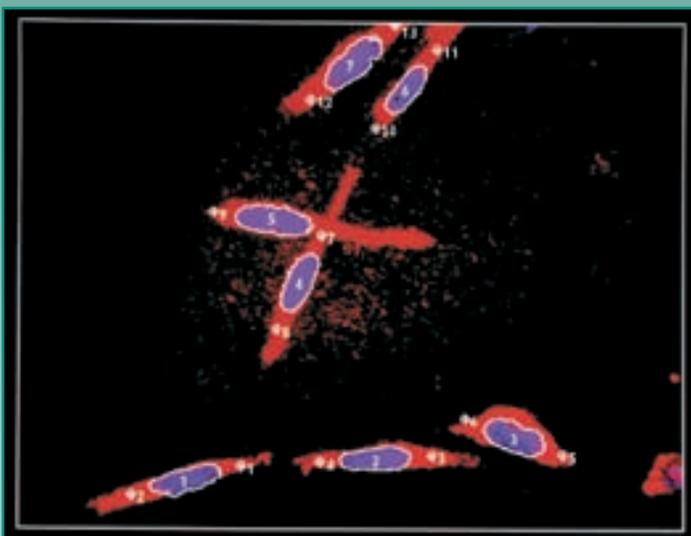


RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



▲ **Entrevista:**

Lucila Izquierdo
*Secretario General de
Relaciones Externas e
Institucionales del CIEMAT*

▲ **Exposición Prenatal a
Radiaciones Ionizantes:
Mitos y Verdades**

▲ **Procesos de Optimización
en Mamografía.
Primeros resultados**

▲ **Un desafío para los Principios
en los que se ha basado
la Radiobiología en el
pasado**

▲ **Documentos SEPR**

Nº 27 • Vol. IX • 2001



Comisión de Asuntos Institucionales

*Leopoldo Arranz, David Cancio, Pío Carmena, Eugenio Gil,
Juan José Peña, Montserrat Rivas*

Responsable: *Ignacio Hernando.*

Comisión de Actividades Científicas

*Ignacio Amor, Josep Baró, Jerónimo Iñiguez, Fernando Legarda, M^{ra} Teresa
Macías, Patricio O'Donell, Pilar Olivares, Juan José Peña, Rafael Ruiz*

Responsable: *Pedro Carboneras.*

Comisión de Normativa

*M^{ra} Luisa Chapel, Isabel Gutiérrez, Mercé Ginjaume, Araceli Hernández,
Jerónimo Iñiguez, M^{ra} Jesús Muñoz, Teresa Ortiz, Turiano Pícazo,
Eduardo Sollet*

Responsable: *María Luisa España.*

Comisión de Comunicación y Publicaciones

*Beatriz Gómez-Argüello, José Gutiérrez, Olvido Guzman,
M^{ra} Teresa Macías, Carlos Prieto, Almudena Real, Eduardo Sollet*

Responsable: *Paloma Marchena.*

Comisión de Asuntos Económicos y Financieros

*Mercedes Bezares, Pío Carmena, Jesús de Frutos, Antonio López Romero,
Marisa Marco, Patricio O'Donell, María Teresa Ortiz,*

Responsable: *Eduardo Gallego.*

RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Director: *Eduardo Sollet*

Coordinadora: *Paloma Marchena*

Comité de Redacción

*Beatriz Gómez-Argüello, José Gutiérrez, Antonio López Romero,
Matilde Pelegrí, Carlos Prieto, Almudena Real*

Comité Científico

Coordinador: *José Gutiérrez*

*Josep Baró, Pedro Carboneras, Miguel Carrasco, Felipe Cortés,
Antonio Delgado, Eugenio Gil, Ignacio Hernando, Jerónimo Iñiguez,
Luis M. Martín Curto, Pedro Ortiz, Vicente Rius, Francisco J. Ruiz Boada,
Angeles Sánchez y Luis M. Tobajas*

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
e-mail: senda@sendaeditorial.com



S U M A R I O

• Editorial	3
• Noticias	4
- de la SEPR	4
- de España	47
- del Mundo	49
• Entrevista	6
<i>Lucila Izquierdo</i>	
Secretario General de Relaciones Externas e Institucionales del CIEMAT	
• Contribución Invitada	11
- Exposición prenatal a radiaciones ionizantes: mitos y verdades	17
<i>M^{ra} del Rosario Pérez, Luis di Trano y Pablo Gisone</i>	
• Colaboraciones	22
- Procesos de optimización en mamografía. Primeros resultados	22
<i>M^{ra} L. España López, L. Marcos de Paz, C. Martín Rincón, I. Jerez Sainz y M.P. López Franco</i>	
- Un desafío para los principios en los que se ha basado la radiobiología en el pasado	27
<i>Almudena Real</i>	
• Documentos SERP	36
- Protección Radiológica en la sociedad actual. El punto de vista de la SEPR.	36
<i>Ignacio Hernando González.</i>	
• Publicaciones	50
• Convocatorias	52

Editorial

A mediados de febrero, Roger Clarke, presidente de la ICRP y a la vez promotor de un debate sobre los principios que deben inspirar las futuras recomendaciones de dicha Comisión, estuvo en Madrid invitado por la SEPR que, en colaboración con el CIEMAT, organizó una Jornada centrada en la discusión de las bases de "Un nuevo sistema de protección radiológica para el futuro". De ella se informa cumplidamente en este número. Los asistentes a la Jornada tuvieron la oportunidad de conocer de primera mano el estado actual de las propuestas tal y como las formula el propio Roger Clarke. La evolución de la idea inicial de las dosis controlables, la propuesta de modificar parcialmente la definición de las magnitudes empleadas en protección radiológica, las cuestiones relativas a la homogeneización de los criterios en diferentes situaciones fueron escuchadas con atención. Pero no sólo eso, la Sociedad Española de Protección Radiológica había formado, hace algunos meses, un grupo de trabajo encargado de ir avanzando las posturas de nuestra Sociedad sobre el tema. En la Jornada se expusieron sus primeros resultados que fueron la base de un interesante intercambio de puntos de vista.

En la Jornada quedaron claras algunas cosas: Por un lado, la independencia que la ICRP quiere preservar por encima de todo a la hora de ir perfilando el esquema de las que serán sus nuevas recomendaciones. Por otro, la voluntad de que se aborden esas nuevas recomendaciones como una necesaria mejora evolutiva, no como una revolución, respecto de las actuales. Finalmente, el deseo firmemente expresado de que las asociaciones científicas y profesionales participen en la que se pretende una concienzuda elaboración criticando las propuestas existentes, elaborando otras, aportando argumentos y contrastando experiencias. La SEPR tiene la posibilidad, y probablemente la obligación, de expresar su posición ante ese nuevo rumbo que pueden tomar las directrices básicas de ICRP. El presidente de este organismo insistió en la idea de que el debate abierto es la clave para la preparación de los cimientos ("building blocks") de las futuras recomendaciones. El grupo de trabajo citado, que sin duda continuará con su labor de análisis y crítica, y que irá elaborando los documentos correspondientes, está abierto a las aportaciones de todo aquel que desee participar en el proceso.

A plazo mucho más corto, se espera la publicación del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. Es evidente que este Reglamento obligará a replantear estrategias y prácticas en muchos aspectos. Es de esperar que su texto prevea un plazo de adaptación, que será necesario en muchas situaciones y circunstancias. La SEPR tiene en proyecto la organización de una Jornada técnica sobre ese nuevo Reglamento con el objetivo de facilitar a sus socios y a todos los interesados una visión sintética del nuevo texto legal y un resumen de los cambios introducidos así como de las implicaciones que dichos cambios tendrán en la práctica de los diferentes tipos de instalaciones. Para esa ocasión, la Sociedad espera poder presentar una publicación con el texto comentado del nuevo Reglamento.

La transposición a la legislación española de la Directiva Europea 96/29/Euratom supone una modificación en los criterios de protección de las trabajadoras gestantes. Es un tema de actualidad y hacia el que la sensibilidad social no ha hecho más que crecer. La ICRP ha editado recientemente su Publicación 84, "Pregnancy and Medical Radiation", y la SEPR tiene la intención de hacerla accesible en español en plazo breve. Este número de Radioprotección recoge también, como contribución invitada, un trabajo de la Dra. Rosario Pérez sobre "La exposición prenatal a radiaciones ionizantes: mitos y verdades". Es un asunto que precisa revisión, tanto para tomar en consideración los conocimientos científicos en su estado actual, como para adaptarse a los nuevos requisitos legales. Nuestra Sociedad tiene la intención de celebrar una Jornada, inmediatamente después del verano, dedicada a la protección radiológica de las mujeres gestantes.

Y, entre tanto, está ya en marcha la organización del próximo congreso, que tendrá lugar en Bilbao a finales de mayo de 2002. En definitiva, son muchas las ideas, iniciativas y proyectos para los próximos meses. Para llevarlas a buen puerto se precisa la colaboración y la participación activa de todos los socios. A ella animamos desde estas líneas.





Jornada Científica SEPR-CIEMAT sobre "un sistema de Protección Radiológica para el futuro. nueva propuesta para el ICRP"

El pasado día 20 de febrero se celebró en el Ciemat la conferencia del Profesor Roger Clarke sobre "Un Sistema de Protección Radiológica para el futuro. Nueva propuesta de la ICRP", seguido de la presentación de comentarios del grupo de trabajo de la SEPR y un debate abierto entre el Profesor y la audiencia.

La jornada estuvo presidida por Don Ignacio Hernando, Presidente de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y por Doña Lucila Izquierdo, Secretaria General del Ciemat. Asistieron más de 170 personas, entre miembros del CSN, centros de investigación y empresas del sector.

Como aspectos más destacados de su intervención, pueden destacarse los siguientes:

- Reforzamiento del papel de las dosis individuales en el sistema cambiando el énfasis actual de una protección basada en una consideración del conjunto de la sociedad.
- Reforzamiento de la interpretación más bien cualitativa del principio de la optimización, con uso precavido de las dosis colectivas, sobre todo en el caso de la exposición del público evitando extrapolaciones poco razonables tanto en el espacio como en el futuro lejano. Utilización operativa de conceptos como el "Dosis de Grupo", para la aplicación de la optimización en casos concretos y en especial en la exposición ocupacional.
- Necesidad de explicar mejor el papel de la Protección Radiológica en la aplicación del principio de justificación, ya que intervienen otros agentes y otros aspectos, con mayor relevancia que la protección.
- Utilización de la radiación natural y de sus variaciones, como elemento de referencia para cualificar la significación radiológica de diversos rangos de valores de dosis individuales.
- Reforzamiento de la idea de que la aplicación del sistema depende de las diversas condiciones de exposición en diferentes contextos. Lo que resulta importante es el

- grado de controlabilidad de la fuente o de la exposición y por tanto se propone tratar las situaciones en que existan opciones para el control o cuando sólo es posible actuar sobre las vías de una exposición que ya es inevitable. (los conceptos actuales de Práctica e Intervención)
- Sustitución, al menos en lo que se refiere al público, de los actuales límites, por el concepto de "Niveles de Acción de Protección" (PAL's), que serían dependientes de las condiciones de cada contexto concreto, y por debajo de los cuales se aplicaría la optimización.
- Participación más amplia de los "Grupos Interesados" (Stakeholders) en el proceso de toma de decisiones, con especial énfasis en cuanto a la justificación y la optimización.
- Necesidad de reconsiderar el aspecto de la protección del medio ambiente en sí mismo como parte del sistema.
- Utilización del acrónimo ALARP (tan bajo como sea razonablemente realizable), en vez del actual ALARA (tan bajo como sea razonablemente posible), para reforzar el sentido de equilibrio y aceptación social, en la aplicación de la optimización.
- Necesidad de profundizar en la definición de alcance del sistema, y de los conceptos de "exclusión, exención y descarga autorizada". Posible desaparición, por innecesario, del concepto de "desclasificación" (clearance).
- Reconsideración de las magnitudes dosimétricas de utilización en el sistema, teniendo en cuenta la información epidemiológica más reciente, y las indicaciones de los especialistas. Potencial modificación de los factores WVR y WT, y reforzamiento del concepto de dosis al órgano como magnitud de interés para la protección.
- Reconsideración específica de la aplicación del sistema a las actividades médicas, sobre todo en el área del diagnóstico, con atención también al conocimiento existente sobre las implicaciones genéticas respecto a los efectos de las radiaciones ionizantes.
- El profesor Clarke terminó su intervención, apuntando una serie de aspectos y temas que deben ser ahora debatidos por los diversos Comités de la ICRP, con la participación de otras Organizaciones y de los profesionales. Con este proceso, que puede requerir el trabajo de los próximos 4 ó 5 años, se prepararían

los fundamentos (building blocks), de lo que después podría ser la revisión de las recomendaciones que constituyen el sistema básico de la protección radiológica.

David Cancio, coordinador del Grupo de Trabajo de la SEPR sobre el desarrollo de la Protección Radiológica presentó los comentarios preliminares a la propuesta del Profesor Clarke, con las siguientes conclusiones:

- Es importante reconciliar la opinión del público con la de los profesionales, pero sin mezclarlos.
- Otros grupos interesados (stakeholders) deberían participar en el debate, pero su introducción debería hacerse con la debida precaución.
- Los aspectos positivos y esenciales del sistema actual deben mantenerse con el desarrollo de más guías prácticas para las aplicaciones específicas.
- El establecimiento de Niveles de Acción parece adecuado para la percepción del riesgo pero se necesitan límites para la Regulación de la exposición ocupacional.
- Acuerdo con los principios básicos del sistema actual, solo se necesita mayor información y guía.
- No se está de acuerdo en el posible cambio de los parámetros dosimétricos.
- El concepto de Dosis Controlable es muy difícil de aplicar en las aplicaciones médicas.
- Resulta importante que la ICRP controle el proceso de cambios en los criterios de la Protección Radiológica.

En el coloquio, moderado por Pedro Carboneras, vicepresidente de la SEPR, que se desarrolló tras la intervención de los dos ponentes se trasladaron al profesor Clarke diversas cuestiones y consideraciones en las que se trataron de:



El profesor Roger Clarke



MesaPresidencial

- Los argumentos en base a los que se justifica no establecer límites de dosis para miembros del público
- La problemática que puede plantearse cuando en la optimización de la Protección Radiológica se abre la posibilidad a la participación de los grupos interesados y se dejan en segundo plano a las consideraciones relativas a análisis coste-beneficio.
- La problemática de establecer "niveles de acción" tomando como referencia una dosis media asociada al fondo radiactivo natural que es variable y la posible conveniencia de utilizar solamente la dosis interna que es más estable (con la excepción del radón).
- Las dificultades de interpretación desde el punto de vista semántico de algunos de los conceptos de la nueva propuesta.
- La sistemática para la implantación práctica del concepto de exención del control regulador y la conveniencia de utilizar aproximaciones más realistas a la hora de definir los niveles de exención
- La dificultad práctica inherente a la protección del medio ambiente en sí mismo y la posible escasez de una información apropiada.
- El grado de conveniencia de que la ICRP establezca las líneas básicas del sistema de protección, y que la responsabilidad de desarrollar guías de carácter más práctico para su implantación en la normativa recaiga en otras organizaciones internacionales tales como OIEA o la Unión Europea.
- Las dificultades prácticas para utilizar el concepto de "niveles de acción" en el ámbito de la exposición ocupacional, donde la referencia al límite de dosis constituye un modo de actuación perfectamente asumido.
- La adecuación de la nueva filosofía propuesta en cuanto a la priorización del control basado en el riesgo individual respecto a las regulaciones que se desarrollan en otros ámbitos para el control de los riesgos derivados de otras sustancias nocivas.

Noticias IRPA-11

La andadura en la preparación del Undécimo Congreso Internacional de la IRPA (IRPA-11), encomendada a la SEPR para su celebración en

Madrid entre el 23 y el 27 de mayo de 2004, ha dado un paso fundamental al celebrarse la primera reunión del Comité del Programa del Congreso Internacional (ICPC), los pasados días 1 y 2 de marzo de 2001. Dicha reunión ha tenido lugar en San Lorenzo de El Escorial, en el especial ambiente del Euroforum Felipe II, sede de los cursos de verano de la Universidad Complutense.

A esta primera reunión han asistido la Presidenta del ICPC, Annie Sugier (Francia); el Secretario Científico, Eduardo Gallego (España); el Adjunto Científico, Jacques Lombard (Francia); y los siguientes miembros del Comité: André Bouville (EE.UU.), Bobby Corbett (Reino Unido), Renate Czarwinski (Alemania), Antonio Delgado (España), Rick Jones (EE.UU.), Ignacio Lequerica (España), Ches Mason (Australia), Sigurdur Magnusson (Islandia) y Xavier Ortega (España); además del Presidente del Comité Organizador, Leopoldo Arranz (España) y el Secretario General del Congreso, David Cancio (España).

La reunión ha servido para que se constituya el ICPC y se establezca un conocimiento personal entre sus miembros que favorezca el trabajo en grupo a realizar. Entre los temas principales tratados se encontraba la selección de la lista de temas a tratar durante el congreso, para su inclusión en el primer anuncio oficial del mismo, que una vez aprobado por la Comisión Ejecutiva de la IRPA, se publicará y difundirá por todo el Mundo en junio. Dichos temas, bajo el lema del Congreso "Ensanchando el Mundo de la Protección Radiológica", se agrupan en las siguientes áreas temáticas:

1. Efectos de las radiaciones.
2. Sistema de Protección Radiológica y normativa.
3. Dosimetría e instrumentación.
4. Protección radiológica del paciente.
5. Protección radiológica en el ámbito del trabajo.
6. Protección radiológica del público.
7. Protección contra radiaciones no-ionizantes.
8. Incidentes y accidentes.
9. Sociedad y Protección Radiológica.
10. Novedades de las asociaciones miembros de la IRPA.

- También se distribuyeron las responsabilidades de la organización de cada área temática entre los miembros del Comité, y se discutió la estructura con la que esas áreas se configurarían en torno a las sesiones plenarias, con presentaciones de la ICRP y el UNSCEAR, así como un total de cinco mesas redondas sobre los temas de mayor interés en el momento actual, y una serie de sesiones en paralelo cuya estructura constará de cursos de refresco matinales, presentaciones invitadas a cargo de los mejores especialistas en cada campo, sesiones de visita y explicación de los posters, seguidas de sesiones con la presentación oral de aquellas comunicaciones que resulten elegidas, que concluirán con una discusión abierta en la que participen los ponentes invitados, quienes hayan presentado las comunicaciones orales y todos los autores de posters sobre el tema. Los aspectos más destacados y las conclusiones de cada área temática se irán ofreciendo a medida que éstas vayan concluyendo, siendo seguidas por las mesas redondas en aquellos casos en que éstas se refieran a la misma área.

En definitiva, el éxito de esta primera reunión, y elevada calidad científica de los componentes del ICPC, permiten augurar un congreso IRPA-11 del máximo nivel científico y profesional.

RNI en www.sepr.es

- La presencia de campos electromagnéticos no ionizantes en el medio ambiente urbano dio lugar a la elaboración de una guía de niveles de referencia y restricciones básicas que, compiladas por el Consejo de la UE en la Recomendación de 1999, deben ser cumplidas por los países firmantes de dicho documento. A este respecto, se ha publicado, en la página web de la SEPR (www.sepr.es) un interesantísimo artículo firmado por Alejandro Úbeda, del Servicio BEM-Investigación del Hospital Ramón y Cajal, que bajo el título "Bases biológicas para normativas de protección ante radiaciones no ionizantes" que tiene por objeto informar a los ciudadanos y profesionales interesados a cerca de la base teórico-experimental que justifica la adopción de las medidas de radioprotección propuestas por la OMS y el Consejo de la Unión Europea, incluye información sobre las fuentes más comunes de campos no ionizantes de diferentes frecuencias y niveles de emisiones en las proximidades de dichas fuentes. El artículo explica también los criterios seguidos por el ICNIRP en la elaboración de los límites y revisa toda la literatura científica sobre el tema.

Entrevista con **Lucila IZQUIERDO** Secretario General de Relaciones Externas e Institucionales del CIEMAT y Presidente de la SNE

El año 2001 marca un hito singular en el mundo científico español, ya que se conmemora el 50º Aniversario de la creación de la Junta de Energía Nuclear, que pasó, en 1986, a ser el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT.

Para conocer los aspectos más destacados de esa historia y, especialmente, los retos que se plantean para el futuro de este organismo, entrevistamos a Lucila Izquierdo, cuya trayectoria profesional está muy ligada a la JEN en sus inicios y, posteriormente, al CIEMAT.

Además, nuestra entrevistada ha sido elegida recientemente Presidente de la Sociedad Nuclear Española para el período 2001-2002. Sus proyectos para estos dos años al frente de la SNE son abordados también en esta amplia e interesante entrevista.



50 años de historia

En el año 2001 se cumple el cincuentenario de la creación de la Junta de Energía Nuclear, posteriormente Ciemat. Esta fecha tan emblemática es, en opinión de Lucila Izquierdo, "una oportunidad única para realizar un repaso histórico. El Ciemat pretende hacer una reflexión de la experiencia pasada y dedicar este año a mirar hacia el futuro, buscando la imagen de cuál es su situación en el sector y hacia dónde debe encaminarse, estableciendo puntos de referencia con otros centros similares en el mundo".

En este momento, la referencia a los inicios es de especial interés. "Aquellos

Licenciada en Ciencias Químicas y Diplomada en Ingeniería Nuclear, Lucila Izquierdo ingresó en la JEN en 1967. En 1987 fue nombrada Directora del Instituto de Estudios de la Energía, cargo que ha venido ocupando hasta hace pocos años. En 1992 fue designada Vocal Asesor del Director General y, en 1997, Subdirectora del Departamento de Energías Renovables.

Desde marzo de 1998 es Secretario General de Relaciones Externas e Institucionales del CIEMAT, siendo también Consejera de ENRESA.

Lucila Izquierdo ha desarrollado una amplísima actividad en el campo de la energía, impartido numerosos cursos, especialmente en las áreas de seguridad nuclear y protección radiológica, y publicado un amplio número de trabajos, además de haber participado en grupos de expertos y formado parte de comisiones de evaluación y jurados.

A lo largo de su dilatada trayectoria ha recibido diversos premios, becas y distinciones, habiendo sido elegida por la revista Vogue, en 1992, como una de las treinta mujeres más influyentes de España.

primeros años supusieron un desarrollo tecnológico tremendo con una gran conexión internacional, situación especialmente destacable si tenemos en cuenta que España estaba aislada y que no era fácil la salida de profesionales a otros países. Los científicos de la Junta fueron de los primeros que salieron al extranjero a formarse y trajeron información

muy relevante para la creación en nuestro país de los grupos de física y tecnología no sólo nuclear. Básicamente la física y la química instrumental nacieron en España al amparo de los desarrollos de la Junta de Energía Nuclear”.

Lucila Izquierdo tiene un recuerdo especial para José María Otero Navasqués. “Me sorprende especialmente el papel que asumió promoviendo un gran proyecto en el área nuclear con amplias repercusiones internacionales en una época en la que España vivía en un contexto aislado. La actuación de la Junta en ese momento es, sin duda, histórica, no sólo por el desarrollo nuclear y en el campo de la física, sino también por el intento de internacionalizar la poca actividad científica que España tenía en esos momentos”.

