reparar en la situación de exposición y se aumenta la atención en el proceso de optimización en todas las situaciones de exposición a radiación.

Los tres principios de protección radiológica seguirán siendo la justificación y la optimización en relación con las fuentes y la aplicación de los límites de dosis a nivel de individuo. Los coeficientes nominales de riesgo para efectos estocásticos son ligeramente inferiores que en 1990, pero del mismo orden de magnitud. El riesgo total de  $0,05 \text{ Sv}^{-1}$  continúa siendo apropiado para propósitos de protección radiológica, por lo que no habrá modificaciones en los límites de dosis recomendados.

La jornada de presentación del portal de radiaciones ionizantes finalizó con las presentaciones de Marisa Marco del CIEMAT y Elena Fernández del CINDOC-CSIC sobre el nuevo portal temático. Se resaltó que la iniciativa, que ha sido apoyada por la Sociedad Española de Protección Radiológica, pretende ser un referente en el ámbito de las radiaciones ionizantes, en el que se gestionen todas las actividades de generación del conocimiento relacionadas con las aplicaciones de éstas así como información de su medida, riesgos y su prevención.

Todas las conferencias impartidas con motivo de dicha presentación pueden descargarse en el portal (<http://www.ionizantes.ciemat.es>), en la sección "Quiénes somos".

Comité de Redacción

## La Directiva para agentes físicos y su impacto sobre la resonancia magnética

La nueva regulación europea podría impedir el uso de la resonancia magnética (RM) para el diagnóstico y el tratamiento de pacientes y amenaza con revertir avances pioneros en su uso. En 2004, la Unión Europea adoptó la Directiva para Agentes Físicos (2004/40/EC) para proteger a trabajadores de potenciales efectos adversos sobre la salud asociados a exposiciones agudas a corto plazo a campos electro-magnéticos (CEM), limitando así la exposición ocupacional. Esta Directiva debe ser incorporada en la ley por los Estados Miembros en abril de 2008. Desde el sector

médico se han levantado voces advirtiendo que la imposición de límites legales para exposiciones a CEM podría dar lugar a restricciones significativas en el uso la RM. Así, algunos trabajos de mantenimiento, de ejecución de procedimientos intervencionistas, de suministro de cuidados al paciente durante la anestesia o de investigación clínica, que se realizan en las inmediaciones del equipo en funcionamiento, podrían dar lugar a exposiciones que rebasasen los límites legales.

Recientemente (9-13 marzo) se ha celebrado en Viena el Congreso de la Sociedad Europea de Radiología (ESR). Bajo la cobertura del Congreso se realizó la presentación "de la Alianza EU para la RM". Dicha Alianza es una coalición de Parlamentarios europeos, de grupos de pacientes, de científicos europeos y de la comunidad médica, dedicada a estudiar los posibles problemas que la aplicación de la legislación EU de seguridad y salud ocupacional pudiera plantear al uso clínico y de investigación de la Resonancia Magnética. La Alianza solicitó a la Comisión europea que con urgencia:

1. Informe a los Estados Miembros, principalmente Ministerios de salud, así como otros ministerios y agencias, de las consecuencias que la aplicación de la Directiva tendría en el uso de la RM;

2. Informe a los Estados Miembros del estudio actualmente emprendido por la Comisión sobre el impacto de la Directiva en la RM, y solicite una moratoria en la legislación hasta que los resultados del estudio sean conocidos (esperados en octubre de 2007);

3. Proponga una enmienda a la legislación, incluyendo una derogación para su aplicación en la RM, si las conclusiones del informe así lo aconsejasen.

*Comité de Redacción*

### Se constituye la Plataforma Tecnológica de Fisión CEIDEN

El 24 de abril ha tenido lugar, en la sede del CIEMAT en Madrid, la constitución de la Plataforma de Fisión Tecnológica.

Este acto ha sido presidido por el Secretario General de la Energía, Ignasi Nieto, y ha contado con la participación de la Secretaria General del CIEMAT, Milagros Couchoud, y de Pío Carmen, Secretario General de CEIDEN.



*Diego Molina, Milagros Couchoud y Carmen Martínez Ten durante la constitución de la plataforma.*

La Plataforma recoge las iniciativas del Comité Estratégico de I+D Nuclear (CEIDEN), constituido en 1999 por el Ministerio de Industria, el CSN y el sector eléctrico, fortaleciendo de esta forma la colaboración de todos los actores implicados en la I+D nuclear. Por otra parte, la Plataforma permite la participación de todas aquellas entidades interesadas y que puedan aportar sus conocimientos y experiencias en la I+D de la energía nuclear de fisión.

Son miembros de la Plataforma empresas eléctricas, universidades, ingenierías, empresas de bienes de equipo y de ciclo de combustible, organismos del sector y los ministerios de Industria y de Educación y Ciencia.