Con respecto a la investigación puramente nuclear, la Junta desarrolló el conocimiento básico tanto de la primera como de la segunda parte del ciclo de combustible. “En la primera parte del ciclo, España llegó a tener una autonomía



Un momento de la entrevista. De izquierda a derecha: Eduardo Sollet, Director de nuestra revista; Matilde Pelegrí, del Comité de Redacción; Lucila Izquierdo; José Gutiérrez, del Comité de Redacción y Paloma Marchena, coordinadora de la revista.

en cuanto a conocimiento muy importante. La segunda parte, especialmente en las investigaciones sobre reelaboración del combustible, quedó paralizada a partir del año 70, tanto por el accidente que ocurrió en el Ciemat como por la situación internacional del momento, ya que ese tipo de procesos no gozaba de una postura internacional adecuada”. En lo referente al almacenamiento de residuos radiactivos, el papel del Ciemat “fue esencial y significó la base para que España esté en la situación actual. Con respecto al tratamiento de residuos radiactivos nos encontramos en una situación privilegiada si la comparamos con la de otros países: el hecho de disponer de la instalación de El Cabril, o tener una estructura como Enresa con su actual capacidad de gestión, es posible gracias a la situación dejada en herencia por la JEN”.

La evolución

La evolución, primero de la JEN y posteriormente del Ciemat, a lo largo de estos años, ha marchado de forma

paralela a la del país.

“No cabe duda de que los científicos de la Junta trabajaban en un ambiente de exclusividad. En España eran pioneros, disponían de medios privilegiados, tenían dinero, capacidades y peso político y, por tanto, eran punta de lanza en muchos temas, otros grupos universitarios, científicos e industriales

iban detrás”.

Hoy la perspectiva del Ciemat, y de nuestro país en su conjunto es totalmente diferente. Actualmente España tiene una infraestructura de investigación mucho más desarrollada y dispersa, con grupos de investigación en todos los sectores y en todo el territorio nacional. “Ahora el Ciemat tiene que trabajar en un mundo difícil y competitivo. Tenemos que demostrar constantemente nuestro nivel, nuestra calidad y nuestro carácter de grupo de élite. Es más difícil pero, a la vez, más valioso pues implica que debemos mantenernos en una situación de alta calidad”. Un reto importante a este respecto es la internacionalización de los proyectos. “En estos momentos, prácticamente ningún proyecto del Ciemat se realiza exclusivamente en el Centro, sino en colaboración con otros organismos a escala nacional o internacional, la gran mayoría dentro del ámbito europeo. Esto nos obliga a mantenernos permanentemente en el



nivel de calidad que nos hemos marcado como objetivo”.

Nuevas líneas de investigación

Otra relevancia de la evolución de la JEN que es necesario resaltar es cómo un centro dedicado únicamente a una línea de investigación, la relacionada con la energía nuclear, se ha transformado en un centro multidisciplinar. Para Lucila Izquierdo, “esta transformación, analizada desde una perspectiva histórica, es muy positiva, aunque ha sido difícil y costosa, ha convertido al Ciemat en lo que es actualmente: un centro activo dedicado de manera muy especial a la investigación orientada a un objetivo concreto, pasando desde la investigación básica, la investigación y el desarrollo tecnológico, hasta la verdadera innovación tecnológica industrial”.

Todo este proceso se aplica a distintos ámbitos relacionados con la energía y el medio ambiente. “En el campo de la energía se mantiene la investigación relacionada con la energía nuclear y con todas las tecnologías asociadas a su aplicación práctica. En este ámbito incluyo todo lo referente a la protección radiológica, la seguridad, el ciclo

del combustible e incluso el avance de nuevas tecnologías dentro del campo nuclear”. Entre las actividades nucleares “tenemos que considerar la fusión como la más relevante. Pienso que es uno de los proyectos de investigación más importante de este país en este momento: implica desde el conocimiento teórico más puntero y básico hasta desarrollos de instrumentación y de ingeniería de altísima precisión”.

El otro gran ámbito de aplicación es el sector de las energías renovables donde el Ciemat tiene un abanico de proyectos de investigación muy relevantes orientados tanto al conocimiento científico como a la aplicación puramente industrial, aunque más enfocados a este último aspecto. “Mi opinión personal es que son tecnologías más blandas, de aplicación mas inmediata pero, sin embargo, exigen mejoras tecnológicas importantes que precisan de un conocimiento básico esencial. Entre éstas están específicamente las tecnologías de materiales, donde el Ciemat está haciendo investigación básica orientada”.

Otro conjunto de actividades, que se derivan de la investigación en estos dos ámbitos, son las relacionadas con las tecnologías ambientales, como la modelización del medio natural, el comportamiento, medida y detección de los contaminantes, tecnologías para su eliminación, etc. “Derivado de toda esta actividad aparecen avances tecnológicos puntuales importantes como el desarrollo en electrónica, en cálculo científico, en biología molecular, en definitiva un abanico de temas en los que el Ciemat está siendo puntero”.

La investigación hoy

El esquema de investigación que, en opinión de Lucila Izquierdo, es el adecuado en la actualidad, se basa en tres grandes grupos de estudio: por

un lado, el trabajo en investigación básica, muy propia de los grupos más académicos; por otro, el desarrollo tecnológico que aplique ese conocimiento básico, donde esencialmente quiere situarse el Ciemat, y después los aspectos de aplicación más inmediata, que trabajen resolviendo los problemas puntuales de la industria.

En relación con este último aspecto, de aplicación industrial, nuestra entrevistada da una llamada de atención que conviene subrayar. “En un centro de investigación aplicada, como el Ciemat, es necesario mantener un equilibrio entre todos estos aspectos, porque en un mundo como el nuestro, donde el investigador se ve obligado a ganar sus propios recursos, existe una gran tendencia a orientarse hacia los problemas concretos que pide la industria porque implica el ingreso de recursos económicos de una manera facil. Eso desvía del objetivo básico de la investigación y el desarrollo, que es mirar un poco más allá. El Ciemat no es una ingeniería, todos sus desarrollos deben llevar asociada alguna aportación relevante al conocimiento, ya sea científico o tecnológico, por tanto, hay que insistir en que el investigador mantenga ese equilibrio necesario”.



El Ciemat está analizando vías según las cuales la investigación o el desarrollo más básicos se mantengan en el Centro, mientras que las actividades más aplicadas se deriven hacia lo que se llaman Centros Tecnológicos. De hecho, en el área de las energías renovables se ha hecho el primer ensayo de constituir un Centro Tecnológico en colaboración con el gobierno de Navarra y el Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Por otra parte, el mundo de la investigación aplicada debe enfrentarse no sólo al desarrollo de tecnologías, sino también, y en un paso más, a los problemas del mercado. Para Lucila Izquierdo, "debemos ser capaces de ver cuáles son las barreras del producto para llegar al mercado y superarlas, ya que, en muchos casos, esas barreras no son tecnológicas". También estos centros tienen otro reto y es "la importancia que tiene el personal técnico dentro de la investigación. Tradicionalmente el investigador es el que hace investigación básica y tiene una carrera profesional motivada por una serie de valoraciones muy dirigidas hacia la publicación de artículos. Para transformar las ideas en desarrollos reales no bastan esos investigadores, se necesitan ingenieros, técnicos, mecánicos y otros especialistas de primera calidad cuya carrera no puede estar condicionada por las publicaciones o por sus aportaciones personales al conocimiento científico."

La formación

La trayectoria profesional de nuestra entrevistada ha estado unida muy directamente a la formación, como Directora del Instituto de Estudios de la Energía, por lo que conoce muy bien el papel que el Ciemat ha representado en este campo. "Hoy por hoy es difícil encontrar una persona que

trabaje en el sector nuclear, tanto en la protección radiológica como en la aplicación industrial, que no haya pasado por algún curso, estancia o beca en el Ciemat. El papel de transferencia de tecnología e información de este Centro, tanto en el sector nuclear propiamente dicho como en las distintas aplicaciones de la energía nuclear, no tiene equivalentes en otros ámbitos".

Una situación parecida puede encontrarse en el campo de las energías renovables especialmente en la energía eólica, cuya explosión industrial estamos viviendo ahora, el papel del Ciemat en la formación de estos técnicos está siendo muy significativo.

La formación en el Ciemat varía en función de la demanda del país, que, en estos momentos es escasa en todo lo relativo a ciencias nucleares. "La oferta actual del Ciemat, dentro del ámbito nuclear y radiológico, consta de tres grandes paquetes: Curso Superior de Protección Radiológica, Curso de Seguridad Nuclear y Curso de Gestión de Residuos Radiactivos, además de alrededor de 20 cursos monográficos más puntuales, mante-

niéndose la colaboración con el OIEA para países en desarrollo, especialmente en Europa de Este. Creemos que ésta es la línea de formación que actualmente demanda el sector".

El PIMIC

En este momento, en el que se conmemora el 50º Aniversario, el Ciemat está inmerso en uno de los proyectos más ambiciosos de los últimos tiempos, el PIMIC, Plan Integrado de Mejora de las Infraestructuras del Ciemat, cuyo objetivo es transformar las instalaciones del centro, adecuándolas a las nuevas necesidades, todo ello en paralelo con el desarrollo normal de las actividades diarias.

"Es un proyecto apasionante, que se divide en dos grandes bloques: uno dedicado al desmantelamiento de instalaciones que estuvieron operativas hasta hace 20 años y llevan todo este tiempo totalmente paradas con el mantenimiento necesario para la seguridad. Hay que tener en cuenta que muchas de las instalaciones en las que se desarrollaban actividades nucleares no se utilizan desde hace muchos años, y





Vista aérea de las primeras instalaciones del CIEMAT

el centro necesita esos espacios para albergar instalaciones nuevas. Esta parte del proyecto se realiza en colaboración con Enresa”.

El otro gran bloque implica la mejora del resto del centro que, aunque ha sido mantenido, necesita ya una actualización completa. “Como una gran parte de los edificios estuvieron dedicados a investigaciones orientadas a la primera parte del ciclo de combustible, las exigencias actuales nos obligan a que cualquier renovación puramente convencional tenga que venir precedida de una serie de estudios y actuaciones que garanticen que esa reforma se va a llevar a cabo de una forma absolutamente segura. El proceso no es sencillo, porque debemos conocer exactamente qué actividades se desarrollaron en cada edificio a lo largo de los años, para lo que estamos requiriendo de la colaboración y el buen hacer de los profesionales del Centro”. Este proyecto tiene un horizonte de seis años y su presupuesto estimado es de 5000 millones de pesetas.

La SNE

El pasado 22 de febrero, Lucila Izquierdo fue elegida Presidente de la

Sociedad Nuclear Española, asociación de la que ha sido Vicepresidente durante el bienio 1999-2000.

Ella se siente orgullosa de esta elección y espera responder a su tarea de la forma que la Sociedad, y sus socios, se merecen. “Supongo que no será difícil porque la presidencia no está sola, la sociedad cuenta con un conjunto de socios, excelentes profesionales, que a través de las distintas comisiones vienen desarrollando una importante actividad desde hace tiempo, ellos son los que ponen en marcha la revista, la reunión anual, una o dos reuniones específicas cada año, los Jueves Nucleares, la actualización del léxico nuclear, las colaboraciones internacionales, las notas técnicas, las tareas de los jóvenes, en fin, un montón de cosas que pueden pasar desapercibidas hasta que las ves todas juntas”. Es una sociedad activa.

Para ella, incorporarse a una tarea colectiva en la que el conjunto de los individuos es el que marca los pasos, sin otras directrices tomadas a priori mas que las opiniones o intereses de los socios, es un reto interesante, “yo creo que siguiendo esta línea, la

Sociedad siempre tendrá un valor importante, no solo para los socios, sino indirectamente, para todo el conjunto de actividades en las que los socios están implicados, como personas y como profesionales, el reto está en saber interpretar adecuadamente estos deseos e intereses”.

En su opinión, ahora la Sociedad esta en un momento de menor incertidumbre que la que se vivía cuando ella se incorporó a la directiva hace dos años, “Entonces se estaba en un momento de grandes cambios en todo el sector eléctrico, y no cabe duda de que potenciales cambios de la producción eléctrica nuclear arrastran necesariamente otros cambios en una gran parte de la actividad de los profesionales de la energía nuclear, cualquiera que sea su campo de actuación”. Durante estos dos años la Sociedad ha hecho importantes modificaciones en sus actividades y en sus planteamientos financieros, para hacerse menos sensible a estos posibles cambios del entorno, “yo creo que las incertidumbres están superadas y la Sociedad puede plantearse sus actividades de manera tranquila; seguiremos trabajando esencialmente en tres sentidos, identificar y atender mejor los intereses de los distintos colectivos que forman la Sociedad, actuar para hacer patente el valor de nuestro trabajo en el entorno en que cada uno de nosotros lo desarrolla, y tener mas contacto con otros sectores de actividad en que aparezcan intereses comunes, especialmente buscar formas de colaboración con otras sociedades profesionales. Desde aquí abro esta oferta de colaboración a la Sociedad Española de Protección Radiológica con la que seguramente compartimos no solo intereses sino también socios.”



Exposición Prenatal a Radiaciones Ionizantes : Mitos y Verdades

M^ª del Rosario PÉREZ, Luis di TRANO y Pablo GISONE
Gerencia de Apoyo Científico, Autoridad Regulatoria Nuclear. Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

Las exposiciones "in utero" a radiaciones ionizantes constituyen un tema de interés en el campo de la protección radiológica, tanto en lo relacionado a la prevención de las mismas como en lo referente a la estimación de los riesgos. En este tipo de situaciones la percepción del riesgo, tanto por parte de la mujer gestante como de los profesionales involucrados no siempre se correlaciona con la objetiva magnitud del mismo. En la presente comunicación se describen los efectos de la exposición prenatal a radiaciones ionizantes, las dosis umbral y su relación con el momento de la gestación en que ésta ocurre, tomando en consideración a las mujeres ocupacionalmente expuestas, pacientes sometidas a prácticas médicas y miembros del público. A partir de la aplicación de los principios básicos de la radioprotección se abordan aspectos vinculados con las dosis a nivel del embrión/feto, la estimación de los riesgos potenciales asociados y su comparación con la incidencia espontánea de los efectos considerados. La mayor parte de los procedimientos diagnósticos adecuadamente efectuados no presentan riesgo de inducción de efectos determinísticos en el embrión/feto. Las prácticas terapéuticas y las exposiciones accidentales pueden plantear riesgos significativos de efectos determinísticos. La inducción de tumores en la infancia es en cambio un efecto estocástico que no presenta umbral por lo que toda exposición "in utero" aumentará la probabilidad de ocurrencia de los mismos.

ABSTRACT

"In utero" exposures to ionising radiation are a very important subject in radiological protection concerning not only the prevention but also the estimation of the associated risks. In these situations the perception of risks by the pregnant woman and the involved professionals could not always be correlated with their objective magnitude. In this communication we describe the effects of prenatal exposure to ionising radiation, the thresholds and their relation with the gestational age, taking into account occupationally exposed women, patients undergoing medical procedures and public members. The dose estimation, the evaluation of the potential associated risks and the relation with the spontaneous incidence of the considered effects are analyzed in the framework of the basic principles of radiological protection. Most of diagnostic procedures properly done do not imply induction of deterministic effects in embryo/fetus. Therapeutical procedures and accidental overexposures could be associated with significant risks of deterministic effects. Childhood cancer induction is an stochastic effect without threshold and every "in utero" exposure will increase their probability.

INTRODUCCIÓN

Las exposiciones prenatales constituyen un tema particularmente relevante en el campo de la radioprotección. Son un motivo de consulta muy frecuente en este ámbito, particularmente en los casos de trabajadoras ocupacionalmente expuestas o pacientes sometidas a exposiciones médicas de carácter diagnóstico o terapéutico. Asimismo las situaciones de sobreexposición accidental pueden involucrar a mujeres gestantes. En todos estos casos el conocimiento insuficiente respecto de los riesgos puede conducir a apreciaciones erróneas acerca de la verdadera magnitud de los mismos. La subestimación puede ocasionar una exposición no justificada y evitable. En el caso contrario, la sobreestimación puede dar lugar a situaciones de discriminación en el ámbito laboral y generar una excesiva ansiedad tanto en la mujer gestante como en los profesionales involucrados. El propósito de esta comunicación es analizar los efectos de la irradiación prenatal y los factores principales a considerar para la estimación de la magnitud del riesgo de las exposiciones "in utero" en las distintas condiciones en que éstas pueden ocurrir.

EFFECTOS DE LA IRRADIACIÓN PRENATAL

Los efectos de una exposición prenatal a radiaciones ionizantes están estrechamente vinculados al momento del desarrollo intrauterino en que ésta ocurre.

Etapas preimplantacional: durante las primeras dos semanas de edad gestacional (e.g.) tienen lugar un conjunto de fenómenos de división celular mitótica que culminan con la implantación del blastocisto en la cavidad uterina. Todas las células de la mórula

humana son totipotenciales y la pérdida de una o varias de ellas no es letal si queda un cierto número de células viables remanentes [1]. Las radiaciones ionizantes producen un efecto de tipo "todo o nada" que puede expresarse como una falla en la implantación y muerte diferida del huevo o en la supervivencia del mismo sin anomalías. A partir de datos experimentales en modelos animales se estima que dosis del orden de 100 a 200 mGy inducen un 1 a 2% de letalidad en esta etapa del desarrollo. Estas cifras deben interpretarse teniendo en cuenta que la tasa de incidencia de abortos espontáneos en humanos es muy alta. Muchos abortos espontáneos no son diagnosticados pero según diversos autores su incidencia podría ser superior al 30 % [2].

Organogénesis principal: entre las semanas 3 y 8 de e.g. fenómenos de intensa proliferación y diferenciación celular dan lugar a la formación de los esbozos de órganos del embrión. Las posibles anomalías inducidas por agentes teratógenos en este período responden a un cronograma muy preciso que expresa la perturbación de la organogénesis en un dado momento del desarrollo embrionario. Los datos en humanos concernientes a la asociación entre exposición a radiación en esta etapa y ocurrencia de malformaciones no aportan evidencias claras de que la radiación haya sido el factor causal. No se observó aumento significativo en la incidencia de anomalías esqueléticas entre los sobrevivientes de Hiroshima y Nagasaki expuestos "in utero". Las estimaciones de riesgo se basan en datos obtenidos de experimentación en modelos animales. Se han descrito anomalías esqueléticas, oculares y genitales así como retardo en el crecimiento. La dosis mínima requerida para causar un

exceso significativo de malformaciones en animales de experimentación fue del orden de 500 mGy [1]. Asimismo se observó un efecto de tasa de dosis: la incidencia fue menor en los animales expuestos a irradiación fraccionada o protractada. Si bien los datos epidemiológicos en humanos no permiten establecer relaciones causales inequívocas se presume, con un criterio conservativo, que estos efectos tienen un umbral de alrededor de 100 a 200 mGy [2].

Período fetal temprano: El desarrollo del sistema nervioso central (SNC) es un largo proceso que implica una secuencia ordenada de eventos de proliferación, migración, apoptosis y diferenciación celular que tiene lugar particularmente en este período durante el cual este sistema constituye un blanco particularmente radiosensible. A diferencia de otros sistemas, las funciones del SNC dependen no sólo de la indemnidad de sus células sino también de su correcta distribución espacial e intercomunicación. Existe consenso en considerar como retraso mental a una disminución de los valores de CI que difiera en más de dos desvíos standard respecto de la media, lo que implica un puntaje inferior a 70 puntos CI. El retraso mental se define como severo (RMS) cuando el sujeto no puede valerse por sí mismo, es incapaz de realizar cálculos sencillos y/o no puede mantener una conversación simple. El principal cuerpo de datos epidemiológicos sobre los efectos de la radiación en la vida prenatal proviene del estudio efectuado sobre la cohorte de sobrevivientes de Hiroshima y Nagasaki, que incluyó más de 1600 niños expuestos "in utero". El RMS fue el efecto más importante, alcanzando una frecuencia cercana al 40% por Gy para niños expuestos entre las semanas 8 y 15 de e.g., con un umbral



de límite inferior entre 120 y 200 mGy [3]. En los individuos expuestos entre las semanas 16 y 25 de e.g. la frecuencia de RMS fue del 10% por Gy, con un umbral de aproximadamente 500 mGy [2]. No se observó RMS en niños expuestos antes de la semana 8 ni después de la semana 25 de e.g. La mayor parte de los sujetos que presentaron RM radioinducido tuvieron disminución del perímetro cefálico (microcefalia). En los grupos expuestos se observó una disminución en la puntuación media de los tests de inteligencia sin un aumento en la varianza lo que expresa un desplazamiento uniforme del coeficiente intelectual (CI) hacia valores más bajos. Este desplazamiento se estimó entre 21 y 33 puntos por Gy para individuos expuestos entre la semana 8 y 15 e.g.

Es decir, las radiaciones ionizantes pueden inducir a partir de cierto umbral una disminución del CI que, de acuerdo a la magnitud de la dosis, puede o no ser detectable mediante los tests convencionales o expresarse como un retraso mental. Se han descrito otras alteraciones tales como cataratas, convulsiones, ectopía de la sustancia gris, retardo en el crecimiento y desarrollo.

Período fetal tardío: durante el último trimestre de la gestación no se espera la ocurrencia de malformaciones o retraso mental radioinducido y adquiere mayor relevancia el riesgo carcinogénico. Se trata de un efecto de tipo probabilístico que no presenta umbral de dosis lo que implica que toda exposición prenatal a radiaciones ionizantes aumenta la probabilidad de ocurrencia de cancer, particularmente para los tumores infantiles (aquellos que se presentan antes de los 15 años de edad). Las primeras observaciones epidemiológicas provienen de un estudio

que demostró aumento de incidencia de leucemia en niños cuyas madres habían sido sometidas a pelvimetrías durante la gestación [4]. Este estudio fue parcialmente cuestionado debido a la posible existencia de sesgos relacionados con las razones que motivaron los exámenes. En un intento de responder este interrogante un estudio posterior efectuado en embarazos gemelares [5] demostró nuevamente el exceso de riesgo de leucemia. Finalmente las controversias cesaron luego de la publicación de los datos de Hiroshima y Nagasaki que demostraron un aumento significativo dosis-dependiente en la incidencia de tumores pediátricos en los sobrevivientes expuestos "in utero" [6]. La pregunta que aún resta responder es si este exceso de riesgo de cancer se relaciona sólo con tumores pediátricos o se extiende a toda la vida. Es quizás aún algo prematuro responderla, pues los niños expuestos "in utero" en 1945 están cursando actualmente la edad en la que la tasa espontánea de muerte por tumores del adulto se incrementa notablemente y podría hacer más evidente un exceso de riesgo relativo. Los datos hasta el momento indican que el riesgo es máximo para los tumores pediátricos y que luego el exceso de riesgo relativo tiende a disminuir. No hay evidencias claras acerca de que exista una relación entre riesgo de cancer radioinducido y edad gestacional.

En la tabla I se presentan los coeficientes de riesgo por unidad de dosis para incidencia de tumores en la infancia (hasta los 15 años de vida) según diversas fuentes.

Un comentario especial merecen los casos de contaminación materna con radiodos. La tiroides fetal capta iodo aproximadamente a partir de las semanas 12 e.g., siendo la captación muy elevada entre las semanas 14 y 22 de e.g. Los efectos sobre la tiroides fetal pueden ser de naturaleza determinística (hipotiroidismo) o probabilística (inducción de carcinoma tiroideo). El aumento de incidencia de cáncer tiroideo en niños es la única evidencia hasta el momento de efectos estocásticos como consecuencia del accidente de Chernobyl. Se trata de cánceres papilares que predominan en niños expuestos antes del primer año de vida o expuestos "in utero" pasado el primer trimestre de la gestación. Hay correlación geográfica con la región de mayor contaminación por radioiodos [7]. Se ha visto que el incremento de cáncer tiroideo es del orden de tres veces menor luego de una incorporación de Iodo-131 respecto de una misma dosis debida a una irradiación externa única. Esto se relaciona probablemente con la tasa de dosis.

No hay datos provenientes de estudios epidemiológicos que evidencien efectos hereditarios radioinducidos en humanos. Las estimaciones de riesgo se han basado en datos provenientes de estudios

	UNSCEAR	NCRP	BEIR V
Coeficiente de riesgo para una dosis de 1 Gy	5 %	10 %	2,8 %
Nº de canceres infantiles esperables en 10000 niños expuestos "in utero" a 4 mGy	2	4	1

Tabla 1.- Coeficientes de riesgo de cáncer infantil (hasta 15 años de edad).



efectuados en modelos animales. Se considera que para niños expuestos "in utero" se aplicaría un coeficiente de riesgo de 1% por Gy, tal como se aplica para los adultos.

ESTIMACIÓN DE LA DOSIS EN IRRADIACIÓN PRENATAL

En el caso de las exposiciones prenatales, la dosis absorbida a nivel del embrión/feto puede ser consecuencia de una irradiación externa o de una contaminación radiactiva materna. En el caso de la irradiación externa y en etapas tempranas de la gestación, puede estimarse la dosis a nivel del embrión a partir de conocer la dosis en gonadas o, más apropiadamente, en útero. En radiodiagnóstico se puede utilizar la dosis piel en la entrada para un dado examen y estimar la dosis absorbida en útero, a una cierta profundidad, si se conocen los factores técnicos concernientes a la energía del haz de radiación y el diámetro anteroposterior de la paciente. Sin embargo en ciertos casos y particularmente en

etapas avanzadas de la gestación, estimaciones más precisas pueden ser requeridas debido a la existencia de grandes inhomogeneidades en la distribución de la dosis a nivel del feto.

Cuando ocurre una contaminación radiactiva interna materna, ya sea ésta debida a una incorporación accidental o a la administración de radiofármacos durante prácticas de medicina nuclear, se deben tomar en consideración numerosos factores tales como la

edad gestacional, el tipo de radionucleido involucrado y su forma físico-química, la transferencia placentaria y la posibilidad de incorporación a los tejidos embrio-fetales [8]. De acuerdo a estas variables el embrión/feto podrá ser irradiado en forma externa a partir del depósito del material radiactivo en los tejidos maternos o sufrir una contaminación interna a partir de la incorporación del radionucleido a sus propios tejidos. La metodología para la estimación de la dosis resulta por lo tanto más compleja [9]. En estos casos también la dosis en útero puede ser tomada como dosis en todo el cuerpo para el embrión/feto pero para ciertos radionucleidos de marcado tropismo organo-específico es necesario especificar la dosis en órganos del feto (Ej: dosis en tiroides fetal debida a incorporación de radioyodos).

Además de la dosis total, otros factores tales como la tasa de dosis, el fraccionamiento y la calidad de la radiación tienen influencia sobre los riesgos asociados a una exposición prenatal.

EXPOSICIONES OCUPACIONALES

La creciente participación femenina en la actividad productiva y notablemente en el ámbito de la salud hace que muchas mujeres en edad reproductiva ocupen hoy puestos de trabajo en los que se encuentran ocupacionalmente expuestas a radiaciones ionizantes. Un trabajador decide voluntariamente exponerse a un determinado nivel de riesgo asociado a su trabajo. Para los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes se aplican los límites de dosis que establece la reglamentación vigente en cada país. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) recomienda como límite una dosis efectiva de 20 mSv/año promediados a lo largo de períodos definidos de 5 años [3]. En el caso de las exposiciones ocupacionales de mujeres gestantes el embrión/feto es considerado como un miembro del público. De acuerdo a las recomendaciones actuales, una vez que el embarazo ha sido notificado, las condiciones de trabajo de la madre deberán garantizar que el embrión/feto no reciba más de 1 mSv hasta el final de la gestación [10]. La implementación de estas recomendaciones ha dado lugar a diversas interpretaciones y ha conducido en algunos casos a situaciones de discriminación. El valor de 1 mSv ha sido establecido en base a consideraciones éticas: el feto no decide voluntariamente exponerse a un riesgo ni recibe beneficio alguno. Desde el punto de vista radiobiológico este límite está varios órdenes de magnitud por debajo de los umbrales para efectos determinísticos debidos a exposición prenatal. Esta limitación de dosis no implica necesariamente que una trabajadora deba ser separada de sus tareas habituales a partir de la



declaración de su embarazo sino que sus condiciones de trabajo deberán ser evaluadas y adecuadas a cada caso particular.

Si la trabajadora gestante se desempeña en un sector que puede ser crítico (radioscopia vascular o digestiva, radiología intervencionista, manipulación de radiofármacos) es posible reducir la tasa de exposición destinándola a un sector menos crítico. En determinadas circunstancias puede ocurrir que la mujer gestante no esté dispuesta a aceptar ningún nivel de riesgo y en esos casos se evaluará de común acuerdo con el empleador la factibilidad de trasladarla a un área administrativa en la que no se exponga a radiaciones ionizantes.

En el campo de la braquiterapia, los sistemas manuales de retrocarga y los sistemas remotos automatizados posibilitan que la profesional gestante pueda continuar asistiendo a sus pacientes con la colaboración de otros colegas, sin incrementar los riesgos de exposición prenatal.

Un error que suele cometerse es interpretar que el límite de 1 mSv se corresponde con la lectura efectuada sobre el dosímetro personal. Con un criterio conservativo se puede considerar que en el ámbito del radiodiagnóstico la dosis en útero es el 10% de la recibida por el dosímetro personal. En otros sectores en los que se trabaja con fotones X de alta energía o fotones gamma (medicina nuclear, radioterapia) la dosis en útero puede ser de alrededor del 25% de la lectura del dosímetro personal [10].

EXPOSICIONES MÉDICAS

Consideraciones generales de radioprotección: en el ámbito de las exposiciones médicas, la radiopro-

tección del embrión/feto debe comenzar con el profesional que prescribe a una mujer en edad fértil una práctica que involucre exposición a radiaciones ionizantes. La paciente debe ser interrogada sobre la posibilidad de embarazo. Para cierto tipo de prácticas, tal como se describe más adelante, puede ser necesario excluir la posibilidad de embarazo mediante test biológicos. En caso de comprobarse un embarazo, el profesional responsable puede tomar la decisión de postergar o suspender la práctica. Siempre se deben aplicar los principios básicos de la radioprotección, aunque con ciertas particularidades:

a) *Justificación:* toda práctica médica que implique el uso de radiaciones ionizantes deberá estar debidamente justificada y para ello el médico solicitante tomará en consideración el balance riesgo/beneficio asociado a la misma. Habitualmente en las aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes el sujeto que se expone al riesgo es el mismo que se beneficiará con el resultado de la práctica. Las exposiciones médicas prenatales en cambio implican consideraciones éticas adicionales puesto que el análisis riesgo/beneficio incluye dos sujetos: la madre y el embrión/feto. Si sólo la madre recibe algún beneficio de la práctica pero la misma no es indispensable para su salud, el feto se expone sin un beneficio directo. Como ejemplo de este primer caso podría suponerse la situación en la que se tuviera que decidir la realización de un examen radiológico en una mujer gestante sana como control de rutina previo a su ingreso a un puesto de trabajo (examen pre-ocupacional). Si en cambio la práctica es indispensable para garantizar la salud o la sobrevivencia de la madre, el feto se convierte en beneficiario de la misma.

b) *Optimización:* si el procedimiento está debidamente justificado, se deberá optimizar la práctica para crear las condiciones que permitan garantizar el cumplimiento del propósito diagnóstico o terapéutico administrando la menor dosis posible a nivel del útero. Se deberán considerar todas las medidas que puedan contribuir a la reducción de la dosis absorbida a nivel del embrión/feto.

c) *Limitación:* a diferencia de las exposiciones ocupacionales, no se aplican límites de dosis fetal en el caso de exposición de pacientes embarazadas. Si la práctica está justificada y optimizada, la dosis será tan baja como sea compatible con los propósitos de la misma.

Los servicios de radiodiagnóstico, medicina nuclear y radioterapia deberían adoptar conductas básicas que permitan disminuir la probabilidad de ocurrencia de exposiciones prenatales no deseadas como parte de las reglas de teratovigilancia. La colocación de carteles informativos visibles en accesos y salas de espera que indiquen en forma clara la necesidad de advertir al personal un embarazo confirmado o sospechado, la inclusión de esta indicación en los formularios y folletos explicativos entregados a los pacientes antes de cada práctica, la exclusión de la posibilidad de embarazo en el interrogatorio previo a efectuar el estudio, constituyen medidas muy simples que pueden contribuir a la prevención de exposiciones prenatales no planificadas. Durante largo tiempo se recomendó el uso de la "regla de los 10 días" con el objeto de limitar los exámenes no esenciales a la fase pre-ovulatoria del ciclo menstrual. Esta medida, aunque controvertida, se aplica aún en ciertas instituciones. Debe considerarse la posibilidad de embarazo en toda mujer en edad fértil que refiera una

amenorrea. La confirmación del mismo mediante la realización de test específicos puede considerarse antes de la realización de prácticas que puedan implicar dosis moderadas o altas (radiología intervencionista, radioterapia, prácticas terapéuticas en medicina nuclear).

Radiodiagnóstico: existen abundantes datos en la literatura acerca de las dosis medias en embrión/feto debidas a exposiciones diagnósticas, con un amplio rango de variación de acuerdo a los autores. Estas diferencias son debidas a las distintas condiciones de exposición y características de los equipos. Las dosis pueden variar de acuerdo al kilovoltaje aplicado, la adición de filtros, la utilización de pantallas reforzadoras, el número de proyecciones realizadas para cada estudio, etc. En las tablas II a V se presentan valores de dosis en útero estimadas para los exámenes más frecuentes.

La radioscopia constituye un complemento fundamental de la radiología digestiva y vascular y el desarrollo de nuevos equipos ha permitido reducir en un factor 2 o hasta 3 las dosis piel en la entrada, respecto de los equipos convencionales. El factor tiempo juega aquí un rol decisivo en la estimación de la dosis. Las prácticas de radiología intervencionista pueden implicar

TIPO DE EXAMEN	DOSIS (*)
Seriada esofago-gastro-duodenal	1,7 mGy
Colecistografía	.0,8 mGy
Colangiografía	1,5 mGy
Radiografía de fémur distal	.0,5 mGy

(*) Dosis medias en útero para el examen completo, excluyendo dosis debidas a radioscopia. Valores medios según ref. [10] y [11]

Tabla 3.- Prácticas radiodiagnósticas que implican dosis moderadas

tiempos de radioscopia muy prolongados y muy variables dependiendo del tipo de práctica y de la destreza y entrenamiento del profesional interviniente. Las dosis en útero pueden superar los umbrales para efectos determinísticos en el embrión/feto por lo que es aconsejable excluir la posibilidad de embarazo mediante tests específicos antes de efectuar una práctica de esta naturaleza.

Radioterapia externa: si bien la incidencia de neoplasias durante el embarazo es relativamente baja (1/1000) esta asociación puede plantear un serio problema a la hora de decidir una estrategia terapéutica. El médico radioterapeuta se encuentra frente a un dilema: la iniciación de un tratamiento que la mayor parte de las veces resulta incompatible con la continuación del embarazo o la dilación del mismo, que puede comprometer seriamente el pronóstico vital de su paciente. La conducta a seguir dependerá estrechamente de la edad gestacional y

de la proximidad del tumor al feto.

En una paciente que está cursando el último trimestre de la gestación puede plantearse posponer el inicio de la terapia radiante hasta que sea factible la inducción del parto con un feto viable. En un embarazo reciente esta conducta puede no ser la más adecuada y en esos casos la decisión de la interrupción del mismo estará ligada al criterio médico, el marco legal y el contexto familiar y ético-religioso de la paciente.

Si debido a la patología de base, el embrión/feto se encuentra dentro del volumen blanco a irradiar, la dosis se aproximará a la dosis terapéutica prescrita, típicamente en el rango de 40 a 60 Gy. Por tal razón la terapia radiante de tumores abdomino-pelvianos estaría formalmente contraindicada.

Cuando el embrión/feto queda excluido del volumen blanco (tumores de mama, cabeza y cuello, ciertos linfomas) la dosis será función de la distancia al centro y bordes del campo de irradiación con una componente debida a la dispersión interna en la paciente y una segunda componente debida a la dispersión y fuga desde el cabezal de la unidad de teleterapia. Esta última contribución puede ser reducida mediante la utilización de blindajes apropiados. Si se decide iniciar un tratamiento radiante en una mujer gestante, la estimación de la dosis en el embrión/feto deberá ser efectuada de manera muy precisa. Además de los modelos matemáticos, las mediciones

TIPO DE EXAMEN	DOSIS (*)
Radiografía dental	0,6 microGy
Cráneo, cabeza y cuello	Menos de 0,01 mGy
Torax	Menos de 0,01 mGy
Columna cervical y torácica	Menos de 0,01 mGy
Mamografía	Menos de 0,01 mGy
Hombro y miembros superiores	Menos de 0,01 mGy

(*) Dosis medias en útero para el examen completo, excluyendo dosis debidas a radioscopia. Valores medios según ref. [10] y [11]

Tabla 2.- Prácticas diagnósticas que implican dosis bajas.



TIPO DE EXAMEN	DOSIS (*)
Pelvis	2,5 mSv
Abdomen simple	2 a 5 mSv
Cadera y fémur proximal	5 mSv
Columna lumbosacra	4 a 7 mGy
Urograma excretor	6 a 8 mSv
Colon por enema	9 mSv
Histerosalpingografía	12 mSv
Pelvimetría obstétrica	Hasta 40 mSv

(*) Dosis medias en útero para el examen completo, excluyendo dosis debidas a radioscopia. Valores medios según ref. [10] y [11]

Tabla 4.- Prácticas radiodiagnósticas que implican dosis altas.

TIPO DE TAC	DOSIS MEDIA	DOSIS MÁXIMA
Abdomen	8 mGy	49 mGy
Torax	0,06 mGy	1 mGy
Cráneo	Menos de 0,005 mGy	Menos de 0,005 mGy
Pelvis	25 mGy	79 mGy

Tabla 5.- Dosis en útero en tomografía axial computada (Datos tomados de (10))

"in vivo" y en fantasmas antropomorfos deben tomar en cuenta las modificaciones anatómicas que se producen durante el curso del embarazo. La edad gestacional influye en el porcentaje de la dosis total que recibe el embrión/feto. Pequeñas variaciones en la distancia desde el útero al extremo del campo de irradiación pueden causar grandes modificaciones en las dosis. Deben considerarse modificaciones a los esquemas convencionales de tratamiento que contribuyan a reducir aun más las dosis: energía del haz de radiación, colimación, ángulos de incidencia, limitación del tamaño de campo en el borde más crítico, blindajes adicionales, etc.

Braquiterapia: mediante el tratamiento de las neoplasias localizadas con aplicación de fuentes selladas intracavitarias o intersticiales pueden alcanzarse muy altas dosis en un reducido volumen blanco con dosis relativamente bajas a una cierta distancia del mismo. Su aplicación al tratamiento de tumores uterinos está contraindicada en el curso de la gestación, pues el embrión/feto recibiría dosis inacepta-

blemente altas con muy alto riesgo de letalidad. La braquiterapia de tumores en otras localizaciones puede resultar en dosis considerablemente variables dependiendo el sitio del implante, la duración del mismo, el tipo de fuente, las condiciones anatómicas y la edad gestacional.

Las metodologías clásicas para dosimetría en braquiterapia sólo son válidas cuando el implante se encuentra a menos de 10 cm del útero. Para localizaciones más distantes (tumores de cabeza y cuello, tumores mamarios) se requiere otras consideraciones dosimétricas. Pueden aplicarse programas de utilización habitual en evaluación de la contaminación interna para lograr una aproximación a las dosis, considerando como órgano fuente el órgano más próximo al implante y como órgano blanco el útero o las gonadas. La correlación de estos datos con mediciones efectuadas en fantasmas antropomorfos resultó aceptable [12].

Medicina Nuclear: un considerable número de radiofármacos son administrados rutinariamente en los ser-

vicios de Medicina Nuclear a mujeres en edad fértil. Cada institución debe formular procedimientos explícitos para prevenir la administración inadvertida de los mismos a mujeres gestantes.

En las prácticas diagnósticas de medicina nuclear se utilizan en general actividades relativamente bajas de emisores de vida media corta y de eliminación rápida. Las dosis en útero pueden variar sustancialmente dependiendo de la actividad administrada y de las características del radiofármaco pero resultan en general muy por debajo de los umbrales para efectos determinísticos en el embrión/feto. La tabla VI muestra valores de dosis estimados para algunos de los procedimientos diagnósticos más frecuentes en medicina nuclear.

Habitualmente los procedimientos diagnósticos en medicina nuclear no plantean urgencia. Puede aplicarse la "regla de los 10 días" mencionada para radiodiagnóstico. En general, para los procedimientos diagnósticos el embarazo puede ser excluido mediante simple interrogatorio de la paciente y en el caso de presunción de embarazo, posponer o suspender la práctica. Frente a la sospecha de tromboembolismo pulmonar materno la realización de un estudio de perfusión pulmonar puede revestir carácter de urgente. Se tratará de elegir el radiofármaco más conveniente: radionucleidos de vida media muy corta como los gases inertes xenon (^{133}Xe) o kriptón (^{81}Kr) pueden contribuir a la reducción de la dosis en útero. Si estuviera debidamente justificada una práctica diagnóstica de medicina nuclear en una mujer gestante se administrará la mínima actividad necesaria para obtener un examen de calidad suficiente y se intentará reducir la dosis en útero mediante hidratación materna y vaciado frecuente de la vejiga.

En el tratamiento del hipertiroidismo materno se administran actividades del orden de 370 MBq (10 mCi) de ¹³¹I lo que corresponde aproximadamente a una dosis en útero de 18 – 37 mGy. El tratamiento del cancer tiroideo exige la administración de actividades muy altas, entre 3700 y 7400 MBq (100 a 200 mCi) en una sola dosis o en administraciones repetidas y sucesivas. Las dosis en útero pueden por tanto ser muy altas y , dependiendo de la edad gestacional , la dosis a nivel de la tiroides fetal puede superar el umbral para efectos determinísticos en la glándula.

Se deberá excluir la posibilidad de embarazo en toda paciente que será sometida a un procedimiento terapéutico de medicina nuclear mediante la realización previa de tests específicos. Una mujer embarazada no debe ser tratada con radiofármacos a menos que sea la única alternativa terapéutica y que el hecho de posponerla hasta que se pueda inducir un parto con feto viable comprometa su pronóstico vital. En el caso de postergar

la terapia hasta después de la inducción del parto se deberá tener presente que la posible transferencia del radiofármaco a la leche materna podrá introducir una restricción a la lactancia.

Puede ocurrir que el embarazo se advierta después de haber efectuado una práctica de carácter terapéutico. Es más frecuente que esto tenga lugar durante las primeras semanas de edad gestacional. En esos casos se estimará la dosis en todo el cuerpo para el embrión/feto o su equivalente, la dosis en útero. Si se tratase de un embarazo con más de 12 semanas de e.g. se deberá estimar la dosis a nivel de la glándula tiroides del feto mediante una metodología apropiada [11]. La dosis en tiroides fetal puede superar 5 Gy en procedimientos terapéuticos para hipertiroidismo materno efectuados en esta etapa de la gestación y hasta 40 Gy en el caso del tratamiento del cancer tiroideo materno. Estos valores fueron estimados para ¹³¹I y resultan mucho menores si se considera ¹²³I.

Se recomienda que una mujer que ha efectuado una práctica de medicina nuclear no quede embarazada hasta que la dosis estimada para el embrión/feto debida a la actividad remanente no supere 1 mGy. Habitualmente esto no plantea problemas con las prácticas diagnósticas pero si podría ofrecerlos luego de procedimientos terapéuticos. Un criterio a aplicar es el que sugiere evitar el embarazo por un período determinado de acuerdo al tipo de radiofármaco: 3 meses para el ¹³¹I y ³²P , 12 meses para el ⁵⁹Fe y el ⁷⁵Se, y 24 meses para el ⁸⁹Sr [10].

EXPOSICIONES DEL PÚBLICO

Fuera de un contexto accidental, las dosis recibidas por el público están varios órdenes de magnitud por debajo de aquellas que podrían comportar un riesgo teratogénico. Sólo pueden tomarse en consideración ciertas situaciones particulares en las que una mujer gestante, como miembro del público, debe

PROCEDIMIENTO	RADIOFARMACO UTILIZADO	ACTIVIDAD ADMINISTRADA MBq	DOSIS (1) mGy	DOSIS (2) mGy
Mapeo cerebral	^{99m} Tc DTPA	740	5,8	-
Mapeo óseo	^{99m} Tc metildifosfonato	740	4,5	4,6 – 4,7
Perfusión pulmonar	^{99m} Tc MAA	185	0,4	-
		200	-	0,4 – 0,6
Estudio renal	^{99m} Tc DTPA	740	5,8	5,9 - 9
Estudio hepático	^{99m} Tc coloidal	300	-	0,5 – 0,6
Globulos rojos	^{99m} Tc	930	-	3,6 - 6
Captación tiroidea	^{99m} Tc	185	1,1	-
		400	-	3,2 – 4,4
Captación tiroidea	¹²³ I	30	-	0,4 – 0,6
Captación tiroidea	¹³¹ I	0,55	-	0,04
Mapeo de metástasis	¹³¹ I	40	-	2 – 3
Tumor/abceso	¹⁶⁷ Ga citrato	111	8,8	-
		190	-	14-18

(1) Datos de dosis estimada en útero tomados de Ref. [12]

(2) Datos de dosis en embrión/feto (todo el cuerpo) para etapas tempranas de la gestación tomados de Ref. [10]. Las dosis en tiroides fetal en embarazos de > de 12 semanas e.g. para los radiofármacos con tropismo tiroideo son mucho más altas.

Tabla 6.- Dosis estimadas para mujeres gestantes sometidas a procedimientos diagnósticos en medicina nuclear.



ser tomada en cuenta desde el punto de vista de la radioprotección. Estas situaciones pueden darse cuando un miembro del público desea acompañar a un paciente al que se le administró un radiofármaco o que se encuentra sometido a una práctica de braquiterapia, o solicita permanecer junto a su familiar (niño, anciano o discapacitado) durante una práctica radiodiagnóstica. Se debe evitar comprometer en estos cuidados a mujeres gestantes y recordar que el límite de dosis para el embrión/feto es de 1 mGy.

La mayor parte de los procedimientos diagnósticos en medicina nuclear no plantean problemas de radioprotección del embrión/feto en lo que se refiere a los familiares y miembros del público. La administración de ^{131}I para el tratamiento del hipertiroidismo y del cáncer tiroideo lleva asociado un riesgo de irradiación externa y de contaminación radiactiva para el grupo familiar y miembros del público en general, incluyendo eventualmente a mujeres gestantes. La reducción del tiempo de permanencia junto al paciente y el incremento de la distancia son medidas eficaces para limitar la dosis por irradiación externa. Se deberá informar al paciente de las medidas básicas tendientes a minimizar la posibilidad de contaminación radiactiva.