La Plataforma está abierta a la incorporación de nuevos asociados, que podrá ser cualquier entidad española relacionada con la I+D+i nuclear que desarrolle actividades en este campo o tenga interés en hacerlo.

*Comité de Redacción*

### Campaña de búsqueda y recuperación de fuentes radiactivas

El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC), con el asesoramiento del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), ha puesto en marcha una campaña de recuperación de "fuentes radiactivas huérfanas" (fuentes que por cualquier motivo no estén sometidas al sistema de control reglamentario establecido) que pudieran existir en España, procedentes de actividades llevadas a cabo fundamentalmente en el pasado.

Esta actividad está prevista en el *Real Decreto 220/2006*, publicado en el BOE del 28/02/06, que transpone una Directiva Europea.



La realización de la misma ha sido encargada a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (ENRESA), quien la llevará a cabo entre los años 2007 y 2008 bajo la supervisión y control del CSN y del propio MITYC.

El desarrollo de esta campaña se basa en la colaboración de los diversos agentes y organizaciones en los que se encuentren o se puedan encontrar, de forma más o menos consciente y documentada, fuentes radiactivas de este tipo. ENRESA tratará de establecer contactos con todos ellos para facilitar las actuaciones necesarias para la búsqueda y recuperación de las eventuales "fuentes radiactivas huérfanas" que pudieran existir en sus centros o instalaciones.

Adicionalmente, se requiere la colaboración de las diversas Administraciones, así como de Entidades, Asociaciones científicas y profesionales y Organismos públicos y privados, apoyando la difusión de la campaña y aportando la información que puedan considerar de utilidad para el éxito de esta iniciativa.

Más información en [www.enresa.es](http://www.enresa.es) - Servicio Público-Actividades- Campañas.

*Carmen Rueda*

### Establecimiento de la red de radiactividad natural RedRadNa

*Santander 4-6 de junio de 2007*

Ha tenido lugar en Santander la primera reunión de los integrantes de la red RedRadNa. Su objetivo principal es la creación de un foro para llevar a cabo acciones de intercambio y transferencia de conocimientos sobre la radiactividad natural entre las organizaciones



de I+D+i y los usuarios finales, estructurando y dinamizando dichas acciones tanto a nivel nacional como europeo. A esta reunión han asistido representantes de 21 organismos (universidades y centros de investigación) así como una amplia representación del CSN. La red está abierta a la entrada de otros organismos que así lo soliciten.

Con el establecimiento de esta red se pretende además identificar e integrar a los potenciales usuarios finales y sus demandas y/o necesidades; la recopilación de información que incluya aspectos relacionados

- con proyectos, resultados, metodologías e instrumentación; el desarrollo de una masa crítica de investigadores en este campo para, de manera coordinada, poder acceder a proyectos de I+D+i tanto a nivel nacional como europeo, el intercambio de experiencia docente e investigadora y la difusión de información y conocimiento sobre la radiactividad natural a través de la creación y desarrollo de una página electrónica.

Comité de Redacción

## NOTICIAS de l M U N D O

### Resumen de la reunión de consultores celebrada en el OIEA

Viena, 29 a 31 de enero de 2007

La reunión de consultores se convocó en el OIEA (Organismo Internacional de la Energía Atómica) bajo el título de "Incident reporting system for interventional procedures".

Se destacó el gran incremento de procedimientos invasivos diagnóstico y terapéuticos, guiados por fluoroscopia, que se estaba produciendo en los últimos años. La cardiología intervencionista seguía siendo un área de gran actividad con un incremento anual de procedimientos muy importante. El número de lesiones por radiación podría ser significativo y se supone que podrían existir muchos más casos que los que se publican en la literatura científica o que conocen las autoridades reguladoras y las administraciones sanitarias. Se comentó que la mayoría de incidentes documentados son de Estados Unidos porque en ese país, la FDA requiere que se comuniquen esos incidentes (si bien, posteriormente, el experto de la FDA, matizó algunos aspectos del sistema americano de los que se podría deducir que no siempre se registran todos los incidentes).

La propuesta inicial del OIEA era poner en marcha un sistema basado en Internet, para registrar los incidentes con radiación, en procedimientos guiados por fluoroscopia, con carácter voluntario y anónimo, que permitiera el intercambio de información entre los usua-

- rios, con acceso libre, y que contribuyera a evitar los daños por radiación en este tipo de procedimientos.

Se destacó, que las Normas Básicas de Seguridad del OIEA y la Directiva Europea 07/43/EURATOM, exigen que se investiguen los incidentes derivados del uso médico de las radiaciones ionizantes.

Se destacó la falta de acuerdo entre los diferentes países y organizaciones internacionales, en la definición de "incidente". En el Reino Unido se estaban planteando tres niveles de incidentes: si se impartía al paciente 1,5 veces la dosis de radiación esperada, o si se impartían 10 veces más, o 20 veces más.