PROBABILIDAD DE CAUSACIÓN EN LAS EXPOSICIONES PRENATALES

En el ámbito de la protección radiológica se define a la probabilidad de causación (PC) como la posibilidad de que la radiación sea la causa de un determinado efecto adverso en un individuo expuesto. Este tipo de evaluación puede ser requerida en el caso de demandas surgidas en el campo de las

exposiciones ocupacionales, médicas o del público. Teniendo en cuenta que la incidencia de abortos espontáneos y malformaciones congénitas es bastante elevada y que existen múltiples causas que coadyuvan para su ocurrencia, la estimación de la PC en el caso de las exposiciones prenatales no resulta una tarea simple. Las anomalías que puede producir la radiación no poseen características propias que permitan diferenciarlas de las que se producen de manera espontánea. Para poder estimar la contribución relativa al riesgo por parte de las radiaciones ionizantes es necesario conocer la contribución de otros factores de riesgo tales como edad materna, estado nutricional, hábitos (consumo de medicamentos, alcohol, tabaco y/o drogas), tipo de ocupación, antecedentes heredofamiliares, infecciones intercurrentes, tratamientos recibidos, características del embarazo y parto, etc. Se considerará tipo de exposición (externa o interna), calidad de la radiación, dosis estimada, tasa de dosis, fraccionamiento y/o prostración y edad gestacional.

Los efectos determinísticos tales como el retraso mental, presentan un umbral. Cuando las dosis estimadas a nivel del embrión/feto se encuentran indudablemente por debajo de este umbral puede considerarse que el efecto no fue producido por la radiación. Si se superaron estos umbrales, conociendo la frecuencia de estos efectos por unidad de dosis para las distintas etapas de la gestación se podrá emitir un juicio. Como ejemplo la PC de un feto recibe 1 Gy en la semana 20 e.g. que si lo recibe en la semana 9 e.g. Si la exposición hubiera ocurrido en la semana 35 e.g. puede descartarse que el retraso mental sea atribuible a la radiación.

La situación es más compleja para la estimación de PC en el caso de tumores. La carcinogénesis radioinducida es un efecto estocástico que no presenta umbral y por otra parte tampoco es posible aseverar si un dado tumor fue o no inducido por la radiación. Se utilizan para el cálculo de PC formulaciones matemáticas que exceden el alcance de esta comunicación, que incluyen la dosis absorbida, el coeficiente de riesgo de cáncer por unidad de dosis, la incidencia espontánea del tipo de cáncer en cuestión y otros factores de riesgo concurrentes.

PERCEPCIÓN DEL RIESGO EN LAS EXPOSICIONES PRENATALES

La percepción del riesgo asociado a una dada actividad por parte de un individuo o de la sociedad en su conjunto, se ve fuertemente influenciada por factores de naturaleza subjetiva. Se ha visto que en general los riesgos tienden a ser percibidos como mayores cuando:

- a) se relacionan con actividades no habituales y/o poco accesibles a la comprensión
- b) el agente causal no puede ser fácilmente percibido
- c) se asocian a situaciones accidentales o catastróficas
- d) afectan a niños
- e) involucran a miembros de la familia
- f) pueden afectar a generaciones futuras

Esto explica que el riesgo asociado a las exposiciones prenatales sea percibido como mayor que otros objetivamente más peligrosos. Tomemos el ejemplo de una mujer gestante que sufrió un traumatismo al caerse de una escalera: el solo acto de subirse a la escalera implicó un riesgo mayor para el embrión/feto que el riesgo asociado a una radiografía de tórax o de cráneo que eventualmente

FACTOR DE RIESGO	EFECTO	FRECUENCIA O PROBABILIDAD
Infecciones virales o parasitarias (rubeola, Epstein Barr, toxoplasmosis y otras)	Aborto, cardiopatías, cataratas, sordera, malformaciones musculo-esqueléticas.	Más del 60 %
Tabaquismo materno -Menos de 20 cigarrillos diarios -Más de 20 cigarrillos diarios	Recién nacido de bajo peso y muerte perinatal	20 % 30 %
Consumo materno de alcohol esporádico	Recién nacido de bajo peso, deficit del crecimiento	10 a 20 %
Alcoholismo materno crónico	Recién nacido de bajo peso, deficit del crecimiento, disfunción cerebral	30 a 50 %
- Incidencia para todas las edades maternas	Sindrome de Down	1 / 650 nacidos vivos
-Edad materna > 35 años		1/64 nacidos vivos
Incidencia espontánea	Malformaciones congénitas	6 al 10 %
Incidencia espontánea	Abortos	Más del 30 %
Tasa espontánea	Tumores pediátricos	0,07 %
Tasa espontánea	Cancer fatal en toda la vida	20 a 25 %
Incidencia espontánea	Retraso mental	1 %
200 mGy -semanas 8 a 15 e.g. -semanas 16 a 25 e.g.	Retraso mental severo	8 % 2 %
200 mGy entre las semanas 8 y 15 e.g.	Alteración de los tests de inteligencia	Disminución de 6 puntos en el coeficiente intelectual (CI)
Exposición "in utero" a 10 mGy	Tumores pediátricos sólidos Leucemia infantil	0,03 %

Tabla 7.- Comparación de riesgos durante la gestación. (Adaptado de [2])

hubiera que solicitarle. Sin embargo es probable que ella (y quizás también su médico) lo perciba de un modo inverso.

La percepción inadecuada del riesgo de irradiación "in utero" por parte del público y de la comunidad médica en ocasión del accidente de Chernobyl, resultó en un gran número de abortos provocados injustificados en países de Europa Occidental [7]. Pueden comprobarse en la literatura datos estadísticos que muestran indicaciones de interrupción de embarazo por dosis gonadales inferiores a 20 mGy [13].

La difusión de conocimientos básicos sobre este tema de una manera clara y comprensible tanto a nivel del público como entre los profesionales de la salud, es una de las tareas a encarar por parte de los grupos que trabajan en radioprotección. Los coeficientes de riesgo por unidad de dosis tal como los aplicamos en nuestro ámbito no resultan de fácil comprensión ni para los padres ni para el médico que deriva a la paciente. Una forma de esclarecer acerca

de la verdadera magnitud de los riesgos es compararlos con otros más conocidos o habituales tal como se presentan en la tabla VII o expresarlos de un modo inverso explicando cual es la probabilidad "natural" de tener un niño sano y cuanto pudo haber sido modificada esa probabilidad como consecuencia de la exposición [2].

CONSIDERACIONES FINALES

La mayor parte de los procedimientos diagnósticos adecuadamente efectuados no presentan riesgo de inducción de efectos determinísticos en el embrión/feto. Las prácticas terapéuticas y las exposiciones accidentales pueden en cambio plantear riesgos significativos de efectos determinísticos. En cuanto a los efectos estocásticos y en particular la inducción de tumores en la infancia, se trata de un efecto que no presenta umbral, por lo que toda exposición "in utero" aumentará la probabilidad de ocurrencia de los mismos. Por lo tanto,

el criterio general que debe aplicarse es el de no exponer a una mujer gestante a radiaciones ionizantes.

Las irradiaciones prenatales intencionales constituyen una situación de la práctica médica en la que se debe velar por el cumplimiento de los principios básicos de la radioprotección: justificación y optimización. La irradiaciones prenatales inadvertidas son un hecho probable y el rol que le compete a los profesionales que se desempeñan en el campo de la protección radiológica es el de asesorar a los padres y al profesional que los deriva, acerca de la magnitud de los riesgos. Sería aconsejable que las instituciones vinculadas a este tipo de asesoramiento dispongan de guías prácticas de acción diseñadas a partir de criterios consensuados que permitan protocolizar las conductas a seguir, tanto en las irradiaciones prenatales programadas como en las inadvertidas de acuerdo a los estándares internacionales.

Concluamos recordando que el umbral para efectos determinísticos en el



embrión/feto se sitúa alrededor de los 100 a 200 mGy. El riesgo de anomalías tales como retardo del crecimiento y daño al SNC es realmente significativo a partir de los 500 mGy, particularmente cuando la dosis se recibe entre las semanas 3 y 15 e.g. Excepto en casos tales como radioterapia de pelvis, braquiterapia ginecológica, tratamiento del cáncer tiroideo con ^{131}I , radiología intervencionista y situaciones accidentales, es muy improbable que se alcancen estos niveles de dosis a nivel del embrión/feto. Por lo tanto, el riesgo estimado es relativamente bajo comparado con la incidencia espontánea de los efectos considerados. Interrumpir o no un embarazo debido a una exposición a radiaciones ionizantes es, como ya se ha dicho, una decisión cargada de matices éticos, morales, religiosos, legales y psicológicos que están fuera de la competencia de la

radioprotección. En cambio, optimizar la información de los profesionales actuantes, siempre coadyuvará en una mejor toma de decisiones que contribuya a la salud integral del binomio feto/materno.

REFERENCIAS

- [1] Mole R. *Aspects of human development in utero of special relevance to radiological protection* Journée organisée par le Comité de Radioprotection d' Electricité de France: "Effets tératogènes des rayonnements ionisants" EDF-N 6 :39-44 (1990)
- [2] Mettler Jr.F.A. and Upton A.C. *Radiation exposure in utero in "Medical Effects of Ionizing Radiation"* pp 319-341, Second Edition by W.B. Saunders Company (1995)
- [3] ICRP-60 Recomendaciones 1990 Comisión Internacional de Protección Radiológica Ed. Sociedad Española de Protección Radiológica (1990)
- [4] Stewart A., Webb J., Hewitt D. *A survey of childhood malignancies*, Br. Med. J. 9:5086:1495-1508 (1958)
- [5] Mole R.H. *Antenatal irradiation and childhood cancer: causation or coincidence?* Br. J. Cancer 30:199-208 (1972)
- [6] Yoshimoto Y., Kato H., Schull W.J. *Risk of cancer among children exposed in utero to A-bomb radiations. 1950-1984*, Lancet 2:665-669 (1989)
- [7] EC/ IAEA/ WHO *One decade after Chernobyl: summing up the consequences of the accident* Proc. Int Conference Vienna. (1996)
- [8] Russel J.R., Stabin M.G. and Sparks R.B. *Placental transfer of radiopharmaceuticals and dosimetry in pregnancy* Health Phys. 73(5):747-755 (1997)
- [9] Russel J.R., Stabin M.G., Sparks R.B. and Watson E. *Radiation absorbed dose to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals* Health Phys. 73(5):756-769 (1997)
- [10] ICRP Publication 84 *Annals of the ICRP : Pregnancy and Medical Radiation* Ed. J. Valentin, Pergamon Press (1999)
- [11] NCRP Report 54 *Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements : Medical radiation exposure of pregnant and potentially pregnant women* (1977)
- [12] NCRP Commentary N° 9 *Considerations regarding the unintended radiation exposure of the embryo, fetus or nursing child*, National Council on Radiation Protection and Measurements (1994)
- [13] Chahed N., Mhiri A., Gaigi S., Mtimet S. *Irradiation d' une grossesse méconnue: revue à court terme de 17 cas* Radioprotection 35(4):519-527 (2000)

Procesos de Optimización en Mamografía. Primeros Resultados

M.L. España López*, L. Marcos de Paz**, C. Martín Rincón, I. Jerez Sainz, M.P. López Franco

* Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica

** Servicio de Radiodiagnóstico

HOSPITAL UNIVERSITARIO DE LA PRINCESA

RESUMEN

Los procesos de optimización en mamografía en un equipo con una única combinación ánodo/filtro pueden llevarse a cabo interviniendo en diversos factores tales como la técnica radiográfica, la densidad óptica diana, la combinación cartulina película o el ciclo de procesado, para lograr una imagen adecuada para el diagnóstico con un balance riesgo beneficio aceptable. Diversos estudios muestran un aumento de la tasa standard de detección de carcinomas invasivos con un aumento de la densidad óptica, entre otros factores, por lo que en nuestro hospital se inició un proceso de optimización en el que como paso previo se decidió aumentar la densidad óptica diana a 1,4 DO. El objetivo de este trabajo es valorar las variaciones producidas tanto en la calidad de imagen como en los indicadores dosimétricos considerados, comparándolos con los resultados obtenidos en un estudio realizado antes de la intervención. El estudio se ha realizado sobre una muestra de 106 pacientes, con una edad media de 53,4 años, considerando 212 imágenes clínicas, correspondientes a las dos proyecciones de una misma mama con espesor medio de 4,86 cm. Los resultados obtenidos muestran un incremento de la dosis superficie a la entrada del 16,6% y de un 18% en la Dosis Glandular promedio, habiéndose evaluado todas las imágenes clínicas como aptas para el diagnóstico.

INTRODUCCIÓN

La Comisión Internacional de Protección Radiológica ICRP en su publicación 60 (1) establece que dado que la mayoría de los procedimientos que producen exposiciones médicas están claramente justificados, y que éstos suelen beneficiar directamente

al individuo expuesto, se ha prestado menos atención a la optimización de la protección en exposiciones médicas, que en la mayoría de las aplicaciones de las fuentes de radiación. Esta realidad conlleva la posibilidad de iniciar procesos de optimización para reducir las dosis recibidas por los pacientes sin

perder información diagnóstica, y con un balance coste beneficio realmente positivo. En el caso de la mamografía, los procedimientos de optimización deben dirigirse a lograr la máxima reducción en la mortalidad por cáncer de mama, con un riesgo de inducción de cáncer mortal relativamente pequeño

SUMMARY

Optimization procedures in mammography using equipment with a unique target/filter combination can be carried out through such diverse factors as target optical density, technique factors for exposure, screen film combination or processing cycle, in order to obtain an image adequate for the diagnosis with an acceptable risk benefit balance. Diverse studies show an increase in the Standardised Detection Rate of invasive carcinomas with an increase in the optical density among others factors. In our hospital an optimisation process has been established, and as previous step, the target optical density has been increased up to 1,4 DO. The aim of this paper is to value the impact of optical density variation as much in the quality of image as in the entrance surface dose and the average dose to the glandular tissue, comparing them with the results obtained in a previous study. The study has been carried out in a sample of 106 patients, with an average age of 53,4 years, considering 212 clinical images corresponding to the two projections of a same breast with an average compressed thickness of 4,86 cm. An increase of 16,6 % on the entrance surface dose and 18% on the average dose to the glandular tissue has been recorded. All the clinical images has been evaluated for the physician as adequate for diagnosis.

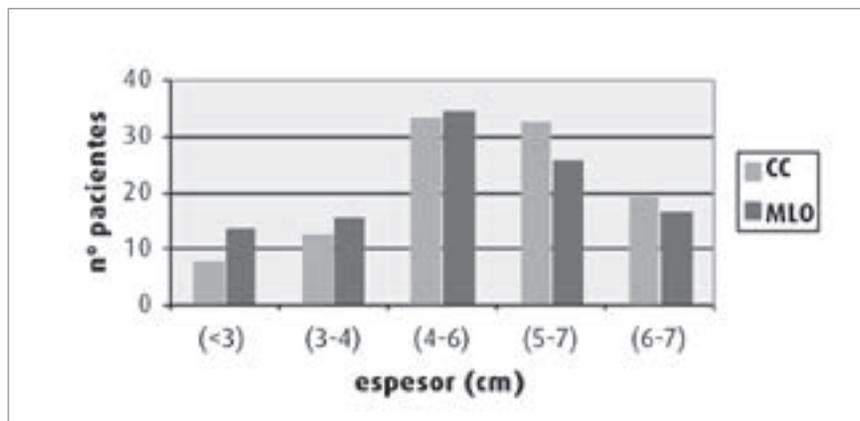


Figura 1: Distribución de espesores

(2). La magnitud dosimétrica recomendada para la estimación del riesgo de cáncer radioinducido es la dosis glandular promedio por examen recibida por la paciente, para la que existen valores de referencia, en general menores o iguales a 3 mGy utilizando rejilla andifusora (3,4). Sin embargo para su valoración debe tenerse en cuenta el valor de la densidad óptica diana seleccionada para la práctica clínica.

Los procesos de optimización conllevan no sólo la reducción de la dosis recibida por la paciente, sino también la optimización en la calidad de imagen. La calidad de imagen en mamografía se puede valorar a partir de criterios clínicos (5), y de la valoración de parámetros físicos en una imagen de referencia (6), aunque algunos autores han presentado la posibilidad de desarrollar criterios para garantizar de forma cuantitativa la calidad de la imagen clínica (7,8). En un equipo con una única combinación ánodo/filtro y

cumpliendo los requisitos de posicionamiento y compresión, el proceso de optimización puede llevarse a cabo interviniendo en factores tales como la técnica radiográfica, la densidad óptica diana, la combinación cartulina película, o el ciclo de procesado. Incrementos en el kilovoltaje utilizado pueden producir disminuciones de dosis media glandular de -35%, pero con un incremento de las dimensiones mínimas detectables a bajo contraste pasando éstas de 0,8 a 1.1 mm (9). Cambios de 0,3 DO en la densidad óptica pueden producir incrementos del 25% en la dosis media glandular para la mayoría de las combinaciones cartulina película (2). Sin embargo diferentes estudios confirman que la tasa de detección de carcinomas invasivos de mama está influenciada no sólo por el número de proyecciones realizadas sino también por la densidad óptica utilizada y las mayores tasas se alcanzan con DO mayores o iguales a 1,4 (10).

Los cambios en la tecnología disponible, o nuevos estudios en dosimetría o en calidad de imagen implican la revisión de forma regular de los procesos de optimización en el campo del radiodiagnóstico y muy especial-

mente en el caso de la mamografía. En el Hospital Universitario de la Princesa se está realizando un proceso de optimización de dosis y calidad de imagen en mamografía, para el que se han establecido diversas etapas. Como paso previo se decidió elevar la densidad óptica diana de 1,2 a 1,4 DO dentro del rango recomendado que varía entre 1,3 y 1,8 DO (11), para valorar la influencia que un aumento de DO iba a tener tanto en la calidad de la imagen clínica como en la dosis recibida por la paciente, y poder plantear como objetivo final dentro del proceso de optimización una DO diana de 1,6 DO, de forma que aún con variaciones de $\pm 0,2$ DO, posibles aún con un buen control de calidad (10), la DO diana no sea inferior a 1,4 DO. El objetivo del presente trabajo es presentar las variaciones que tanto en la dosis como en la calidad de imagen se han producido como consecuencia de este proceso, comparando los resultados obtenidos con un estudio realizado previamente al proceso de optimización.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se ha realizado sobre una muestra de 106 pacientes con una edad media de 53,4 años ($\sigma = 9,8$ años), cuya distribución de espesores de mama comprimida se presenta en la Fig. 1, con un espesor medio de 4,86 cm ($\sigma = 1,15$ cm) en CC y 4,52 cm ($\sigma = 1,27$) en MLO, sometidas a exploraciones en ambas mamas, con dos proyecciones Cráneo Caudal y Medio Lateral Oblicua, utilizando en todos los casos rejilla anti-difusora y exposimetría automática.

El equipo utilizado ha sido un mamógrafo GE Senographe 600 T con una única combinación Ánodo/Filtro (Mo/Mo), cuyos parámetros técnicos fueron medidos con un multímetro PMX-III

kVp seleccionados	kVp medidos	(μ Gy/mAs) ⁿ n=55 cm	HVL mm Al
26	25,1	27,2	0,30
28	27,3	35,7	0,32
30	29,7	45,4	0,35
32	21,9	56,0	0,37

Tabla I: Parámetros físicos

CRITERIOS DE CALIDAD DE IMAGEN EN MAMOGRAFÍA PROYECCIÓN CC				
	SI	NO	DUDOSO	PATOLOGÍA QUE LO OCULTA
1. Reproducción nítida del tejido glandular.				
2. Reproducción nítida de la piel y del tejido subcutáneo				
3. Pezón paralelo a la placa				
4. Reproducción del tejido graso retroglandular.				
5. Reproducción del músculo pectoral en el margen de la imagen.				
6. Ennegrecimiento de la radiografía.	OPTIMO	MUY CLARA	MUY OSCURA	

Tabla II

estando siempre dentro de tolerancias (6) Tabla I .

La película utilizada ha sido AGFA MR 5-II, con un tiempo de procesado de 120 s y una temperatura media durante el tiempo del estudio $34,5^\circ \pm 0,50$. El control densitométrico se ha realizado con un densitómetro X-Rite 331, siendo la densidad óptica de base + velo durante todo el estudio $0,19 \pm 0,1$ DO.

El ajuste del sistema de exposimetría automática se realizó con un maniquí de 4,5 cm de metacrilato, para una densidad óptica diana de 1,4 DO a 28kVp. Las variaciones de DO con espesores, variando en el rango de 3 a 6 cm, fueron $< \pm 0,04$ DO y las variaciones con kilovoltios en el rango de 26 a 32 kVp fueron $< \pm 0,04$ DO.

Se realizó una evaluación de la calidad de imagen con el test de Leeds TOR(MAS) para la valoración de los parámetros físicos de la calidad de imagen.

La evaluación dosimétrica y de la calidad de imagen clínica se realizó sobre un total de 212 exposiciones correspondientes a las dos proyecciones de una misma mama por paciente.

Para la evaluación dosimétrica se

seleccionaron dos indicadores dosimétricos la Dosis en la Superficie de Entrada (DSE), y la Dosis Glandular media (Dgm).

La estimación de la DSE se realizó a partir del Kerma en aire en la superficie de entrada en cada exposición (KASE)_p multiplicado por el factor de retrodispersión (BSF). Dada la dependencia de este factor con la capa hemirreductora (CHR) (2), en un rango entre 1,07 y 1,09 para variaciones de la CHR entre 0,30 y 0,40 mm Al se asumió un valor medio de 1,08 para todos los valores de CHR.

El Kerma en aire en la superficie de entrada para cada paciente se calculó a partir del Kerma en aire en la superficie de entrada por unidad de carga (KASE/mAs), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$KASE_p = (KASE/mAs)_{kV} * mAs * (R_{fc}/R_{fs})^2$$

Siendo,

- $(KASE/mAs)_{kV}$ ($\mu Gy/mAs$):

Kerma en aire en la superficie de entrada por unidad de carga para el kilovoltaje utilizado en cada exposición

- R_{fc} (cm):

Distancia foco punto de medida del KASE/mAs

CRITERIOS DE CALIDAD DE IMAGEN EN MAMOGRAFÍA PROYECCIÓN MLO				
	SI	NO	DUDOSO	PATOLOGÍA QUE LO OCULTA
1. Visualización nítida del tejido glandular				
2. Visualización del contorno de la piel con luz brillante (pero escasamente sin ella)				
3. Pezón en perfil completo				
4. Visualización del tejido graso retroglandular.				
5. Reproducción del músculo pectoral en ángulo correcto.				
6. Visualización del surco submamario				
7. Ennegrecimiento de la radiografía	OPTIMO	MUY CLARA	MUY OSCURA	

Tabla III

- R_{fs} (cm):

Distancia foco superficie de la mama

Las medidas del KASE/mAs se realizaron con compresor para tres kilovoltajes 26, 28 y 32 kV. El cálculo para el resto de kV utilizados se realizó mediante un ajuste de grado 2 ($R=1$), de acuerdo a la ecuación:

$$y = 0,1125 x^2 - 1,325 x - 12,6$$

Por tanto la dosis superficie a la entrada se calculó a partir de

$$DSE (mGy) = KASE_p (mGy) * BSF$$

Para el cálculo de la Dosis Glandular Media (Dgm) se ha supuesto una composición 50% glandular 50% adiposa para toda la muestra de pacientes, utilizando los valores de Dosis Glandular Media Normalizada (D_{gN}) dados por Wu y col. (12) para los kV_p, CHR y espesores correspondientes, y el valor de la exposición en la superficie de entrada para cada paciente (XSE)

$$Dgm (mGy) = Xse (C kg^{-1}) * D_{gN} (mGy / C Kg^{-1})$$

La evaluación clínica de las imágenes se realizó de acuerdo a los criterios que se presentan en la Tabla II y III para las proyecciones cráneo caudal

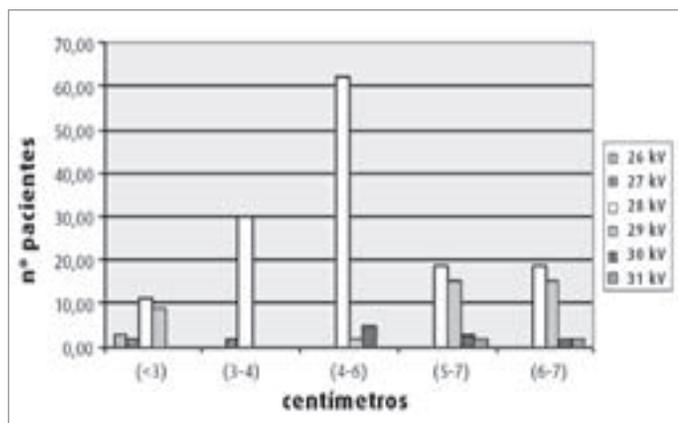


Figura 2: Técnica seleccionada.

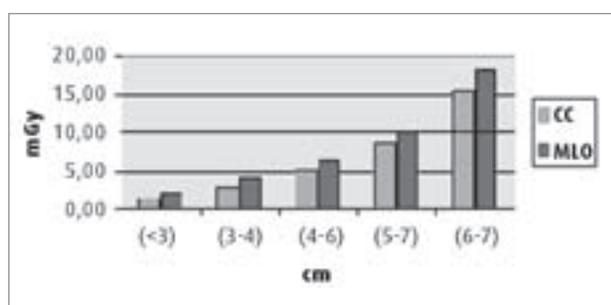


Figura 3: Distribución de DSE

y medio lateral oblicua, según el protocolo de calidad de imagen clínica en mamografía adoptado en el Programa de Garantía de calidad de la Unidad Asistencial de Radiodiagnóstico de nuestro hospital.

RESULTADOS

La Fig 2. muestra el kVp seleccionado en función del espesor de mama comprimida, variando en un rango entre 26 y 31 kV. El kilovoltaje más utilizado para todos los espesores es 28 kV, en un porcentaje del 72,7% de todas las exposiciones, inferior al registrado en algunos estudios en los que el 84% de las mamografías se realizaron a este kilovoltaje (13). Se puede optimizar la técnica utilizada, seleccionando un menor kilovoltaje para mantener la DO adecuada, permaneciendo el tiempo de exposición menor a 2s, y con una DSE tan baja como razonablemente sea posible. El rango de kilovoltios

recomendado por algunos autores es, en el caso de mamas pequeñas y/o adiposas 22-25 kVp, y para mamas gruesas y/o densas 28-32 kVp (14). En nuestro caso

sobre todo para mamas pequeñas y/o adiposas se podría disminuir el kilovoltaje seleccionado realizando un control dosimétrico antes de implantarlo en la práctica clínica.

En la Fig.3 se presenta la distribución de la DSE en función del espesor, para ambas proyecciones, con un valor medio de 7,60 mGy ($\sigma = 4,84$) para la proyección CC y 8,23 mGy ($\sigma = 5,75$) para la MLO, en ambos casos dentro de tolerancias (15), lo que supone un valor medio por proyección de 7,91 mGy superior en un 16,6 % al valor anterior a la intervención que era de 6,78 mGy por proyección para una muestra de pacientes con espesor medio de 4,8 cm ($\sigma = 1,60$) y edad media 52 años ($\sigma = 10,37$) lo que nos permita comparar los resultados de ambas muestras.

La distribución de la D_{gm} para la muestra de pacientes (Fig.4), da como resultado un valor medio de

1,21 mGy ($\sigma = 0,57$) para la proyección CC y de 1,39 mGy ($\sigma = 0,85$) para la MLO, supuesta una composición standard. El valor medio por proyección es de 1,30 mGy inferior a la tolerancia establecida (3 mGy) pero superior en un 18% al valor anterior a la intervención.

Los resultados obtenidos en la evaluación de la imagen clínica se presentan en la Fig. 5 habiéndose considerado el ennegrecimiento óptimo en todos los casos salvo en uno, en el que se evaluó la imagen como clara aunque apta para el diagnóstico. El porcentaje de cumplimiento de algunos criterios supera lo publicado por algunos autores, como en el caso de la reproducción nítida del músculo pectoral en la proyección CC, con un porcentaje del 84% frente al 30-40% registrado por Eklund y col (16).

CONCLUSIONES

Aún cuando el personal de operación disponía de recomendaciones sobre la optimización de la técnica radiográfica, el cumplimiento de éstas no ha sido satisfactorio. Por tanto se debe realizar un esfuerzo para mejorar aún más el protocolo de técnica radiográfica, ya que aunque las imágenes a 28 kV han sido aptas para el diagnóstico, con la disminución del kilovoltaje sobre todo en mamas pequeñas y/o adiposas se puede lograr un incremento significativo de la calidad de imagen.

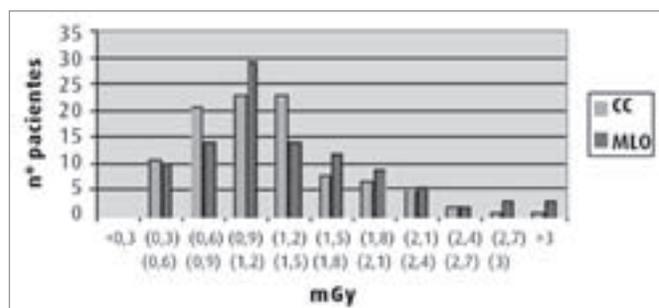


Figura 4: Distribución de Dgm

El establecimiento de una densidad óptica diana de 1,6 en mamografía podría suponer, para una muestra de pacientes similar a la estudiada, la superación del valor de referencia para la dosis superficie a la entrada, aunque las tolerancias para algunos parámetros dosimétricos están en fase de revisión debido a la tendencia a utilizar una mayor densidad óptica en la práctica clínica. El incremento de DO propuesto debe ir acompañado de la optimización de otros factores que permitan mejorar la calidad de imagen manteniendo la dosis tan baja como razonablemente sea posible.

BIBLIOGRAFÍA

1. ICRP 60. Recomendaciones 1990. Comisión Internacional de Protección Radiológica. Traducción oficial de la Publicación ICRP nº 60. Sociedad Española de Protección Radiológica. 1995
2. European Commission. European Protocol on dosimetry in mammography. EUR 16263 EN. Office for Official Publications of the European Union. Luxemburgo. 1996
3. IPSM (Institute of Physical Sciences in Medicine), The Commissioning and Routine Testing of Mammographic X-ray Systems. Topic Group Report 59. 2ª edición. York. 1994
4. IAEA (International Atomic Energy Agency). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources Viena 1994
5. European Guidelines On Quality Criteria For Diagnostic Radiographic Images. Office for Official Publications of the European Union. EUR 16260 EN. Luxemburgo. 1996
6. Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico. Aspectos Técnicos. Sociedad Española de Física Médica - Sociedad Española de Protección Radiológica. Madrid 1996
7. Meeson S., Young K C., Ramsdale M L, Wallis M G., Cooke J. Analysis of optical density and contrast in mamograms. Br J. Radiology 1999; 72: 670-677
8. Young K C, King S, Mesón S, Ramsdale M L, Cooke J, Wallis M G Auditing the image quality of mammograms. Radiation Protection Dosimetry, 2000; 90, Nos 1-2: 279-282
9. Mc Parland B J, Boyd M M. A comparison of fixed and variable kVp technique protocols for film-screen mammography. Br J. Radiology 2000; 73:613-626.
10. Young K C., Wallis M.G, Blanks R G, Moss S M. Influence of number of views and mammographic film density on the detection of invasive cancers: results from the NHS Breast Screening Programme. Br J. Radiology 1997; 70: 482-488
11. European Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Mammography Screening. European Guidelines for Quality Assurance in Mammography Screening. 2ª ed. Office for Official Publications of the European Union. Junio 1996
12. Wu X. , Barnes G T., Tucker D M. Spectral Dependence of glandular tissue dose in Screen film mammography. Radiology 1991; 179:143-148
13. Young K C, Burch A. Radiation Doses received in the UK Breast Screening Programme in 1997 and 1998. Br J. Radiology 2000; 73: 278-287
14. Hendrick R.E., Berns E.A. Optimizing Mammographic Techniques. RSNA Categorical Course in Diagnostic Radiology Physics: Physical Aspects of Breast Imaging-Current and future Considerations. 1999; 79-89
15. Real Decreto 1976/1999 de 23 de diciembre, por el que se establecen los Criterios de Calidad en Radiodiagnóstico. Boletín oficial del Estado nº 311. 29 de diciembre de 1999.
16. Eklund G.W, Cardenosa G., Parsons W. Assessing adequacy of mammographic image quality. Radiology 1994; 190:297-307



Un Desafío para los Principios en los que se ha basado la Radiobiología en el pasado

Almudena Real
Dosimetría de radiaciones
CIEMAT

RESUMEN

Hasta hace apenas diez años, se ha aceptado de forma generalizada que las consecuencias biológicas tras la exposición a radiaciones ionizantes se deben al daño directo que éstas producen en el DNA. Sin embargo, en la última década se han obtenido evidencias de que los efectos genéticos clásicos asociados con irradiación (mutaciones, aberraciones cromosómicas o micronúcleos, entre otros) no necesariamente son el resultado del daño directo producido en el DNA celular. Son los denominados efectos no-dirigidos, entre los que se incluyen la inestabilidad genómica inducida por radiación, los efectos derivados de la irradiación citoplasmática y los efectos circunstantes ("bystander effects"). Todos ellos apoyan la hipótesis de que la exposición a radiación puede producir daños genéticos importantes en células que no han sido atravesadas directamente por una trayectoria de ionización. Las señales de daño radioinducido serían transmitidas a estas células desde aquellas que sí han sido irradiadas.

Los efectos no-dirigidos desafían los principios básicos en los que se ha basado la radiobiología en el pasado, y pueden llegar a cambiar nuestra manera de pensar sobre los eventos tempranos del proceso carcinogénico, y en particular sobre los blancos críticos para el daño genético y carcinogénico producido por la radiación. Estos efectos podrían ser particularmente importantes en exposiciones a dosis bajas, en las que no todas las células sufren una irradiación directa.

ABSTRACT

Until recently, it has been commonly accepted that the biological consequences following ionizing radiation exposure are attributable to direct DNA damage. However, in the last decade some evidences have emerged to suggest that the classical genetic effects associated with radiation exposure (i.e. mutations, chromosomal aberrations, micronucleous) are not necessarily the result of the direct damage induced in the cellular DNA. These effects have been termed "non-targeted" and include radiation-induced genomic instability, effects detected after cytoplasmic irradiation and bystander effects. All of them support the hypothesis that important genetic consequences of radiation may arise in cells that in themselves receive no direct radiation exposure at all. The radioinduced damage signals could be transmitted to these cells from those that have been directly irradiated.

The non-targeted effects challenge the paradigms that have guided radiobiology in the past and may change our thinking about the early events in the carcinogenic process and in particular about the critical targets for genetic and carcinogenic damage by radiation. These effects could be particularly important at low doses, when non all the cells are directly exposed to an ionizing track.

INTRODUCCIÓN

Desde que se descubrió, hace más de 70 años, que los rayos X inducían mutaciones en la mosca *Drosophila*, se ha aceptado de forma generalizada que los efectos nocivos de la radiación, tales como inducción de mutaciones, aberraciones cromosómicas, transformación celular y muerte celular, son debidos fundamentalmente al daño directo producido en el DNA. Así, se acepta que en células de mamíferos los efectos biológicos importantes que acontecen tras la exposición a radiación son el resultado del daño directo producido en el DNA que no ha podido ser reparado de forma correcta por los procesos de reparación metabólica de la célula. Como consecuencia de ello, aparecerán cambios genéticos del tipo mutaciones o aberraciones cromosómicas en el sitio del DNA que ha sido dañado en la célula irradiada (Grosovsky, 1999). Por ejemplo, en el caso de las mutaciones el daño producido por la radiación se fija como una mutación durante la posterior replicación del DNA o como consecuencia de la actuación de los mecanismos de reparación celular. La aceptación de que los cambios genéticos importantes están restringidos a las células irradiadas ha llevado a algunos investigadores a modelizar los posibles efectos biológicos de la radiación basándose en la frecuencia y la clase de lesiones producidas en el DNA; en el caso de exposición a dosis bajas de radiaciones densamente ionizantes, como las partículas alfa, las relaciones dosis-respuesta se han establecido en base al número de células de la población que han sido atravesadas por una partícula ionizante.

En la última década, sin embargo,

se han obtenido un gran número de evidencias que sugieren que la radiación ionizante también puede producir efectos no-dirigidos al DNA en poblaciones celulares; es decir, pueden aparecer consecuencias genéticas importantes en células que no han recibido una exposición nuclear directa. Los efectos no-dirigidos incluyen a los efectos circunstantes ("*bystander effects*") y a la inestabilidad genómica inducida por radiación. El efecto circunstante es un fenómeno por el que el daño celular (intercambio de cromátidas hermanas, aberraciones cromosómicas, formación de micronúcleos, transformación, expresión génica) se expresa en células vecinas no irradiadas, próximas a las células irradiadas. La inestabilidad genómica inducida por radiación se define como un aumento persistente en el nivel de *aparición de novo* de cambios genéticos (mutaciones, aberraciones cromosómicas y micronúcleos) dentro de una población clonal. Adicionalmente, el desarrollo de irradiadores con microhaces de gran precisión ha sido crítico para poder estudiar los efectos de la irradiación localizada en partes específicas de la célula. La disponibilidad de estos irradiadores ha permitido profundizar en el conocimiento de las diferencias existentes entre los efectos producidos por irradiación del núcleo y el citoplasma celular, así como en las posibles interacciones de los dos tipos de efectos.

Los resultados obtenidos por distintos grupos de investigación sobre los efectos no dirigidos al DNA, sugieren que existen blancos extranucleares e incluso extracelulares sobre los que puede actuar la radiación para producir efectos biológicos. Estos datos han hecho que cambie la opinión so-

bre los mecanismos por los que las radiaciones ionizantes pueden producir alteraciones genéticas y lo que es aún más importante, contradicen los principios básicos de la radiobiología, a saber, que el daño producido en el DNA por la radiación ionizante se replica en todos los descendientes de esa célula, siempre y cuando ésta sobreviva a la primera división celular después de la irradiación; y que el daño producido directamente en el DNA genómico es un requerimiento esencial para que tenga lugar un efecto biológico.

En el presente artículo se hace una revisión de las evidencias científicas que sugieren que pueden tener lugar efectos genéticos importantes en células que no han recibido una irradiación directa en su núcleo, y en algunos casos ni siquiera en su citoplasma, tratándose tres líneas de evidencias: inestabilidad genómica inducida por radiación, efectos de la irradiación citoplasmática y efectos circunstantes ("*bystander effects*").

INESTABILIDAD GENÓMICA INDUCIDA POR RADIACIÓN

En 1980, una serie de experimentos diseñados para caracterizar las cinéticas de inducción de transformación maligna en células de ratón por irradiación, rindieron unos resultados sorprendentes (Kennedy y col., 1980). Dichos resultados sugerían que los focos de transformación no derivaban de una única célula dañada por irradiación. Por el contrario, la radiación parecía inducir un tipo de inestabilidad en un alto porcentaje de la población irradiada (20-30%), inestabilidad que aumentaba la probabilidad de que un segundo evento de transformación neoplásica ocurri-



ra en uno o más de los descendientes de la célula inicialmente irradiada, después de muchas generaciones de división celular. Este segundo evento era poco frecuente (ocurría con una frecuencia de aproximadamente 10^{-6}) y tenía las características de un evento mutacional ya que ocurría a una frecuencia constante por célula y por generación (Kennedy y col., 1984). Por tanto, los focos de transformación neoplásica no se originaban a partir de la célula irradiada sino a partir de uno o más de sus descendientes. Estos hallazgos llevaron a postular la hipótesis de que la radiación podía inducir un tipo de inestabilidad genómica en una fracción relativamente grande de la población irradiada, la cual se transmitía durante muchas generaciones, lo que llevaba a un aumento en la frecuencia con la que tenían lugar cambios genéticos en la prole de la célula inicialmente irradiada. Se obtuvieron evidencias de que este fenotipo inestable persistía al menos durante 12 y quizás hasta 25 rondas de división celular después de la exposición a radiación.

Esta hipótesis ha sido posteriormente confirmada en diversos sistemas experimentales para distintos efectos biológicos como mutagénesis, aberraciones cromosómicas y retraso en la muerte celular (Morgan y col., 1996; Little, 1998). En estudios de mutagénesis, aproximadamente el 10% de las poblaciones clonales derivadas de una única célula que había sobrevivido a la irradiación, mostraban un aumento persistente en la tasa a la que aparecían nuevas mutaciones (Chang y Little, 1992; Little y col., 1997). Esta tasa de mutación aumentada persistía durante al menos 30 generaciones post-irradiación. Se observó asimismo que el espectro molecular de los mutantes de aparición tardía era marcadamente diferente al observado en mutaciones inducidas de forma directa por rayos-X; el espectro era muy similar al de mutaciones espontáneas, ya que la mayoría eran mutaciones puntuales (Grosovsky y col., 1996; Little y col., 1997). Este resultado es consistente con la hipótesis de que la inestabilidad transmisible tiene el efecto de aumentar la tasa a la que

aparecen las mutaciones espontáneas en los descendientes de las células irradiadas.

Las primeras evidencias sobre inestabilidad cromosómica transmisible se obtuvieron en descendientes clonales de células cepa hematopoyéticas de ratón, observándose un aumento en la frecuencia de aberraciones cromosómicas no clonales, 12-14 generaciones después de la irradiación con partículas alfa (Kadhim y col., 1992). Desde entonces, se ha descrito que la inducción de inestabilidad cromosómica transmisible por radiación ocurre en diversos sistemas celulares (Sabatier y col., 1992; Holmberg y col., 1993; Marder y Morgan, 1993; Kadhim y col., 1995). Se ha demostrado que la transmisión de dicha inestabilidad cromosómica también tiene lugar *in vivo* (Pampfer y Streffer, 1989; Watson y col., 1996).

También se ha observado un aumento persistente en la tasa de muerte celular muchas generaciones después de que la población de células fuera expuesta a radiación (Seymour y Mothersill, 1986; Chang y Little, 1991).

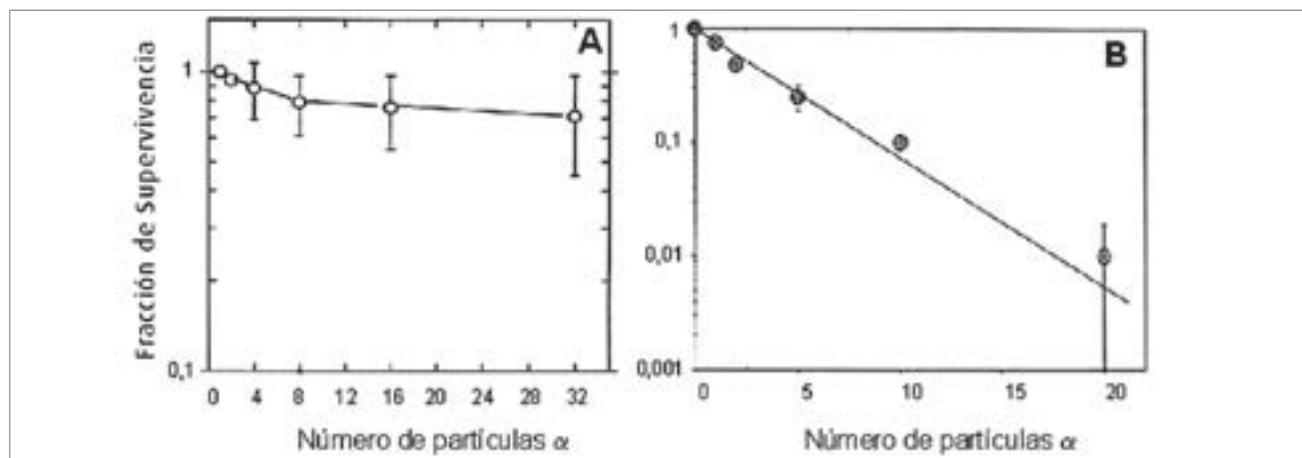


Figura 1. Fracción de supervivencia de células A_L irradiadas con una o un número exacto de partículas alfa de 90keV/ μ m en (A) el citoplasma (Wu y col., 1999) o (B) el núcleo celular (Zhou y col. 2000). Los puntos representan en ambas figuras la media de los datos obtenidos en 3 experimentos independientes. Las barras de error representan la media del error estándar.

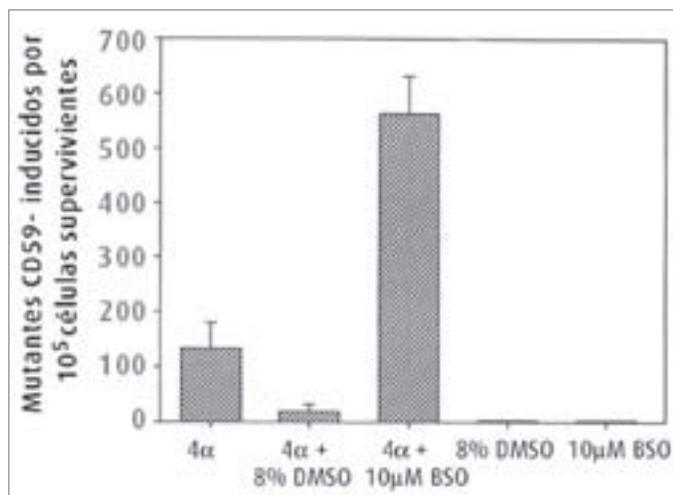


Figura 2 Efecto del DMSO, un captador de radicales libres y de la droga BSO (elimina tioles) en la tasa de mutación inducida en células A₁ irradiadas en su citoplasma con 4 partículas alfa. Ninguno de los compuestos utilizados eran mutagénicos por sí solos. Wu y col., 1999.

Todos los estudios comentados anteriormente aportan evidencias de que la radiación por sí misma puede inducir un tipo de inestabilidad celular transmisible, que conlleva una aumentada probabilidad de que en las células supervivientes tengan lugar múltiples eventos genéticos, tras muchas generaciones de replicación. Sin embargo, el mecanismo preciso asociado con este fenómeno aún está por elucidar. Esto incluye como es iniciado y como se mantiene. Evidencias recientes sugieren que el DNA es al menos uno de los blancos críticos en la iniciación de dicha inestabilidad genómica (Limoli y col., 1999) y que el estrés oxidativo consecuencia de un aumento en el proceso de apoptosis independiente de p53 puede contribuir al mantenimiento del fenotipo inestable (Limoli y col., 1998). Se ha postulado la hipótesis de que la radiación podría alterar diversos procesos celulares llevando a un estado de caos que perturbaría las rutas normales de regulación y señaliza-

ción, alterando la homeostasis celular. La célula nunca acabaría de recuperarse del todo. Por tanto, si bien el núcleo debe ser el blanco para la inducción de inestabilidad en células irradiadas, la consecuencia genética inicial de la radiación puede ocurrir en uno de los descendientes de la célula irradiada en un momento remoto en el tiempo.