El experto de la FDA, comentó que en Estados Unidos (EEUU) se recibían del orden de 30 casos de incidentes de este tipo por año. Se indicó que aproximadamente, un caso por año llegaba a los tribunales de justicia en ese País. En EEUU todavía no se registran las dosis en procedimientos intervencionistas en la mayoría de centros, y muchas veces, el único parámetro que consta en la historia clínica de los pacientes es el tiempo de fluoroscopia, que es un indicador dosimétrico muy pobre.

Se presentó la situación en la Comisión Europea y los objetivos de una propuesta de contrato aprobada en el año 2004 (aunque todavía no publicada) para establecer, con carácter piloto, una base de datos europea de accidentes e incidentes en exposiciones médicas.

Los consultores de radioterapia presentes en la reunión, presentaron la experiencia europea en el sistema ROSIS (Radiation Oncology Safe-

ty Information System) <http://www.clin.radfys.lu.se/default.asp>.

Los expertos del OIEA presentaron el sistema INES diseñado para la industria nuclear (desde 1990), si bien, posteriormente se ha ampliado su aplicación a otras áreas de actividad. <http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/emergency.html>.

Se acordó elaborar un primer documento que contenga las líneas generales de la base de datos para registrar con carácter voluntario, los incidentes, acordándose que se tome como nivel de registro, los casos individuales de dosis que supongan valores mayores que el doble del nivel de referencia (tomado como el tercer cuartil de las distribuciones de dosis) nacional. Se acordó también llamar al sistema: "Educational radiation usage reporting system for fluoroscopic-guided invasive interventional procedures".

Prof. Eliseo Vañó

NOTA: Este resumen se prepara una vez finalizada la reunión, en base a las notas personales de E. Vañó, y podría no coincidir en su totalidad con el contenido del acta de la reunión que elabore el OIEA.

### Novedades en la organización del Congreso Internacional IRPA-12

A fines del mes de marzo se reunió en Buenos Aires el Grupo Central (Core Group) del Comité de Programa (ICPC) para el Congreso Internacional IRPA-12 con la Presidencia del mismo por parte del Profesor Eduardo Gallego.

El objetivo de la reunión ha sido consolidar, teniendo en cuenta los comentarios recibidos por los miembros del ICPC, los aspectos que se resumen a continuación para ser incluidos en el Segundo Anuncio y pedido de ponencias.

Identificación definitiva de las áreas temáticas, estructuración de las sesiones y del Programa Científico del Congreso, etc.

Por otra parte también se realizó la identificación inicial de posibles profesores de los cursos de refresco, relatores y presentaciones invitadas para las diferentes sesiones.

El esquema básico de IRPA-12 se agrupa en tres Campos Técnicos: Epistemología de la Radiación, Paradigma de la Protección Radiológica, Protección y Seguridad en la Práctica.

A su vez los Campos estarán desarrollados en 10 Series Temáticas en las cuales se incluirán los diferentes aspectos relacionados con esos Campos Técnicos.

En esta oportunidad, además de desarrollar los avances y novedades en los temas más tradicionales de la Protección, se ha dado especial énfasis a las aplicaciones en la práctica. Este Campo estará integrado por las siguientes series temáticas: Instalaciones Nucleares, Aplicaciones Médicas, Radiaciones no ionizantes, otras aplicaciones y prácticas y, por primera vez, se dará particular relevancia a las Industrias NORM (que procesan materiales radiactivos naturales).

La organización del Congreso, en los aspectos técnicos, se estructura entonces con la presentación de la "Sievert Lecture", 3 Sesiones Plenarias, una de ellas conmemorativa del 80º aniversario de la ICRP, 10 Series Temáticas subdivididas en 38 sesiones paralelas (Topical Sessions), Sesiones de Pósters, 3 Sesiones de Conclusiones Temáticas y una Sesión de Conclusiones Finales.

Asimismo, se ha dado mucha importancia a la formación y además de 20 Cursos de Refresco se ha previsto el desarrollo de "Comidas de Trabajo" abordando aspectos de especial relevancia y actualidad con un ponente invitado y en paralelo con la Asamblea General el día miércoles por la tarde se programarán Seminarios de varias horas de duración.

Finalmente también es de hacer notar que el tradicional "Workshop" de la International Commission on Non-Ionising Radiation (ICNIRP) se integrará en la propia estructura del Congreso dejando por primera vez de realizarse de forma independiente.

David Cancio

**10º Workshop EAN "Experiencia y nuevos desarrollos en la implementación del principio ALARA en las exposiciones ocupacionales, médicas y del público"**

Coincidiendo con el 10º aniversario de la creación de la Red ALARA Europea (European Alara Network, EAN), el pasado mes de septiembre de 2006, tuvo lugar el 10º Workshop EAN, en Praga. De forma diferente a la práctica habitual de estas reuniones, que versan sobre un tema ALARA en particu-

lar, la pretensión de este año fue abarcar la implementación del principio de optimización de las dosis en todos los dominios de actividad donde están presentes las radiaciones ionizantes: industria nuclear, industria convencional, sector médico y radiactividad natural (NORM).

Los objetivos del workshop fueron los siguientes:

- Revisar desde una perspectiva histórica, la evolución del concepto ALARA, acrónimo de "As low as reasonably achievable" (tan bajas como razonablemente sea posible alcanzar),
- Analizar la implantación actual del principio ALARA, e
- Identificar necesidades y puntos de actuación para futuros desarrollos del concepto y de la implantación del principio de optimización de las dosis.

La participación fue muy heterogénea, contando con representantes de diversos agentes sociales: reguladores, titulares, trabajadores, etc. provenientes de diferentes sectores laborales: médico, nuclear, industrial, NORM. En este contexto, la presencia y participación de diferentes organizaciones internacionales, implicadas directa o indirectamente en la protección radiológica fue muy valorada. Entre dichas organizaciones caben mencionar las siguientes: IAEA, UE, EAN, ILO, UNSCEAR, ESOREX, EFNDT (Federación Europea de Pruebas no Destructivas), EFOMP (Federación Europea de Organizaciones de Física Médica), ECRRT (Comité Europeo de Radiógrafos y Técnicos Radiólogos).

Partiendo de las conclusiones y recomendaciones propuestas por los diferentes grupos de trabajo creados al efecto, se elaboraron las recomendaciones formales del workshop. Dichas recomendaciones se refieren a los siguientes aspectos:

1. Justificación de las prácticas. Las autoridades nacionales deberían reevaluar de forma periódica la justificación de prácticas existentes.
2. Enfoque holístico de la protección: las autoridades de protección radiológica y de seguridad y salud laboral deberían trabajar conjuntamente con el objetivo de crear una cultura de seguridad integral (que podría extenderse a aspectos de seguridad medioambiental).
3. Cultura ALARA. Deberían definirse con mayor claridad las líneas maestras de la puesta en práctica del principio ALARA, para ser compartidas por todos los actores implicados en la gestión de la seguridad radiológica.

4. Formación ALARA. Existe una necesidad de mejorar la integración del principio ALARA en la formación de todos los agentes sociales y grupos de interesados en las decisiones que afectan a la protección radiológica.

5. Formación en el sector médico. Todo el personal implicado en la prescripción y gestión de las exposiciones médicas debería recibir formación inicial y continuada apropiada tal que permita entender los riesgos asociados a dichas exposiciones y la necesidad de aplicar los principios de justificación y optimización.

6. Priorización de ALARA a través de la inspección y el control. Los organismos reguladores deberían fomentar la implantación del principio ALARA a través de una combinación de líneas directrices (recomendaciones y guías) y normativa, focalizando el esfuerzo sobre aquellos sectores en los que ALARA está menos implantado.

7. Implicación de todos los agentes sociales y grupos de interesados en las decisiones que afectan a la protección radiológica. En este sentido, el papel de los organismos reguladores es esencial, así como las actividades que está llevando a cabo la EAN.

Puede obtenerse más información sobre el 10º EAN Workshop, así como las actividades de la EAN en <http://www.eu-alara.net>.

Olvido Guzmán. CSN

### Éxito del Congreso de la European Bioelectromagnetics Association (EBEA)

Burdeos (abril 10 - 13, 2007).

El Presidente de EBEA, Dr. René de Seze, definió como un éxito el octavo Meeting de EBEA celebrado el pasado abril en Burdeos. El Congreso, que reunió a participantes de 30 países, estuvo enfocado en las aplicaciones terapéuticas y los potenciales efectos nocivos de exposiciones a campos electromagnéticos (CEM). Entre las novedades, se presentaron avances en dosimetría, diseños de nuevos sistemas de exposición para tratamientos in vivo y nuevos estudios experimentales sobre aplicaciones biomédicas de de CEM pulsados.