A pesar de que sigue sin conocerse la importancia de la inducción de inestabilidad genómica en los eventos iniciales de la carcinogénesis radioinducida *in vivo*, el fenómeno está ahora bien documentado en una amplia variedad de sistemas experimentales *in vitro* (Morgan y col., 1996), y ciertamente cambiará la manera en la que actualmente pensamos sobre los eventos tempranos de iniciación del proceso carcinogénico. Es tentador especular que dicha inestabilidad podría aumentar la probabilidad de que ocurrieran múltiples eventos genéticos en un único linaje celular necesario para que se desarrollara un cáncer. Es interesante el hecho de que el concepto de inestabilidad inducida como un paso inicial en la carcinogénesis es consistente con resultados de estudios epidemiológicos, que sugieren que algunos tipos de cánceres inducidos por radiación pueden seguir un modelo

de riesgo relativo, es decir, una dosis determinada de radiación aumenta la tasa a la que se desarrolla el cáncer normalmente a todos los tiempos post-irradiación, en lugar de inducir una serie específica de nuevos tumores.

Es interesante el hecho de que algunas formas de expresión de inestabilidad genómica, como es el caso de retraso en la muerte celular, ya se habían descrito hace más de 30 años. Sin embargo, ha sido en la última década cuando ha aumentado enormemente el interés por el fenómeno de inestabilidad genómica inducida por radiación. Hay diversas razones para ello, como es la estrecha correlación de la inestabilidad genómica con la carcinogénesis, la alta frecuencia de células que pueden desarrollar inestabilidad genómica en respuesta a radiación o la posible demostración de múltiples sitios blanco, todas ellas indicativas de que existen nuevos mecanismos para la biología de radiaciones.

EFFECTOS GENÉTICOS PRODUCIDOS POR LA IRRADIACIÓN DEL CITOPLASMA

A pesar de que, como se ha mostrado en el apartado anterior, el fenómeno de inestabilidad genómica inducida por radiación sugiere que los efectos genéticos importantes no necesariamente se originan como consecuencia del daño directo en el DNA de una célula irradiada, éste no aporta información sobre el posible blanco celular para que se inicie este fenotipo de inestabilidad. Durante décadas, biólogos y genéticos han tenido gran interés por conocer las diferencias entre los efectos producidos por irradiación del núcleo y del citoplasma.



Sin embargo, no se sabe demasiado acerca de las posibles interacciones entre los dos tipos de daño celular. Gracias al desarrollo de irradiadores con microhaces de gran precisión, se ha podido estudiar el efecto de la irradiación localizada en partes específicas de células de mamíferos. Estos irradiadores, junto con las características físicas de las partículas alfa, permiten que el citoplasma de células individuales sea irradiado sin que el núcleo de esa célula reciba exposición. Las partículas alfa, debido a su masa relativamente grande, tienen una longitud de trayectoria corta y depositan toda su energía en una pequeña esfera muy próxima al sitio original de impacto.

En 1999 se publicó un trabajo realizado por Wu y colaboradores, que representa el reto más directo a la presunción de que las alteraciones genéticas inducidas por radiación requieren daño en el núcleo celular (Wu y col., 1999). Los experimentos realizados mostraban que la irradiación del citoplasma con bajas fluencias de partículas alfa podía inducir una frecuencia significativa de mutaciones en células de mamíferos. El paso a través del citoplasma de una única partícula alfa aproximadamente doblaba la frecuencia de mutación espontánea, mientras que se observó un aumento máximo de 2-3 veces cuando 4-8 partículas atravesaban el citoplasma, no existiendo una relación lineal con la dosis. Es interesante el hecho de que la irradiación del citoplasma tenía relativamente poco efecto en la supervivencia celular (Figura 1A). Cuando se analizaron, en experimentos paralelos, los efectos de la irradiación del núcleo, las frecuencias de mutación eran 2-3 veces superiores que para

un número similar de partículas atravesando el citoplasma, aumentando la frecuencia de mutación de forma lineal con la dosis, para un amplio rango de dosis (Hei y col., 1997). La irradiación del núcleo también mostró ser citotóxica (producía muerte celular) (Figura 1B). Era particularmente interesante la observación de que el espectro de cambios moleculares-estructurales difería marcadamente entre ambos tipos de irradiación, la irradiación del núcleo producía mayoritariamente cambios a gran escala, mientras que la del citoplasma producía principalmente mutaciones puntuales, con un espectro similar al de las mutaciones espontáneas (Wu y col., 1999). Esta observación recuerda la realizada para mutaciones de aparición tardía asociadas con inestabilidad genómica.

Se ha postulado que en los efectos mutagénicos, tanto de la irradiación del citoplasma como de la inestabilidad genómica inducida por radiación, intervienen especies reactivas del oxígeno (Clutton y col., 1996; Limoli y col., 1998; Wu y col., 1999).

Los resultados obtenidos por Wu y colaboradores aportan evidencias preliminares de que el núcleo puede no ser necesariamente el único blanco para los efectos biológicos importantes de la radiación; específicamente no parece que la irradiación directa del núcleo sea necesaria para la producción de mutaciones.

Un aspecto relevante es conocer la naturaleza de los eventos iniciados por la irradiación del citoplasma, que tipos de oxiradicales están implicados y como las señales se transponen desde los blancos citoplasmáticos al núcleo en donde ocurre la mutagénesis. Resultados obtenidos por Wu

y colaboradores mostraban que el tratamiento de las células con DMSO, un captador de radicales libres y particularmente de radicales hidroxilo (Kennedy y Symons, 1987), antes de que su citoplasma fuera irradiado con muy bajas fluencias de partículas alfa reducía a niveles muy próximos a los basales la frecuencia de mutaciones (Figura 2). Estos resultados podían sugerir que los radicales hidroxilo son una parte integral de la señal iniciadora. Sin embargo, estos radicales tienen una vida media muy corta y sólo pueden difundir aproximadamente 4nm, mientras que la irradiación se realizó aproximadamente a 8 nm del núcleo. Un escenario posible es que los radicales libres generados por irradiación del citoplasma podrían perpetuarse en un evento en cadena que implicara peroxidación lipídica. Alternativamente, podrían estar implicados radicales orgánicos tales como los aniones peroxinitrito generados como resultado del daño mitocondrial (Lenaz, 1998). Hay evidencias de que el daño en el DNA mitocondrial puede también modular el daño en el DNA nuclear, a pesar de que el mecanismo exacto por el que el DNA mitocondrial escapa hacia el compartimento nuclear no se conoce (Cavalli y Liang, 1998).

Por último, a pesar de que la irradiación nuclear induce 2 ó 3 veces más mutantes que la irradiación citoplasmática, para un número equivalente de partículas alfa, la última es más importante para la carcinogénesis ya que induce mutaciones sin inducir muerte celular. Por ejemplo, para niveles de dosis equitóxicas (provocan, por ejemplo, 90% de supervivencia) la irradiación del citoplasma induce 7 veces más mutantes que la irradiación

nuclear (Hei y col., 1997). Por tanto, la irradiación del citoplasma debe ser considerada un aspecto importante para la salud humana en términos de riesgo de exposición para cáncer y defectos de nacimiento, y también como un aspecto de profundo impacto en nuestro entendimiento de las relaciones existentes entre exposición a radiación y enfermedad.

EFFECTOS CIRCUNSTANTES

A principios de los 90, Nagasawa y Little estudiando la inducción de intercambio de cromátidas hermanas en cultivos de células de ovario de hámster chino (CHO) por exposición a muy bajas fluencias de partículas alfa, obtuvieron unos resultados sorprendentes (Nagasawa y Little, 1992). Estos autores observaron un aumento de intercambio de cromátidas hermanas en el 30-50% de las células de la población expuesta, a pesar de que con las condiciones de irradiación utilizadas se estimó, mediante cálculos microdosimétricos, que únicamente el 0,1-1% de los núcleos de las células que componían la población habían sido atravesados por una partícula alfa. Estos resultados sugerían que el blanco para que una partícula alfa produjera daño genético era mucho mayor que el núcleo e incluso que la propia célula. En estudios posteriores se estimó, por análisis microdosimétricos, que el tamaño del blanco potencial para la inducción de intercambio de cromátidas hermanas requería un área 350 veces mayor que el tamaño del núcleo de células CHO (Deshpande y col., 1996).

Estos resultados llevaron a los autores a postular la hipótesis de que podían ocurrir alteraciones genéticas en células que no recibían una expo-

sición directa a radiación. Las señales de daño podrían ser transmitidas a estas células desde células vecinas irradiadas. Este fenómeno se ha denominado efecto circunstante ("*bystander effect*").

Los resultados obtenidos por Nagasawa y Little fueron posteriormente confirmados, obteniéndose además evidencias de que las especies reactivas del oxígeno estaban implicadas en este fenómeno (Deshpande y col., 1996; 1997; Lehnert y Goodwin, 1997; Narayanan y col., 1999). Utilizando condiciones experimentales similares a las descritas anteriormente en los estudios de inducción de intercambio de cromátidas hermanas por irradiación con partículas alfa a dosis bajas, se han detectado aumentos en la incidencia de mutaciones génicas específicas en células no irradiadas (Nagasawa y Little, 1999). También se ha observado un aumento en los efectos citotóxicos producidos en células no irradiadas, incluyendo un aumento en la frecuencia de micronúcleos y células apoptóticas (Mothersill y Seymour, 1997; Prise y col., 1998; Limoli y col., 1998). Finalmente, se ha descrito que la inestabilidad cromosómica puede transmitirse a la descendencia clonal de células no irradiadas derivadas de células de médula ósea de ratón irradiada (Lorimore y col., 1998). Por tanto, el fenotipo de inestabilidad puede iniciarse en células que no han recibido una exposición directa a radiación, sino que reciben una señal de daño desde las células vecinas irradiadas.

Los efectos circunstantes no muestran una relación lineal con la dosis (Nagasawa y Little, 1992; Deshpande y col., 1996; Lehnert y Goodwin, 1997; Narayanan y col., 1997). Se

inducen de forma máxima por dosis muy bajas, sugiriendo un mecanismo de "interruptor" para la activación de una respuesta celular generalizada tras el daño a un blanco celular no nuclear de gran tamaño.

Aún no se conocen los mecanismos implicados en los efectos circunstantes. Sin embargo, hay evidencias de que estos efectos pueden tener al menos dos rutas separadas para transferir el daño desde las células irradiadas a las células vecinas no irradiadas. Una línea de evidencias indica que el efecto circunstante depende de las uniones intercelulares, las cuales estimulan la ruta de señalización del daño mediada por p53 (Azzam y col., 1998). Otra serie de estudios sugiere un segundo mecanismo que consiste en que las células irradiadas secretan citoquinas u otros factores que actúan aumentando los niveles intracelulares de especies reactivas del oxígeno en las células no irradiadas (Lehnert y Goodwin, 1997; Narayanan y col., 1997).

La evidencia de una ruta de señalización mediada por p53 fue inicialmente aportada por Hickman y colaboradores en un estudio realizado en células epiteliales de pulmón de rata irradiadas con partículas alfa a dosis bajas. Los resultados de este estudio mostraron que la expresión de p53 aumentaba en una proporción de células mayor que la correspondiente a células que habían sido atravesada por una partícula alfa (Hickman y col., 1994). Posteriormente, el grupo de Little describió el papel de la comunicación intercelular mediada por las uniones entre células, en la inducción de esta ruta de señales (Azzam y col., 1998). En cultivos confluentes de fibroblastos humanos diploides pri-



marios expuestos a bajas fluencias de irradiación alfa, observaron que a pesar de que sólo el 5% de los núcleos habían sido atravesados por una partícula, el aumento global de los niveles de proteínas p53 y p21^{waf1} era de 3-4 veces. Si los cultivos eran tratados con lindano (un inhibidor de las comunicaciones intercelulares), se eliminaban los niveles aumentados de expresión de estas proteínas. También se observó una modulación de la expresión de genes que regulan el ciclo celular, incluyendo p34^{cdc2}, ciclina B y rad51. Utilizando la técnica de inmuno-fluorescencia in situ (FISH), se estudiaron los patrones de expresión de la proteína p21^{waf1} en cultivos expuestos a dosis muy bajas de partículas alfa (dosis de 0,3 cGy con la que aproximadamente un 1-2% de las células en la población deberían ser atravesadas por una partícula). Se observó que algunos grupos de células tenían niveles elevados de p21^{waf1}, mientras que otros grupos de células en el mismo cultivo mostraban niveles de expresión basales. Estos resultados indicaban que los contactos entre células son críticos para la propagación del daño y no sugieren que haya una participación de factores secretados con capacidad de difundirse, ya que en ese caso se esperaría un aumento más homogéneo en la expresión de la proteína p21^{waf1}.

Estos resultados proporcionaban evidencias claras sobre el papel que la ruta de transducción de señal p53 tiene en el fenómeno "bystander". La ruta de respuesta a daño en el DNA mediada por p53 parece estar inducida tanto en células no irradiadas como irradiadas; se ha postulado que la activación de esta ruta de transducción de señal en células no irradiadas

podría conducir a cambios genéticos en estas células mediante una reducción en la fidelidad de la replicación o un aumento en la actividad de recombinación (Grosovsky, 1999). Sin embargo, estos resultados en su conjunto sugieren que en las células no irradiadas se inducen rutas de señales similares a las inducidas en células irradiadas. Por tanto, los efectos biológicos en poblaciones celulares pueden no estar restringidas a la respuesta de aquellas células individuales que han sufrido daño en su DNA.

El segundo mecanismo que podría participar en los efectos circunstantes implica la participación de factores secretados por las células irradiadas al medio de cultivo (Lehnert y Goodwin, 1997; Narayanan y col., 1997). Un artículo reciente sugiere que este mecanismo no depende de la comunicación a través de uniones formadas entre células que están en contacto (Mothersill y Seymour, 1998). Lehnert y colaboradores, demostraron originalmente que el medio de cultivo recogido de células irradiadas con bajas fluencias de partículas alfa podía inducir un aumento en el intercambio de cromátidas hermanas cuando se utilizaba para incubar células no irradiadas (Lehnert y col., 1997). Debido a que en el protocolo experimental utilizado por estos autores el medio originalmente irradiado se retiraba, los factores en el medio recogido que intervenían en el efecto circunstante únicamente podían haber sido secretados por las células irradiadas. Este efecto se observó durante al menos 24 horas después de la exposición a radiación, sugiriendo una producción y secreción continuada de factores hasta que la respuesta celular al daño en el DNA volvía a niveles basales.

Los factores en el medio recogido también inducían un aumento en los niveles intracelulares de especies reactivas del oxígeno, incluyendo aniones superóxido y peróxido de hidrógeno, postulándose que éstos son intermediarios críticos en la propagación del daño. Si el medio de cultivo recogido se sometía a altas temperaturas, o las células se trataban con inhibidores de síntesis de proteínas, el efecto circunstante se eliminaba, indicando que los factores secretados eran proteínas (Narayanan y col., 1997).

La inducción de mutaciones por la irradiación del citoplasma (Wu y col., 1999) está directamente relacionada con los efectos circunstantes a nivel conceptual, ya que ambos implican la inducción de cambio genético en núcleos no irradiados. Más allá de esta relación, la ruta citoplasmática de mutagénesis se parece al mecanismo de efecto circunstante en el que intervienen factores secretados, en la rápida saturación de la relación dosis-respuesta y en la participación de especies reactivas del oxígeno como mediadores de la respuesta. Estas similitudes sugieren una relación mecánica, si bien no se puede descartar que los dos procesos sean distinguibles debido únicamente al diseño experimental utilizado. Estos procesos no nucleares que producen cambio genético, guardan cierta similitud con la respuesta celular al daño inducido por luz UV (Devary y col., 1992; Devary y col., 1993). La respuesta a UV se induce de forma máxima por bajas fluencias de luz UV, produciéndose daño cerca de o en la membrana plasmática, en lugar de en el núcleo. Es más, esta respuesta implica la activación de proteínas de señalización intercelular (por ejemplo cito-

quinas). Finalmente, en la respuesta a UV también parece estar implicado el estrés oxidativo, ya que puede ser inhibida por captadores de radicales libres (Devary y col., 1992; Devary y col., 1993).

Una cuestión muy relevante, aún sin resolver, sigue siendo como el DNA es dañado finalmente. Wu y colaboradores han sugerido que radicales libres de larga vida, que son generados por irradiación citoplasmática pueden migrar al núcleo e inducir daño oxidativo en el DNA (Wu y col., 1999). Una hipótesis similar también ha sido propuesta por Lehnert y Goodwin (1997), que sugerían específicamente que el anión superóxido tiene suficiente estabilidad como para permitir su difusión hasta el núcleo. Una respuesta alternativa probable puede encontrarse en la propia inducción de una respuesta al daño celular. Sería posible que ocurriera una fidelidad de replicación reducida o una actividad de recombinación aumentada incluso en el DNA no dañado, cuando se activa una ruta de respuesta al daño en el DNA mediada por p53.

Existen cada vez más evidencias que apoyan la hipótesis de que pueden ocurrir efectos biológicos importantes en células que no reciben exposición directa a radiación (Prise y col., 1998; Little, 2000). Si este fenómeno ocurre *in vivo*, podría ser de considerable importancia en lo que respecta a los efectos carcinogénicos de las dosis muy bajas de radiación de alta transferencia lineal de energía, como las partículas alfa del radón. La exposición a radiación alfa, fundamentalmente por gas radón en ambientes residenciales, constituye el 50% de la radiación de fondo y puede ser el agente causante de hasta el 10%

de todos los cánceres de pulmón y el 30% de los cánceres de pulmón en los no fumadores (BEIR V, 1990; UNSCEAR, 1993). Como en el caso de los experimentos de efectos circunstantes, la exposición a niveles de fondo de radiación alfa en el epitelio respiratorio resulta en una distribución rara y estocástica de las trayectorias a través del núcleo en la que la mayoría de las células no recibe una irradiación directa. Muchas estimaciones del riesgo para carcinogénesis inducida por radiación alfa incorporan la presunción de que el número de células en riesgo en un tejido blanco está definido por la fracción cuyo núcleo es atravesado por una partícula (BEIR V, 1990; UNSCEAR, 1993). Los hallazgos de Wu y colaboradores (Wu y col., 1999) junto con la cada vez más abundante bibliografía sobre los efectos circunstantes, demuestran que estas presunciones sobre el blanco para daño genético y carcinogénico pueden necesitar ahora ser reconsideradas.

Los tres fenómenos descritos han sido observados inicialmente en sistemas de cultivos celulares *in vitro*. Sin embargo, no hay razón para pensar que los efectos mutagénicos de la irradiación citoplasmática o los efectos biológicos mediados por comunicaciones a través de las uniones intercelulares en células no irradiadas no ocurran también en poblaciones celulares *in vivo*. De hecho existen evidencias preliminares sobre la transmisión de la inestabilidad genómica inducida por radiación en sistemas de animales de experimentación *in vivo* (Pampfer y Streffer, 1989; Watson y col., 1996).

En los próximos años será imprescindible elucidar la importancia de estos fenómenos en la carcinogéne-

sis radioinducida. Los resultados que se obtengan pueden cambiar nuestra manera de pensar sobre los eventos tempranos de este proceso, y en particular sobre los blancos críticos para el daño genético y carcinogénico producido por la radiación.

BIBLIOGRAFÍA

- Azzam E.I., de Toledo S.M., Gooding T. and Little J.B. (1998) Intercellular communication is involved in the bystander regulation of gene expression in human cells exposed to very low fluences of alpha particles. *Radiat. Res.* 150: 497-504.
- BEIR V. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (1990) Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Cavalli L.R. and Liang B.C. (1998) Mutagenesis, tumorigenicity, and apoptosis: are the mitochondria involved? *Mutat. Res.* 398:1-2 19-26.
- Chang W.P. and Little J.B. (1991) Delayed reproductive death in X-irradiated Chinese hamster ovary cells. *Int. J. Radiat. Biol.* 60: 483-496.
- Chang W.P. and Little J.B. (1992) Persistently elevated frequency of spontaneous mutations in progeny of CHO clones surviving X-irradiation: association with delayed reproductive death phenotype. *Mutat. Res.* 270: 191-199.
- Clutton S.M., Townsend K.M., Walker C., Ansell J.D. and Wright E.G. (1996) Radiation-induced genomic instability and persisting oxidative stress in primary bone marrow cultures. *Carcinogenesis* 17: 1633-1639.
- Deshpande A., Goodwin E.H., Bailey S.M., Marrone B. And Lehnert B. (1996) Alpha-particle-induced sister chromatid exchanges in normal human lung fibroblasts: evidence for an extranuclear target. *Radiat. Res.* 145: 260-267.
- Devary Y., Gottlieb R.A., Smeal T. and Karin M. (1992) The mammalian ultraviolet response is triggered by activation of Src tyrosine kinases. *Cell* 71: 1081-1091.
- Devary Y., Rosette C., DiDonato J.A. and Karin M. (1993) NF-kappa B activation by ultraviolet light not dependent on a nuclear signal. *Science* 261: 1442-1445.
- Grososky A.J., Parks K.K., Giver C.R. and Nelson S.L. (1996) Clonal analysis of



delayed karyotypic abnormalities and gene mutations in radiation-induced genetic instability. *Mol. Cell. Biol.* 16: 6252-6262.

- Grosovsky A.J. Radiation-induced mutations in unirradiated DNA. (1999) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 5346-5347.

- Hei T.K., Wu L.J., Liu S.X., Vannais D., Waldren C.A. and Randers-Pehrson G. (1997) Mutagenic effect of a single and an exact number of alpha particles in mammalian cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94: 3765-3770.

- Hickman A.W., Jaramillo R.J., Lechner J.F. and Johnson N.F. (1994) Alpha-particle-induced p53 protein expression in a rat lung epithelial cell strain. *Cancer Res.* 54: 5797-5800

- Holmberg K., Falr S., Johanson A. and Lambert B. (1993) Clonal chromosome aberrations and genomic instability in X-irradiated human T-lymphocyte cultures. *Mutat. Res.* 286: 321-330.

- Kadhim M.A., MacDonald D.A., Goodhead D.T., Lorimore S.A., Marsden S.J. and Wright E.G. (1992) Transmission of chromosomal aberrations and genomic instability after plutonium alpha-particle irradiation. *Nature* 355: 738-740.

- Kadhim M.A., Lorimore S.A., Townsend K.M., Goodhead D.T., Buckle V.J. and Wright E.G. (1995) Radiation-induced genomic instability: delayed cytogenetic aberrations and apoptosis in primary human bone marrow cells. *Int. J. Radiat. Biol.* 67: 287-293.

- Kennedy A.R., Fox M., Murphy G. and Little J.B. (1980). Relationship between x-ray exposure and malignant transformation in C3H 10T172 cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 77: 7262-7266.

- Kennedy A.R., Cairns J. and Little J.B. (1984) Timing of the steps in transformation of C3H 10T1/2 cells by x-irradiation. *Nature* 307: 85-86.

- Kennedy A.R. and Symons M.C. (1987) 'Water structure' versus 'radical scavenger' theories as explanations for the suppressive effects of DMSO and related compounds on radiation-induced transformation in vitro. *Carcinogenesis* 8: 683-688.

- Lehnert B and Goodwin E.H. (1997) Extracellular factor(s) following exposure to alpha particles can cause sister chromatid exchanges in normal human cells. *Cancer Res.* 57: 2164-2171.

- Lehnert B.E. and Goodwin E.H. (1997) A new mechanism for DNA alterations induced by alpha particles such as those emitted by radon and radon progeny. *Environ Health Perspect* 105 Suppl 5: 1095-1101.

- Lenaz G. (1998) Role of mitochondria in oxidative stress and ageing. *Biochim Biophys Acta* 1366:53-67.

- Limoli C.L., Hartmann A., Shepard L., Yang C.R., Boothman D.A., Bartholomew J. and Morgan W.F. (1998) Apoptosis, reproductive failure and oxidative stress in Chinese hamster ovary cells with compromised genomic integrity. *Cancer Res.* 58: 3712-3718.

- Limoli C.L., Corcoran J.J., Milligan J.R., Ward J.F. and Morgan W.F. (1999) Critical target and dose-rate responses for the induction of chromosomal instability by ionizing radiation. *Radiat. Res.* 151: 677-685.

- Little J.B., Nagasawa H., Pfenning T. and Vetrovs H. (1997) Radiation-induced genomic instability: Delayed mutagenic and cytogenetic effects of X-ray and alpha particles. *Radiat. Res.* 148: 299-307.

- Little J.B. (1998) Radiation induced genomic instability. *Int. J. Radiat. Biol.* 6: 663-671.

- Little J.B. (2000) Radiation carcinogenesis. *Carcinogenesis* 21: 397-404.

- Lorimore S., Kadhim M., Pocock D., Stevens D., Papworth D., Goodhead D and Wright E. (1998) Chromosomal instability in the descendants of unirradiated surviving cells after alpha-particle irradiation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95: 5730-5733.

- Marder B.A. and Morgan W.F. (1993) Delayed chromosomal instability induced by DNA damage. *Mol. Cell. Biol.* 13: 6667-6677.

- Morgan W.F., Day J.P., Kaplan M.I., McGhee E.M. and Limoli C.L. (1996) Genomic instability induced by ionizing radiation. *Radiat. Res.* 146: 247-258.

- Mothersill C. and Seymour C. (1997) Medium from irradiated human epithelial cells but not human fibroblasts reduces the clonogenic survival of unirradiated cells. *Int. J. Radiat. Biol.* 71: 421-427.

- Mothersill C. and Seymour C. (1998) Cell-cell contact during gamma irradiation is not required to induce a bystander effect in the normal human keratinocytes: Evidence for release during irradiation of a signal controlling survival into the medium. *Radiat. Res.* 149: 256-262.

- Nagasawa H. and Little J.B. (1992) Induction of sister chromatid exchanges by extremely low doses of alpha particles. *Cancer Res.* 52: 6394-6396.

- Nagasawa H. and Little J.B. (1999) Unexpected sensitivity to the induction of

mutations by very low doses of alpha-particle radiation: evidence for a bystander effect. *Radiat. Res.* 152: 552-557.

- Narayanan P., Goodwin E and Lehnert B. (1997) Alpha particles initiate biological production of superoxide anions and hydrogen peroxide in human cells. *Cancer Res.* 57: 3963-3971.

- Narayanan P., LaRue K.E.A., Goodwin E and Lehnert B. (1999) Alpha particles induce the production of interleukin-8 by human cells. *Radiat. Res.* 152: 57-63.

- Pampfer S. and Streffer C. (1989) Increased chromosome aberration levels in cells from mouse fetuses after zygote X-irradiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 55: 85-92.

- Prise K.M., Belyakov O.V., Folkhard M. and Michael B.D. (1998) Studies of bystander effects in human fibroblasts using a charged particle microbeam. *Int. J. Radiat. Biol.* 74: 793-798.

- Sabatier L., Dutrillaux B. and Martin M. (1992) Chromosomal instability. *Nature* 357: 548.

- Seymour S.B., Mothersill C. and Alper T. (1986) High yields of lethal mutations in somatic mammalian cells that survive ionizing radiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 50: 167-179.

- UNSCEAR (1993) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly. United Nations, New York.

- Watson G.E., Lorimore S.A. and Wright E.G. (1996) Long-term in vivo transmission of alpha-particle-induced chromosomal instability in murine haemopoietic cells. *Int. J. Radiat. Biol.* 69: 175-182.

- Wu L.J., Randers-Pehrson G., Xu A., Waldren C.A., Geard C.R., Yu Z.L. and Hei T.K. (1999) Targeted cytoplasmic irradiation with alpha particles induces mutations in mammalian cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 4959-4964.

- Zhou H., Randers-Pehrson G., Waldren C.A., Vannais D., Hall E.J. and Hei T.K. (2000) Induction of a bystander mutagenic effect of alpha particles in mammalian cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 97: 2099-2104.

DOCUMENTOS SEPR

Dado el interés del tema tratado, el foro donde se expuso y la personalidad del conferenciante, reproducimos a continuación la conferencia que el presidente de la SEPR pronunció el pasado día 22 de Marzo en el salón de actos del Consejo de Seguridad Nuclear que contó con una gran asistencia.

Protección radiológica en la sociedad actual El punto de vista de la SEPR

Ignacio Hernando González

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Introducción

La protección radiológica ocupa el quehacer cotidiano de un número considerable de profesionales, afecta a otros muchos ciudadanos y, de vez en cuando, salta a los medios de comunicación convirtiéndose en objeto de interés generalizado. El modo en que la protección radiológica se concibe y se aplica en la actualidad, sus excelencias y sus deficiencias, los problemas asociados que perciben los profesionales que la practican, la forma en que se ven y se sienten afectados sus destinatarios, el interés que el asunto suscita en la población general han ido cambiando. Hablar de todo ello y pretender dar una imagen completa sería temerario por mi parte. No es mi intención ofrecer un diagnóstico global y preciso, ni mucho menos sentar doctrina sobre cómo es o sobre cómo debe ser la protección radiológica. Pretendo simplemente exponer, desde el punto de vista de la Sociedad Española de Protección Radiológica, un conjunto de ideas sobre algunas cuestiones concretas que parecen relevantes en el momento actual.

La S.E.P.R. en la actualidad

La S.E.P.R. es una organización que ha superado recientemente la cifra de

550 socios. De acuerdo con sus estatutos, se trata de una organización de carácter científico y profesional. Una de sus características más peculiares es un alto grado de multidisciplinariedad. Entre sus socios hay ingenieros, físicos, médicos, biólogos, químicos y otros profesionales. Por sectores, proceden de todas las áreas en que, de una u otra manera, se utilizan radiaciones ionizantes. En los últimos años esa diversidad no ha hecho más que crecer.

El activo más importante de una empresa o de una organización es su capital humano y radica en el conocimiento y en las capacidades de las personas que la integran. En el caso de una sociedad profesional, y más concretamente en el de la S.E.P.R., esto es especialmente cierto: El conocimiento y la experiencia de sus socios es la mayor riqueza de la Sociedad y es el motor subyacente a todas sus actividades.

La S.E.P.R. representa a sus propios socios. No representa intereses económicos ni de otro tipo de corporaciones u organizaciones. Tampoco representa, en sentido estricto, intereses de grupos profesionales homogéneos. Sus estatutos descartan los fines lucrativos

y las actividades sindicales. El carácter pluridisciplinar garantiza de manera especial su neutralidad. La concurrencia sistemática de expertos de diferentes sectores de actividad asegura una crítica interna permanente que contribuye de manera radical a mantener un enfoque riguroso, independiente y poco partidista de los aspectos que aborda.

Un poco de historia

La S.E.P.R. nació prácticamente al tiempo que el Consejo de Seguridad Nuclear. Su acta de nacimiento, si como tal puede considerarse la resolución de la Dirección General de Política Interior publicada junto con sus estatutos, es de 24 de abril de 1980. La Ley de creación del C.S.N., se aprobó el 22 de abril y se publicó en el B.O.E. el 25 de abril de ese mismo año.

Por aquellas fechas, la Junta de Energía Nuclear había cumplido un largo periplo asumiendo responsabilidades tanto en la promoción como en la regulación de las actividades que tenían que ver con los usos de la energía nuclear y de las radiaciones ionizantes. La evolución de los acontecimientos hacía necesario distribuir funciones. El Estado asignó por ello

al C.S.N. el papel de organismo regulador, manteniendo en la J.E.N., organismo que luego se transformaría en el CIEMAT, las funciones de investigación, docencia y desarrollo. En esa misma época, un grupo de personas que, desde dentro o desde fuera, habían tenido en la "Junta" la referencia para su trabajo en el campo de la protección radiológica, creyeron que era el momento de agruparse en una sociedad profesional que promoviera, como otras ya lo hacían en sus campos respectivos, una actividad que iba tomando peso propio y que se hacía necesaria en ámbitos variados.

Ese puñado de profesionales, con Emilio Iranzo como primer presidente, fue capaz de aportar esfuerzos considerables y de implicar a sus empresas y organizaciones en un proyecto que, no sin dificultades, fue tomando cuerpo en los años siguientes. El primer congreso, en 1985, en Madrid, dio a los todavía no muy numerosos miembros de la S.E.P.R. la oportunidad de comprobar que su esfuerzo valía la pena. Los congresos de Toledo, en 1987, y de Valencia, en 1989, fueron testigos del paulatino incremento de actividad de la Sociedad. Un momento de especial transcendencia fue el congreso de Salamanca, en 1991, primera y muy relevante experiencia internacional de la S.E.P.R.. El congreso de Salamanca acogió en su seno una conferencia internacional sobre las implicaciones de las entonces recién estrenadas recomendaciones ICRP 60. Vendrían luego los congresos de Santiago, en 1994; de Córdoba, en 1996; de Barcelona, en 1998, nuevamente en colaboración internacional con las sociedades francesa e italiana, y ya en el año 2000, el muy reciente de Maspalomas (Canarias).

Entre congreso y congreso la actividad no se detiene. Ya se ha hecho habitual que todos los desarrollos normativos, todos los cambios de situa-

ción, todas las cuestiones importantes en protección radiológica, de carácter nacional, europeo o internacional, se revisen y analicen en una jornada organizada por la S.E.P.R., generalmente en colaboración con otras sociedades o instituciones. Los cursos sobre radiobiología, sobre gestión de residuos, sobre transporte de material radiactivo y sobre otros temas han conseguido en general cotas de calidad elevadas. Eran necesarios otros cauces de difusión e intercambio de ideas y, desde el verano de 1991, la Sociedad cuenta con su revista, "Radioprotección", modesta en un principio, pero cada vez más asentada y enriquecida en cuanto a contenidos.

La S.E.P.R. se rige por unos estatutos que dan a la Asamblea General el carácter de órgano supremo de gobierno. La Junta Directiva es, por delegación y en representación de la Asamblea General, el órgano ejecutivo. Además, la estructura funcional de la sociedad prevé la existencia permanente de un conjunto de cinco comisiones de la Junta Directiva que garantizan una distribución del trabajo y una participación de los socios.

De todos modos, los veinte años son una ocasión para la celebración, para la satisfacción por la vitalidad que anima los proyectos de futuro, tal vez para hacer un balance provisional de lo conseguido hasta la fecha; incluso para un leve toque de nostalgia por esa primera historia que empieza a alejarse en el recuerdo. Pero no es momento aún para escribir las memorias. Más bien es tiempo de reflexión para decidir que hacer, en un mundo abierto, con todas las potencialidades que se perciben. Es tiempo de análisis y de proyectos.

La energía nuclear. Seguridad nuclear y protección radiológica

En la década de los 70 y en la de los 80 del siglo ya pasado, por su im-

portancia estratégica, por las fuertes inversiones implicadas, por la envergadura de los proyectos, y también por la extraordinaria sensibilidad que se había desarrollado en la opinión pública, la energía nuclear absorbía una considerable proporción de la atención que los medios de información, las autoridades, las instituciones y los propios profesionales prestaban a los temas relacionados con las radiaciones ionizantes. Todo parece indicar, sin embargo, que en la actualidad se ha alcanzado un nuevo equilibrio.

Efectivamente, la situación actual de la energía nuclear en España es estable. Con nueve reactores en funcionamiento, contribuye a generar un tercio de la energía eléctrica del país. Aunque no se prevé la construcción a corto plazo de nuevas centrales, sí se considera la extensión al máximo de la vida útil de las existentes, mediante las correspondientes revisiones y puestas al día de sus equipos y sistemas de seguridad.

Mediante la aplicación del criterio ALARA de forma extensiva e intensiva, los profesionales de la protección radiológica en las centrales nucleares han conseguido reducir significativamente las dosis recibidas por los trabajadores. La dosis colectiva media por reactor y año es actualmente menos de la mitad de la que se registraba tan solo unos pocos años atrás. Es éste un ejemplo muy claro de cómo la protección radiológica y la seguridad nuclear van estrechamente unidas en las actividades ligadas a la explotación de las centrales nucleares.

Desde el punto de vista de la protección del público y del medio ambiente, cabe afirmar que los Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental, junto con los análisis de la dosis resultante a los distintos grupos de población presentados por el C.S.N. en sus informes, indican un impacto radiológico insignificante de la explotación de las

centrales, con valores actualmente muy inferiores a los indicados en las normas básicas.

En definitiva, la protección radiológica en las centrales nucleares españolas se conduce con un grado de madurez muy elevado y por lo menos semejante al que se percibe en cualquier otro país desarrollado. Parece asimismo que la seguridad siempre puede beneficiarse si se apoya en el soporte que proporcionan los criterios y la concepción general de protección radiológica, con una historia ya antigua, con una voluntad de coherencia probada a lo largo de los años, y con el respaldo que proporciona un consenso normativo internacional muy desarrollado.

Es evidente que la protección de los trabajadores y del público debe estar garantizada en cualquier circunstancia, con unos criterios semejantes, independientemente de cual sea el origen del riesgo, cuales sean los aspectos administrativos, cual sea la autoridad responsable de la aplicación de la normativa e, incluso, de cual sea la postura de los grupos de presión o de opinión.

Los residuos radiactivos

Un asunto relacionado con la protección radiológica que no pierde actualidad sino todo lo contrario es el de los residuos radiactivos. En cierto modo es un tema central que ha puesto a prueba en muchas ocasiones al propio sistema de protección radiológica promovido por la ICRP.

Es sabido que el largo plazo a que han de proyectarse algunas estrategias plantea dificultades de envergadura. Además, casi siempre, en el tema de los residuos radiactivos hay una separación radical, en el espacio e incluso en el tiempo, entre quien los produce y quienes se pueden ver expuestos al eventual riesgo asociado a su gestión posterior. Ambas circunstancias contri-

buyen a hacer más difícil y tienden a dilatar los plazos para la toma de decisiones. Parece a veces que un consenso definitivo no va a llegar nunca

La ICRP ha emitido en los últimos años documentos que tratan de aclarar el modo en que la Comisión entiende que deben aplicarse sus propias recomendaciones generales de protección radiológica. Puede deducirse de ellos que ICRP plantea el problema de los residuos en un doble contexto. Por un lado, los residuos radiactivos han de ser analizados como parte de las actividades que los producen y no como una actividad aparte. Por otro, el análisis de las dificultades asociadas a la gestión de los residuos radiactivos debería hacerse en el marco de la gestión general de todos los residuos que la sociedad genera.

Sin duda, para los radionucleidos de vida larga, cuyo impacto radiológico puede manifestarse en un futuro lejano, la aplicabilidad de los conceptos y modelos actuales de valoración de la dosis o del riesgo es cuando menos dudosa. Tampoco es nada evidente que pueda, a largo plazo, verificarse el nivel de protección ofrecido ni asegurarse la intervención correctora en caso de que dicho nivel se viera afectado negativamente. En cualquier caso, parece cierto que hay que mantener a la protección del público como el factor o como el indicador básico de la idoneidad de las soluciones que se adopten, tratando las eventuales exposiciones potenciales como procesos afectados por una determinada probabilidad de ocurrencia. La evaluación de las dosis o de los riesgos debe en general ser juzgada respecto a los valores de restricción recomendados en torno a 0,3 mSv/año.

El problema de los residuos de alta actividad y vida larga sigue estando necesitado de decisiones importantes que habrán de tomarse en niveles altos

de responsabilidad, en un contexto internacional muy determinante.

Sin embargo, no parece justificado que la dificultad y la complejidad de las decisiones a tomar en el caso de los residuos de alta actividad y vida larga se extienda y contamine el problema más simple de los residuos de media y de baja actividad, muchas veces también de vida corta. En estos casos son posibles estrategias relativamente sencillas y soluciones que no exigen grandes decisiones ni técnicas ni económicas ni de otro tipo.

Esta es la clase de residuos que se producen en la mayoría de las instalaciones radiactivas del país. Los llamados "pequeños productores", en particular los hospitales que utilizan fuentes no encapsuladas, pero también otros, generan volúmenes considerables de residuos de baja actividad específica, actividad que, además, decrece rápidamente. El Tc-99m, omnipresente en las instalaciones de Medicina Nuclear, tiene un periodo de semidesintegración de 6 horas. Otros radionucleidos de uso común tienen periodos de pocos días o pocas semanas.

Con la legislación vigente hasta la fecha, existe una cierta asimetría entre el vertido de efluentes líquidos o gaseosos y la eliminación de residuos en forma sólida. Para los primeros se dan unos límites derivados de incorporación o de concentración, que permiten su emisión controlada y su dispersión en el medio ambiente de manera regulada. Para los segundos, sin embargo, la política a seguir a veces no está clara para el usuario o, al menos, no está claramente sustentada desde un punto de vista legal. Hasta la fecha no ha habido una forma reglamentaria de declarar como no radiactivo un material sólido que en un momento anterior ha sido residuo radiactivo.

Está en curso de preparación la Guía de seguridad GS-9.2, sobre "Gestión

de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en instalaciones radiactivas" que va a establecer criterios útiles para que la indefinición en torno a qué hacer con la clase de residuos comentados decrezca o desaparezca.

Sin embargo, a la vez que esto sucede, otro cambio podría tener efectos contrapuestos. La también muy próxima entrada en vigor del nuevo Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes dejará fuera del texto legal, como ya lo está de la Directiva europea correspondiente, un conjunto de límites derivados, como los límites de incorporación anual. Esta ausencia, y la referencia última a los límites de dosis efectiva, puede volver a plantear incertidumbres sobre los modelos a aplicar en cada caso. Modelos como los propuestos por OIEA en algunos documentos técnicos recientes pueden ser objeto de controversia, no tanto en sí mismos como en cuanto a su aplicación concreta.

En cualquier caso es patente que el objetivo irrenunciable desde el punto de vista de protección radiológica ha de seguir siendo la protección del público. Hay que garantizar que las dosis que pudieran recibir los grupos críticos están por debajo de los límites establecidos y además optimizadas.

Pero la incertidumbre en los modelos aplicables y la necesidad de ser cautelosos da un margen demasiado amplio a la hora de elegir las hipótesis de cálculo. Más aún en un área donde tales cálculos son de difícil contraste experimental. No se pueden correr riesgos indebidos pero tampoco es aceptable que unas hipótesis extremadamente conservadoras obliguen a inversiones y esfuerzos innecesarios, que contradicen el criterio de optimización.

En aspectos como la gestión de residuos, especialmente en los de baja actividad y vida relativamente corta,

parece necesario que el legislador legisle y que el organismo regulador dicte criterios, normas o guías que ayuden a los usuarios y productores. Adelantar ciertas decisiones supone sin duda algunos riesgos; pero dilatar las decisiones también tiene un coste. En este campo entendemos que el papel de las sociedades profesionales y, en particular, el de la S.E.P.R. puede ser clave. Nuestra Sociedad tiene en funcionamiento grupos de trabajo sobre gestión de residuos radiactivos y sobre el caso de los pequeños productores, que llevan años trabajando, recogiendo y contrastando información. Un intercambio fluido de esa información entre el Consejo de Seguridad Nuclear y la S.E.P.R., que siempre ha existido y que no ha hecho más que incrementarse en los últimos años, puede ser de la máxima utilidad tanto como vehículo de transmisión al C.S.N. de la percepción que los profesionales tienen de los problemas como, en sentido inverso, para hacer llegar de manera eficiente sus criterios a todos los ámbitos en que la protección radiológica se aplica de una u otra manera.

La protección radiológica en aplicaciones médicas

En el caso de las aplicaciones médicas, la situación es en cierto modo inversa a la que se da en el caso de los residuos radiactivos. En ellas la cultura de protección radiológica tiene una tradición y un contenido diferentes de los que pueden encontrarse en ambientes industriales. Pero es que, además, en las aplicaciones médicas, al menos en lo que al paciente se refiere, el beneficiario de la práctica y quien padece el eventual detrimento parecen coincidir en el mismo individuo. Ello permitiría formular un balance sencillo entre ventajas e inconvenientes, favorable ampliamente a las primeras en la mayoría de los casos, que justificaría el uso

masivo de radiaciones ionizantes en diagnóstico y en terapia. Tal cosa no es tan clara como podría suponerse.

En el análisis de la gestión de servicios médicos como los de Radiodiagnóstico y de Medicina Nuclear, también los de Radioterapia aunque en menor medida, se constató hace tiempo que era confuso colocar en el papel de "demandante de servicios" al propio paciente. Sin duda lo es en última instancia, pero con un grado de intermediación tan grande que su comportamiento no es el típico de un cliente en otras áreas de prestación de servicios. Es más correcto considerar que no es el paciente, sino otro médico, aquel que solicita la exploración, el demandante real, aunque sea por delegación. Es ese médico prescriptor quien actúa como cliente, quien pide, elige y eventualmente reclama sobre el servicio radiológico prestado. En ese sentido también es él quien "recoge" el beneficio del diagnóstico (o del tratamiento), aunque sea para aplicárselo al paciente, que sí es cliente suyo,

Esta disquisición es relevante en protección radiológica. Desde sus recomendaciones de 1977, la ICRP, la O.M.S. y otros organismos de prestigio han considerado siempre que la justificación de cada exploración concreta, esto es, la evaluación del balance riesgo-beneficio corresponde al médico que la solicita, con el eventual asesoramiento del médico bajo cuya supervisión se lleva a cabo la exploración. Paradójicamente, frente al alto grado de regulación que suele acompañar el uso de radiaciones ionizantes en otros campos, en el sanitario, que por otra parte es donde nació el concepto de protección radiológica, el primer criterio básico de radioprotección queda prácticamente al libre arbitrio de un profesional, cualificado en su área de conocimiento, interesado en la obten-

ción de rápidos y fiables diagnósticos (o tratamientos), pero con una formación en lo que se refiere a la tecnología y a la valoración de los riesgos asociados a las radiaciones ionizantes muchas veces claramente insuficiente.

Se diría que la Directiva 84/466/Euratom fue el primer intento de la Comisión Europea de definir conceptos de protección radiológica en aplicaciones médicas. La Directiva sólo incluía cinco artículos normativos y un anexo con recomendaciones no vinculantes para los Estados miembros. Diez años más tarde se inició una revisión de la Directiva citada que terminaría por dar lugar a la nueva Directiva 97/43/Euratom, relativa a la protección de la salud frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas. Esta nueva Directiva es mucho más concreta e introduce conceptos como el de justificación documentada de las exploraciones, garantía de calidad, auditoría, así como niveles de referencia para las dosis a los pacientes y pruebas de aceptación y de funcionamiento para los equipos.