EBEA 2007 presentó dos tutoriales, en dosimetría y epidemiología y dos sesiones plenarias, una sobre los criterios de salud ambiental de la OMS, y otra sobre electroporación y sus aplicaciones en terapia de cáncer. Los fundamentos en dosimetría para radiofrecuencias y

telefonía móvil fueron revisados por Joe Wiart (France Telecom R&D, Francia) que identificó la evaluación de la incertidumbre como tarea principal para el futuro. Emilie Van Deventer presentó información preliminar sobre la perspectiva de la OMS para los riesgos derivados de la exposición a CEM de muy baja frecuencia (ELF). Los requerimientos básicos para el diseño de los estudios epidemiológicos fiables en radiofrecuencias y telefonía móvil fueron detallados por Joachim Schüz, (Instituto de Epidemiología de Cáncer, de la Sociedad de Cáncer Danesa). Mientras, la comunidad científica permanece a la espera de la publicación de los datos finales del estudio Interfone (epidemiología de usuarios de teléfonos móviles en Europa). Una sesión extraordinaria trató sobre la Directiva de la Unión Europea, (que deberá ser transpuesta a la legislación de los estados miembros en abril de 2008). Dicha sesión fue presidida por Kjell Hansson-Mild (*National Institute of Working Life*, Suecia) y Jean-Pierre Servent (INRS, *Institut National de Recherche et de Sécurité*, Francia) y fue seguida de una mesa redonda con participación activa y nutrida de los congresistas. Las sesiones adicionales estuvieron enfocadas sobre estudios humanos, dosimetría, estudios in vitro, epidemiología, mecanismos de interacción, estudios in vivo, programas de investigación, estudios del proyecto europeo PERFORMA-A (telefonía móvil y cáncer in vivo), y aplicaciones médicas de las radiaciones no ionizantes. Los organizadores dieron cuenta de una representación bien equilibrada desde las diferentes áreas científicas y la industria. EBEA tuvo al menos 15 patrocinadores nacionales e internacional para esta reunión.

Se otorgaron dos premios para presentaciones de estudiantes, Lisbeth Samsø Schmidt, del Instituto danés de Epidemiología de Cáncer, recibió un premio por su mejor presentación:



**María Antonia Martínez (a la izquierda) acepta su certificación de premio de EBEA 2007. Organizadores: René de Seze, Presidente de EBE, e Isabelle Lagroye.**

• “An International Case-Control Study on Mobile Phone Use and the Risk of Brain Tumors in Children and Adolescents (Proyecto EU CEFALO). Se trata de un primer informe de un trabajo pionero sobre el uso de móviles por niños. Los directores del estudio premiado eran Joachim Schüz and Christoffer Johansen. El otro premio fue concedido a María Antonia Martínez, (miembro de la SEPR) del Dep. de Investigación-Bioelectromagnetismo del Hospital Ramón y Cajal, Madrid, por el estudio: “Apoptotic Response to 5 Hz MF in Two Human Cancer Cell Lines” (Proyecto FIS 03/0806 y Proyectos EU REFLEX e I+T MOU EUROPA, ERG 101.013), dirigido por María Ángeles Trillo (SEPR). Los resultados de este estudio indican que un CM intermitente de 50 Hz y 100 µT (límite para exposiciones del público en general) puede modular la apoptosis en NB69, una línea celular de neuroblastoma humano.

Comité de Redacción

### La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) aprueba las nuevas Recomendaciones de Protección Radiológica

En su reunión de Essen, Alemania, celebrada del 19 al 21 de marzo de este año, la Comisión Principal de la ICRP aprobó las nuevas Recomendaciones fundamentales sobre la protección del hombre y el medio ambiente frente a las radiaciones ionizantes. Estas Recomendaciones sustituirán a las dictadas por la Comisión en 1990.



“La decisión de aprobar las nuevas Recomendaciones marca el final de un proyecto iniciado hace 9 años y que ha incluido dos rondas de consulta pública de los borradores a nivel mundial sin precedentes” dijo el Presidente de ICRP, el Dr. Lars-Erik Holm.

Las nuevas Recomendaciones tienen en consideración la nueva información en las áreas de biología y física y las tendencias en el establecimiento de los estándares de radiación. Aunque existe mucha más información en la actualidad que en 1990, el riesgo global de aparición de diversos efectos perjudiciales tras exposición a radiación sigue siendo básicamente el mismo.

Los tres principios básicos de la protección radiológica siguen siendo la justificación de las actividades que puedan provocar o afectar las exposiciones a radiación, la optimización de la protección con objeto de mantener las dosis tan bajas como razonablemente sea posible y el uso de los límites de dosis.

Las nuevas Recomendaciones suponen una presentación mejorada y racional del sistema de protección radiológica, dan más énfasis a la protección del medio ambiente y proporcionan la plataforma para desarrollar una estrategia actualizada para manejar las situaciones de emergencia y las situaciones de exposición a radiación pre-existentes. Una vez editadas, las nuevas Recomendaciones se publicarán en la revista *Annals of the ICRP*.

Comité de Redacción



### Ha finalizado el Proyecto europeo ERICA

El pasado mes de marzo finalizó el proyecto “Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and Management” (ERICA),

perteneciente al 6º Programa Marco, EURATOM (Key Action Nuclear Fission, Radiation Protection). En este proyecto han participado 15 instituciones europeas de 7 países diferentes: Suecia, Noruega, Finlandia, Reino Unido, Alemania, Francia y España este último representado por el CIEMAT.

El objetivo principal del proyecto ha sido proporcionar y aplicar una aproximación integrada para abordar los aspectos científico, ejecutivo y social que rodean los efectos de las radiaciones ionizantes en el medio ambiente, al nivel de comunidad con énfasis en la biota y los ecosistemas. El resultado final



de este proyecto ha sido la entrega de una "aproximación integrada ERICA" para la evaluación, caracterización y gestión del riesgo a las radiaciones ionizantes a escala Europea.

Este objetivo principal se traduce en una serie de objetivos prácticos distribuidos en los 5 "Work Packages" (WPs). Cuyos objetivos específicos han sido los siguientes:

- WP1.- Proporcionar una herramienta para evaluación, que ha sido desarrollada sobre la base de estudios teóricos dirigidos para aumentar la calidad y fiabilidad de la metodología de evaluación, así como proporcionar conocimientos científicos válidos para otros WPs del proyecto. El resultado de este WP ha sido completar una guía de evaluación (handbook) con su "software"(ERICA TOOL) asociado.

- WP2.- Proporcionar metodologías de caracterización del riesgo para la estimación de riesgos ecológicos significativos. Este objetivo se alcanzó a partir de los conocimientos desarrollados en los WP1, 3 y 4, y de consideraciones teóricas extrapoladas y ajustada a partir de los diferentes aspectos considerados. Algunos de estos resultados están científicamente avalados por estudios experimentales. El objetivo ha sido cumplido mediante la realización de un handbook sobre caracterización del riesgo radiológico.

- WP3.- Proporcionar directrices ejecutivas junto con los grupos interesados ("stakeholder"), para apoyar la protección del medio ambiente frente a las radiaciones ionizantes. Este WP reunió la herramienta de evaluación (WP1), y la caracterización del riesgo (WP2), y probó la aproximación integrada desarrollada,

en los casos estudio (WP4). Este trabajo ha dependido en gran medida del "End-Users Group" (EUG) establecido en el proyecto, los cuales han aportado su experiencia, conocimiento y opiniones. El objetivo ha sido alcanzado mediante la elaboración de una guía para la toma de decisiones.

- WP4.- Aplicar y probar en "casos estudio" las metodologías de evaluación. En este grupo se ha tenido en cuenta las metodologías desarrolladas tanto en FASSET (Proyecto antecesor de este, perteneciente al 5o Programa Marco de la UE) como en ERICA, proporcionando información sobre lagunas de conocimientos y problemas que necesitan ser considerados en ERICA. Este trabajo ha quedado reflejado en los documentos que recogen la aplicación de las metodologías FASSET y ERICA respectivamente.

- WP5.- Gestión general y evaluación de progresos del proyecto. Dirigido exclusivamente a la gestión del proyecto, que no forma parte de los aspectos de I+D del mismo.

Existe una página electrónica donde se recoge la información de todo el proyecto: <http://www.ERICA-project.org/>. Esta página incluye los documentos generados durante los 36 meses de proyecto y permite el acceso a la base de datos FREDERICA, que recoge todos los datos publicados hasta el momento sobre los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes en plantas y animales diferentes del hombre. En breve tendrá también disponible la herramienta de evaluación ERICA TOOL.

Beatriz Robles

## Publicaciones OIEA

### Remediation Process for Areas Affected by Past Activities and Accidents

Safety Standards Series No. WS-G-3.1

El objetivo de esta guía de seguridad es proporcionar orientación para implementar los requerimientos en la recuperación de áreas contaminadas por actividades pasadas y accidentes. Se pretende que sea utilizada por organismos reguladores, operadores y otros responsables en los sitios contaminados y, en caso de accidente, que contribuya a los procesos de recuperación. Esta publicación proporciona recomendaciones para acciones de protección y recuperación dirigidas a reducir las exposiciones prolongadas existentes debidas a contaminación y a prevenir exposiciones prolongadas potenciales o la posibilidad de dichas exposiciones debidas a contaminaciones.

ISBN 92-0-113306-5. Publicada en marzo de 2007. Ingles. Tamaño del documento 344 KB.

Documento descargable en: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1282\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1282_web.pdf)



## PUBLICACIONES

### Publicación "Innovation in Nuclear Energy Technology" de la NEA

Se ha publicado un informe de la Nuclear Energy Agency de la OCDE sobre modelos de investigación en tecnología nuclear, basado en los modelos históricos y actuales, éxitos y fracasos de los países participantes en este trabajo: Bélgica; Canadá, República Checa; Finlandia; Francia; Corea; España, Suiza y Estados Unidos. También participaron representantes de EURATOM y de la IAEA.

España había participado en la elaboración de este informe a través del Secretario



del CEIDEN (Pío Carmena), recogiendo en el mismo particularidades del modelo español, como el Plan de Investigación Electrotécnica (PIE), el CEIDEN como organismo de coordinación y la figura de Centro de Referencia.

Este informe se identifica NEA06.103 (ISBN 978-92-64-00644-7) y esta disponible en la NEA a un precio de 45€, pudiendo adquirir también como libro electrónico a través de la Web de la NEA "www.nea.fr".

### Aplicación de los conceptos de exclusión, exención y dispensa Guía de Seguridad

Colección de normas de seguridad Nº RS-G-1.7

Esta guía de seguridad proporciona orientación para la aplicación de los conceptos de exclusión, exención y desclasificación, tal y como se establece en los Estándares Básicos de Seguridad Internacionales para protección frente a radiaciones ionizantes y para la seguridad de las fuentes de radiación. La



guía de seguridad incluye valores específicos para concentraciones de actividad para radionucleidos tanto de origen natural como artificial que puedan ser utilizados en grandes volúmenes de material con objeto de aplicar los conceptos de exclusión, y exención.

ISBN 92-0-300407-6. Publicada en marzo de 2007. Español. Tamaño del documento 326 KB.

Documento descargable en:  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1202s\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1202s_web.pdf)

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

*Safety Reports Series N°. 40*



Cualquier operación de minería o de procesamiento de minerales puede potencialmente aumentar la dosis de radiación recibida por las personas, debido al hecho de que todos los minerales y la materia bruta contienen radionucleidos naturales de origen terrestre. Sin embargo, sólo en un número limitado de casos la situación garantiza la aplicación de medidas de protección radiológica. Este documento proporciona información sobre las actividades industriales y materiales relevantes, así como sobre los niveles de exposición esperables, con objeto de ayudar a identificar las actividades para las que es más probable que sean necesarios controles reguladores y, para esas actividades, determinar la aproximación reguladora más adecuada. El informe será de interés para organismos reguladores y otras autoridades nacionales implicadas en la aplicación de los Estándares a actividades laborales que impliquen un aumento en la exposición a fuentes naturales de radiación, y para operadores, trabajadores y sus representantes, así como para profesionales de la salud y la seguridad implicados en dichas actividades.

ISBN 92-0-107406-9. Publicada en marzo de 2007. Ingles. Tamaño del documento 712 KB.

Documento descargable en:  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1257\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1257_web.pdf)

**Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material**  
*Safety Reports Series N°. 5*

La selección de la estrategia de desmantelamiento puede tener un impacto significativo en la seguridad y la eficacia global del proyecto de desmantelamiento. Este proceso de selección puede ser complejo y debe considerar una serie de factores que normalmente no son considerados durante la operación normal de la instalación. Este informe identifica las estrategias aceptables y los factores que deben ser considerados durante el proceso de selección.



ISBN 92-0-113206-9. Publicada en abril de 2007. Ingles. Tamaño del documento 367 KB.

Documento descargable en:  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1281\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1281_web.pdf)

**Organization of a Radioisotope Based Molecular Biology Laboratory**  
*IAEA TECDOC Series N°. 1528*

Las técnicas moleculares aplicadas a la salud de las personas han sufrido una revolución en los últimos 15 años debido a la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (más conocida por sus siglas en ingles PCR: Polymerase Chain Reaction). La identificación de factores de pronóstico de cáncer, perfiles de resistencia a drogas de los microorganismos, el desarrollo de test de diagnóstico y sistemas



de genotipaje, así como el seguimiento de las enfermedades en personas tras su tratamiento han sido tareas principales para los trabajadores de laboratorios biomédicos. El uso de radioisótopos en técnicas moleculares, como paso en el proceso de detección o para aumentar la sensibilidad y especificidad, está bien establecido, haciéndolo especialmente adecuado para transferencia de tecnología. La tecnología tiene requerimientos específicos, considerando el modo en que los laboratorios están organizados, en cuanto a control de calidad y seguridad radiológica. Esta publicación proporciona orientación para el establecimiento de laboratorios de biología molecular basados en radioisótopos y por tanto pretende aumentar la diseminación de estos avances moleculares

ISBN 92-0-114406-7. Publicado en febrero de 2007. Ingles. Tamaño del 1201 KB.

Documento descargable en:  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1528\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1528_web.pdf)

**Publicaciones NEA**

**Environmental Radiological Protection in the Law**  
*NEA 6172*

Esta publicación describe un estudio de la legislación internacional, europea y nacional para la protección del medio ambiente frente a radiaciones. Los países contemplados han sido Australia, Canadá, Francia, Japón, Reino Unido y EE.UU. El análisis de la legislación permite sacar conclusiones sobre cómo de bien está protegido el medio ambiente de las radiaciones e identifica los puntos fuertes y puntos débiles de las actuales aproximaciones así como tendencias en la regulación. Este libro será de utilidad para reguladores y los responsables políticos en protección radiológica, pero también para aquellos interesados en la regulación medioambiental de forma más genérica

ISBN: 978-92-64-99000-5. Publicado en febrero de 2007. Ingles (307 KB) o frances (449 KB).

Documento descargable en:  
<http://www.nea.fr/html/rp/reports/2007/nea6172-law.pdf> (Ingles)

<http://www.nea.fr/html/rp/reports/2007/nea6173-droit.pdf> (Frances)

## Publicaciones HPA

### **Guidance on the Assessment of Radiation Doses to Members of the Public due to the Operation of Nuclear Installations under Normal Conditions.**

HPA-RPD- 10

La estimación de las dosis de radiación a individuos de la población es una parte importante del sistema de protección radiológica. Un concepto significativo en dicha estimación es la identificación de los grupos en la población que con mayor probabilidad recibirán las dosis más altas, los denominados grupos de referencia o grupos críticos. Los Estados Miembro de la Unión Europea en la actualidad utilizan distintas aproximaciones tanto para identificar los grupos de referencia como para calcular sus dosis. La Comisión Europea por tanto, identificó la necesidad de disponer de una metodología

común para contribuir a la armonización de las aproximaciones para calcular dichas dosis y para la aplicación de los estándares a través de la UE. Este informe da orientación sobre todos los aspectos de la estimación de dosis en grupos de referencia debidos a las operaciones rutinarias de las instalaciones nucleares. El trabajo se ha realizado consultando al grupo de trabajo sobre estimación realista del impacto de las instalaciones nucleares en los miembros del público (RAIN) del grupo de expertos del artículo 31 de la Directiva de EURATOM. Este trabajo ha constituido la base principal del documento RP129 de la UE "Guidance on the realistic assessment of radiation doses to members of the public due to the operation of nuclear installations under normal conditions".

ISBN 0-85951-585-0. Publicado en diciembre de 2006. Ingles. Tamaño del documento 420 KB

Documento descargable en:

[http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/hpa\\_rpd\\_reports/2006/hpa\\_rpd\\_019.pdf](http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/hpa_rpd_reports/2006/hpa_rpd_019.pdf)

### • **Simposio Internacional sobre "Molecular Imaging for Diagnosis and Prediction of Treatment Outcome".**

Los días 13 y 14 de septiembre de 2007. Groeningen, Holanda

### • **Congreso Regional IRPA para Europa Central y del Este sobre "Regional and Global Aspects of Radiation Protection".**

Del 24 al 28 de septiembre de 2007 en Brasov, Rumania.

### • **33ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española.**

Del 26 al 28 de septiembre de 2007. Segovia.

## OCTUBRE

### • **Taller sobre "Uncertainty Assessment in Computational Dosimetry: a Comparison of Approaches".**

Del 1 al 3 de octubre de 2007. Bolonia, Italia.

### • **15 Simposio Internacional sobre "Packaging and Transportation of Radioactive Materials. PATRAM 2007".**

Del 21 al 26 de octubre de 2007. Miami, Florida, Estados Unidos..

## NOVIEMBRE

### • **VI Curso de Instrumentación y Control de Calidad en Medicina Nuclear.**

Del 7 al 9 de noviembre de 2007 en Barcelona.

### • **Conferencia Internacional sobre "Clinical PET and Molecular Medicine".**

Del 10 al 14 de noviembre de 2007 en Bangkok, Tailandia.

## CONVOCATORIAS

"más información en [www.sepr.es](http://www.sepr.es)"

### Curso "Avances en Radiobiología"

La Sociedad Española de Protección Radiológica en colaboración con el CIEMAT organiza este curso de "Avances en Radiobiología" del 19 al 23 de noviembre de 2007. El curso se celebrará en las instalaciones del CIEMAT, en Madrid.

El plazo de inscripción está abierto, finalizando el viernes 2 de noviembre de 2007. El Curso contará con un número limitado de plazas, por lo que se tendrá en cuenta de forma rigurosa el orden de llegada de las inscripciones.

Las cuotas de inscripción son:

Socios: Curso (incluye jornada): 450 Euros.

Solo jornada: 30 Euros.

No Socios: Curso (incluye jornada): 550 Euros. Solo jornada: 45 Euros.

El programa y la hoja de inscripción al curso se encuentran disponibles en la página electrónica de la SEPR

## SEPTIEMBRE

### • **11 Conferencia Internacional sobre "Environmental Remediation and Radioactive Waste Management".**

Del 2 al 6 de septiembre de 2007. Brujas, Bélgica.

### • **ECAART 9. Novena edición de la Conferencia Europea sobre "Accelerators in Applied Research and Technology".**

Del 3 al 7 de septiembre de 2007. Florencia, Italia.