Es significativo que la parte fundamental de la Directiva citada se haya transpuesto a la legislación española en un conjunto de tres Reales Decretos por los que "se establecen los criterios de calidad en Radioterapia, Medicina Nuclear y Radiodiagnóstico". Se ha hecho una "traducción" de protección radiológica por calidad que es en sí misma interesante y reconoce probablemente el amplio calado que la primera tiene en las áreas respectivas. Decir que la protección radiológica del paciente se asegurará diseñando y poniendo en práctica un programa de garantía de calidad, con determinados contenidos mínimos que se incluyen en los textos legales, es una idea vigorosa y puede constituir una aportación importante a la utilización médica de radiaciones

ionizantes. Pero tiene sus riesgos. El primero: si se fuerza la interpretación en el sentido de que la radioprotección es una parte subsidiaria de la calidad, evaluada ésta de manera subjetiva por el propio responsable de cada instalación, no mejorará nada la protección de los pacientes y, probablemente, tampoco lo hará la calidad de las aplicaciones. El segundo: si se simplifica el asunto dando por bueno que se tiene un programa de calidad por el hecho de aplicar formalmente algunas técnicas de protección radiológica, se tendrá una caricatura de lo que se entiende actualmente por gestión de la calidad total.

En cualquier caso, lo cierto es que las aplicaciones médicas, y más concretamente el radiodiagnóstico, constituyen la causa principal de las dosis procedentes de fuentes artificiales recibidas por la población de cualquier sociedad actual. El margen para la optimización es mayor, por tanto, que en otras áreas. Es necesario que, independientemente de como sea la distribución de responsabilidades, de cual sea la autoridad competente en cada caso, los criterios de protección radiológica se apliquen de manera consistente en el área de protección al paciente y en el resto de las áreas.

Posiblemente también en este aspecto pueda la S.E.P.R. aportar su grano de arena. Nuevamente su multidisciplinariedad le facilita la capacidad para integrar perspectivas diferentes y favorecer esa consistencia. Su habitual colaboración con la Sociedad Española de Física Médica en muchos campos, y con las Sociedades Españolas de Medicina Nuclear y de Radiología Médica en aquellos en que hay problemas comunes apuntan en ese sentido.

La protección radiológica del paciente no agota ni mucho menos el campo de la radioprotección en aplica-

ciones médicas. No sólo instalaciones como las de braquiterapia, las de terapia metabólica o las de radiología intervencionista, por citar sólo algunas, plantean problemas muy específicos de protección de profesionales y a veces del público, sino que aparecen también situaciones nuevas. En la propia Directiva 97/43/Euratom se toman en consideración aquellas que se refieren a la investigación biomédica, en que personas sanas pueden someterse voluntariamente a radiaciones ionizantes, o bien algunos pacientes pueden recibir deliberadamente dosis mayores o menores que las consideradas estándar en su caso, con el objeto de someter a prueba nuevos radiofármacos, nuevos equipos o nuevas técnicas diagnósticas o terapéuticas.

La radiología intervencionista ha pasado a ser en los últimos años, con su crecimiento muy acusado, una causa esporádica de efectos no estocásticos en pacientes. En cualquier caso da lugar a dosis muy elevadas a pacientes y a profesionales. Los procedimientos de radiología intervencionista, en muchas ocasiones de un gran rendimiento diagnóstico y terapéutico, son procedimientos agresivos en los que el riesgo radiológico, siendo considerable, no es típicamente el mayor de todos. Es un reto aplicar criterios de optimización efectiva en esas condiciones

Una situación para la reflexión es la de las mujeres gestantes sometidas (con conocimiento previo o no de su estado) a procedimientos diagnósticos o terapéuticos con radiaciones ionizantes. La mujer es una paciente pero el embrión o el feto, de acuerdo con la legislación comunitaria, deben considerarse como miembros del público. Esta situación tiene muchos puntos en común con el de las trabajadoras expuestas profesionalmente a radiaciones ionizantes cuando quedan embarazadas. Con los nuevos

límites de dosis se hace necesaria una atención especial a esta situación. Hay que asegurar niveles altos de protección y ser capaces de medir y garantizar niveles muy bajos de dosis. Pero a la vez hay que evitar que el estado de gestación, real o potencial, pueda suponer una discriminación laboral y también hay que evitar que el descubrimiento de que una paciente está o puede estar embarazada suponga una limitación de su acceso a una técnica necesaria para su salud o, lo que es peor, que ese descubrimiento asociado a una mala información sea causa de angustia y preocupación, cuando no de decisiones injustificadas en torno al propio embarazo.

De cualquier manera, el caso de las mujeres gestantes expuestas a radiaciones ionizantes, sean trabajadoras o pacientes, es uno de los casos en que de manera más evidente se aprecia la dificultad de separar la protección radiológica de los pacientes de la de los trabajadores y el público. El tema exige un análisis profundo y urgente. La ICRP ha presentado muy recientemente su publicación nº 84, dedicada al tema, publicación que la S.E.P.R. tiene previsto traducir próximamente al español. Esta Sociedad tiene también prevista una jornada específicamente dedicada al tema para dentro de pocos meses.

A comienzos de este año, se ha constituido un foro sobre protección radiológica en el medio sanitario formado por representantes del C.S.N., de la S.E.P.R. y de la Sociedad Española de Física Médica. Tiene por objeto analizar todos aquellos temas de radioprotección que sean relevantes en el medio citado. Al igual que otros foros de colaboración ya existentes, este debe crear una oportunidad excepcional para intercambiar de forma muy eficiente puntos de vista y traducir ese intercambio en propuestas prácticas

para mejorar y racionalizar los niveles de protección radiológica en aplicaciones médicas.

La dosimetría en España

En protección radiológica es ocioso decir que la noción de dosis ocupa una posición central. El riesgo del que se pretende proteger se supone dependiente de la dosis. Sin conocer ésta, tanto conceptualmente como en lo que se refiere a su medida concreta, mal puede abordarse la tarea de la protección radiológica con fundamento científico.

El equipamiento y la preparación de los profesionales dedicados a la dosimetría han ido mejorando de manera sensible a lo largo de los años. La dosimetría personal asociada a fuentes externas de radiación y la dosimetría ambiental están bien cubiertas y disfrutan de un alto grado de fiabilidad y de homologación internacional. Por otra parte, en un número de Radioprotección de hace algunos meses, el profesor H. G. Menzel, ante la pregunta de cómo veía la participación española en los programas CE de investigación en dosimetría, respondía que la participación de grupos españoles, restringida a ciertas áreas, es de alta calidad pero limitada cuantitativamente. Efectivamente, algunos grupos desarrollan en la actualidad una actividad puntera en el panorama internacional. Pero, a pesar de todo, hay aspectos y sectores en que se necesitan esfuerzos adicionales.

La dosimetría de neutrones es uno de los campos en que no hay aún soluciones definitivas y de carácter suficientemente operativo como para poderlas aplicar de manera sistemática. Y algunas aplicaciones exigirían una mejora de las técnicas disponibles. Es conocido que el C.S.N. está potenciando la investigación en esta área, tanto en su ámbito interno como apoyando proyec-

tos externos. El CIEMAT y otros grupos universitarios están comprometidos en proyectos de dosimetría neutrónica. También la S.E.P.R. tiene previsto contribuir a dar a conocer el estado de la cuestión y el de los proyectos en marcha mediante la organización, en un futuro próximo, de alguna reunión o jornada dedicadas a este tema.

Otra área de interés es la referida a la dosimetría interna. Se dispone en España de un servicio de alta calidad en el CIEMAT, que atiende eficazmente a gran parte de la demanda declarada, incluyendo la que precisa de técnicas de bioeliminación. También otros, como los de las centrales nucleares y otras organizaciones, se ocupan, con niveles de homologación y fiabilidad elevados, de grupos determinados de trabajadores. Seguramente es conveniente, sin embargo, promocionar esas técnicas y hacerlas llegar a un número mayor de individuos. Existe la necesidad y la base científica y técnica para ello. Sólo hace falta encontrar los recursos y una forma operativa de organizar los proyectos correspondientes.

Hay un campo relativamente reciente y que precisa igualmente desarrollo, que es el de la medida de magnitudes relacionadas con la exposición del paciente. Los indicadores dosimétricos empleados, como dosis en la superficie de entrada, producto dosis-área y otros que puedan utilizarse en este contexto, están necesitados de un análisis riguroso, definiciones precisas y clarificación de su alcance, para que su uso se haga en condiciones convenientes.

Un aspecto íntimamente relacionado con la calidad en dosimetría hace referencia a las instalaciones de calibración. También en esta área se necesitan instalaciones más desarrolladas, mejor dotadas, en particular para hacer frente a nuevas necesidades que surgen con la aparición de técnicas e instrumentación

recientes, como son las relacionadas con las técnicas braquiterápicas en medicina.

La enseñanza de la protección radiológica

La formación en protección radiológica se ha entendido tradicionalmente como una cuestión para especialistas. No suele estar incluida en los planes de estudios generales de las Facultades de Ciencias, salvo algunas excepciones concretas, ni de las Escuelas Técnicas, aunque en estas últimas sí se enseña protección radiológica, pero casi exclusivamente dentro del contexto de la ingeniería nuclear. Fuera de ese contexto, los estudiantes pueden completar su formación universitaria sin haber tenido el más mínimo contacto con los conceptos básicos de protección radiológica, y con una trama conceptual sobre las radiaciones ionizantes basada en gran medida en las informaciones procedentes de los medios de comunicación. Nada tendría esto de llamativo, es obvio que sucede lo mismo en otras muchísimas parcelas de los conocimientos especializados, si no fuera porque las cuestiones de protección radiológica trascienden con frecuencia a la opinión pública. Y en tales casos no es raro oír a profesionales y a científicos, bien cualificados, verter opiniones poco rigurosas sobre los riesgos de actividades relacionadas con el uso de radiaciones ionizantes.

Aun en el ámbito especializado de las Escuelas Técnicas, el panorama es preocupante. Con los nuevos planes de estudio, en los que las materias "nucleares" quedan como optativas, el número de alumnos va en descenso. La percepción pública de la energía nuclear como sector estancado y condenado a desaparecer está alejando a los alumnos de la especialidad nuclear. Paradójicamente, las empresas de in-

geniería aprecian favorablemente el currículum nuclear y la renovación generacional de las empresas del sector hace que las oportunidades de trabajo no sean raras.

En cuanto a las enseñanzas de tercer ciclo, existen en las Escuelas Técnicas pocos cursos de doctorado directamente ligados a la protección radiológica, aunque sí algunos, cada vez con menos alumnado, sobre temas afines (impacto radiológico ambiental, gestión de residuos radiactivos). Algunas Universidades, como la Complutense de Madrid o la de Granada, han incrementado su oferta en los últimos años. La formación más completa de postgrado sobre protección radiológica se sigue impartiendo en el Instituto de Estudios de la Energía del CIEMAT, donde la oferta se extiende desde el Curso superior de protección radiológica (de larga duración) hasta cursos monográficos sobre cuestiones específicas. También distintas empresas de servicios y algunas universidades ofrecen la formación exigida para los cursos homologados de operadores y supervisores de instalaciones radiactivas, cada vez más especializada. Esto hace que se vaya reduciendo cada vez más la oferta disponible para la impartición de los mismos, lo que podría llegar a suponer un problema si se diera el caso, no improbable, de que para alguna de esas especialidades no hubiese entidades dispuestas a organizarlos.

Por su parte, la S.E.P.R. está contribuyendo a la formación continua de los profesionales mediante cursos de duración variable y la celebración de jornadas científicas que permiten a nuestros socios, y a todos los profesionales en general, ponerse al día mediante el contacto con los más destacados especialistas nacionales e internacionales en cuestiones diversas.

Un asunto paralelo es el que afecta a

las Facultades de Medicina. En muchas de ellas se incluyen nociones de protección radiológica dentro de las asignaturas de Física Médica o de Radiología General. En algunas existe una asignatura optativa de Protección Radiológica, en muy pocas la asignatura es obligatoria. Es paradójico por cuanto las recomendaciones internacionales y la legislación española asignan al médico, a cualquier médico, la función y la responsabilidad de determinar si está justificada o no la eventual solicitud de exploraciones o tratamientos con radiaciones ionizantes para sus pacientes. Esta es, como se sabe, la principal causa de irradiación de la población.

La Directiva 97/43/Euratom establece que los Estados miembros de la Unión Europea fomentarán la inclusión en los estudios de Medicina de enseñanzas suficientes de protección radiológica. Sin duda se pretende con ello dar un soporte científico adecuado a esa responsabilidad que a los médicos asigna la normativa. Existe, de hecho, un proyecto para hacer obligatoria la introducción de un curso de protección radiológica en el programa de formación básico de las facultades de Medicina y Odontología. Tal proyecto tendrá dificultades aunque sólo sea por la propia existencia de un amplio grado de autonomía universitaria, pero sería una oportunidad especial para extender la cultura de la protección radiológica.

En el área médica existe una cierta tradición de formación complementaria en protección radiológica, en el ámbito de las especialidades de Radiodiagnóstico, Radioterapia y Medicina Nuclear. Probablemente el esfuerzo de las Sociedades profesionales afectadas y el de la propia S.E.P.R. debería dirigirse a adaptar y a poner permanentemente al día los contenidos de esa formación, de manera acorde con los

avances tecnológicos en cada especialidad y con la evolución de los criterios aplicables.

La protección radiológica se ha entendido tradicionalmente como objeto de la formación especializada. Sin embargo, una vez más hay que recordar que los temas relacionados con las radiaciones trascienden fácilmente el ámbito de los especialistas y pasan a la opinión pública. Las nociones previas, los conocimientos más o menos fundamentados y los prejuicios de la población juegan un papel importante. En cierto modo, la formación o la información rigurosa de la población en general deberían incluirse en los análisis encaminados a la optimización de las prácticas con radiaciones. Quizás haya llegado el momento de volcarse en este asunto y dedicar tiempo, recursos y esfuerzos a transmitir elementos relevantes para la comprensión de la protección radiológica no sólo en el ámbito de los especialistas, sino también en el de la enseñanza secundaria obligatoria y en el bachillerato.

En esta cuestión se deben aunar fuerzas: es necesario proporcionar información de calidad. Los centros de información y exposiciones que el C.S.N., ENRESA y otros organismos han instalado en los últimos tiempos sin duda son muy positivos en esta labor. Igualmente lo son los cursos para profesores de instituto patrocinados por algunas organizaciones. Pero tal vez una sociedad profesional como la S.E.P.R. podría contribuir de manera eficaz en estos aspectos.

La S.E.P.R. y los medios de comunicación

En este punto es inevitable hacer referencia al papel de los medios de comunicación en una sociedad como la actual. La clase de acontecimientos y noticias que, relacionados de uno u

otro modo con la protección radiológica, saltan a la palestra pública suelen prestarse en la práctica a un tratamiento sensacionalista, cuando no directamente alarmista, por parte de los medios de comunicación social.

En muchas ocasiones la información que aparece en periódicos, emisoras de radio y de televisión es poco rigurosa y procede de fuentes que, con mejor o peor intención, compensan sus carencias con una capacidad de respuesta muy rápida. No es infrecuente que la información venga mezclada con tomas de posición muy sensibles a intereses económicos, sociales o políticos.

Las autoridades, los organismos oficiales y las entidades científicas suelen reaccionar tarde y con cautela ante estas situaciones. Probablemente es inevitable. La necesidad de contrastar las fuentes, de analizar los hechos y de tomar en cuenta todos los aspectos de una noticia o de un suceso de interés público obligan a respetar unos plazos mínimos, a veces incompatibles con la urgencia de los medios de comunicación. Aun así, parece obligado aceptar que se precisa un esfuerzo por parte de todos los implicados para encontrar el modo de hacer llegar a la población, que tiene derecho a ello, informaciones claras, concisas y de calidad, fiables e inspiradoras de confianza, sobre los asuntos que de manera más o menos justificada, preocupan a muchos.

La S.E.P.R. cree tener una cierta responsabilidad en este terreno. Tradicionalmente ha actuado también con precaución y cautela en estas situaciones. Desde luego, no puede renunciar al rigor científico y técnico que han de caracterizar sus actuaciones. También ha de preservar su independencia a toda costa. Pero, sin embargo, está decidida a buscar el medio de servir de la mejor manera posible a la sociedad en que se desenvuelven sus tareas, aportando

informaciones y opiniones solventes y documentadas. La idea sería encontrar un modo práctico de, ante un determinado tema de interés social relacionado con el uso de radiaciones y con la protección radiológica, recabar el informe de sus mejores expertos sobre el caso y hacerlo público con adecuadas garantías de que no se producen distorsiones en la transmisión.

En el asunto reciente de los eventuales efectos de la exposición de militares a la radiación procedente del Uranio empleado en la guerra de la antigua Yugoslavia, la S.E.P.R. se encontró con un caso práctico. Se recibieron llamadas y requerimientos de medios de comunicación solicitando opiniones y valoraciones. Se pudo comprobar lo fácil que resulta ver deformadas algunas de esas opiniones y valoraciones. La S.E.P.R. terminó por producir una nota de prensa, muy contrastada entre especialistas, pero probablemente demasiado tardía.

En el futuro habrá que encontrar el modo de mejorar la calidad y la prontitud de la respuesta. Se ha empezado a trabajar en ello. A nadie se le escapa que las posibilidades que brinda Internet son prometedoras en este sentido. Puede ser ágil y puede permitir a la vez a periodistas y a particulares el acceso a la mejor información de la que se disponga en cada momento y a la opinión solvente de especialistas. En la página de la Sociedad (www.sepr.es) se han incorporado recientemente algunas aportaciones de interés general con esa intención. Uno de los proyectos es desarrollar esa vía de comunicación.

La S.E.P.R. y el desarrollo normativo

Desde su constitución la S.E.P.R. ha participado de forma regular en los procesos de elaboración y comentario de textos legales, normas y procedi-

mientos. Pero dicha actividad ha ido adquiriendo mayor importancia con el tiempo. A lo largo de los dos últimos años y en los primeros meses de éste, la comisión de normativa de la Sociedad ha tenido ocasión de aportar sus comentarios a tres Reales Decretos, el que contiene el texto del nuevo Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, el que establece los criterios de calidad en radiodiagnóstico y el proyectado sobre justificación del uso de radiaciones ionizantes en exposiciones médicas. También a un informe de ICRP y a otras tres guías de la I.A.E.A., sobre temas diversos. Del mismo modo se han enviado comentarios a un elevado número de guías de seguridad y un proyecto de instrucción técnica del C.S.N.

En todos los casos, los comentarios de la S.E.P.R. han recibido atención y en muchos se han tomado en consideración a la hora de revisar y matizar los borradores originales. Hay que decir que la comisión de normativa funciona de forma permanente pero, en cada caso particular recurre al conocimiento de los socios más expertos.

Creemos que esa es una labor de especial relevancia. Todo el ámbito de la protección radiológica está fuertemente reglamentado y la existencia de un marco constituido por los correspondientes textos legales, normas, guías y procedimientos es vital para su correcto funcionamiento. Todo el marco ha de ser consistente y no basta con que se adecue a un esquema teórico más o menos excelente. Es preciso que el punto de vista oficial, que en principio representa el legislador, los organismos reguladores y las organizaciones internacionales, se vea complementado con el punto de vista de los usuarios. Una asociación como la S.E.P.R. los representa de una manera muy especial. Como se insistía más arriba, transmite

una opinión esencialmente científica, técnica y profesional. No representa los intereses de los titulares de las instalaciones sino la de los individuos que están en el día a día, a pie de obra, palpando los problemas reales, evaluando de manera inmediata la mayor o menor importancia práctica de cada cuestión, viviendo, y a veces sufriendo, las dificultades concretas para la aplicación de cada norma o de cada protocolo.

En la presentación de las nuevas propuestas de la ICRP que Roger Clarke hizo en Madrid, hace apenas un mes, resaltó claramente la voluntad de dicha Comisión de apoyarse muy especialmente en el juicio de los profesionales y de sus organizaciones a la hora de encauzar el nuevo rumbo que hayan de tomar sus futuras recomendaciones básicas. La I.A.E.A. también ha manifestado recientemente el deseo de contar en su trabajo más explícitamente con la IRPA y sus organizaciones afiliadas.

Probablemente es muy deseable que también en el ámbito nacional se profundice en ese sentido. Todo parece indicar que esa es la tendencia y todos debemos felicitarnos por ello. La colaboración de la S.E.P.R., y evidentemente de otras organizaciones similares, en el diseño y el desarrollo del marco conceptual, normativo y práctico de la protección radiológica será beneficiosa para todos.

Avanzando un poco más en ese camino, podría decirse que, en opinión de muchos, el modelo español puede estar demasiado basado en la norma legal, lo que tiene algunas ventajas pero resta agilidad y capacidad para la adaptación a situaciones nuevas. Seguramente sería deseable un modelo más escueto en lo legislativo y más basado en la aplicación de normas y protocolos originados en las propias

asociaciones profesionales, siempre que éstas sean capaces de asegurar un amplio consenso y una implicación directa de los propios profesionales. Tal vez fuera conveniente que algunos Reales Decretos entraran menos en los detalles técnicos y que se habilitaran sistemas para que dichos detalles se recogieran en normas y protocolos con respaldo profesional.

Ejemplo relevante serían los protocolos que, conjuntamente con otras sociedades, ha publicado, y está revisando, la S.E.P.R. para el control de calidad de los parámetros técnicos en radiodiagnóstico y en medicina nuclear.

En esa misma línea se podría considerar la conveniencia de dar un papel más relevante a las sociedades profesionales y científicas en la acreditación de los profesionales. Al menos en el mundo anglosajón es un modelo que da buenos resultados. La cualificación de quien se dedica a un área concreta de trabajo que aplica conocimientos científicos y técnicos debe no sólo adquirirse en un momento dado, sino que ha de mantenerse a lo largo de los años. Ello supone un proceso de formación continuada que nadie mejor que organizaciones fuertes y autocontroladas puede garantizar.

La figura del experto en protección radiológica necesitará atención en el futuro próximo. Las Directivas europeas y las guías, ya publicadas o en estudio, organizaciones como IAEA, o del propio CSN en España, van a exigir un esfuerzo considerable, no sólo de homologación internacional, sino incluso de unificación de la terminología. Aun así, las normas que vayan produciéndose en ese campo han de ser especialmente sensibles a la realidad nacional. Es un tema sobre el que la opinión de las sociedades profesionales puede arrojar una luz clarificadora.

La S.E.P.R. en el ámbito internacional

La protección radiológica es una disciplina caracterizada por un grado elevado de consenso internacional en cuanto a sus principios y en cuanto a los criterios básicos de su aplicación. Pero no sólo eso, también son transportables de unos países a otros experiencias concretas, normas, análisis y modelos prácticos de actuación. Existe por ello un campo abonado para la cooperación internacional. La S.E.P.R. ha tenido siempre presente esta realidad a lo largo de su historia. La organización, coincidiendo con su congreso de 1991, en Salamanca, de una conferencia internacional sobre las entonces recién publicadas nuevas recomendaciones de la ICRP 60 fue una primera experiencia de envergadura, a partir de la cual se estrecharon lazos y se desarrollaron relaciones con multitud de profesionales y asociaciones de otras latitudes. La reciente visita a España de Roger Clarke, una de las primeras que realiza, para presentar, en estado todavía embrionario, las que serán dentro de algunos años recomendaciones renovadas de ese mismo organismo, da cuenta de la relevancia de la S.E.P.R. en el ámbito internacional.

En el momento actual, un número considerable de miembros de la Sociedad ocupan puestos destacados en grupos, comités y comisiones de ICRP, de IRPA y de otras organizaciones de ámbito mundial. De todos modos, por razones de proximidad geográfica y cultural, nuestra Sociedad centra en estos momentos su principal actividad internacional en torno a dos ejes bien marcados: Europa e Iberoamérica.

A partir del ya mencionado congreso de Salamanca, se inició una fecunda colaboración con las sociedades italiana y francesa, que llevó a una participación conjunta en sus respectivos

congresos de Taormina y Montpellier y tuvo su continuación en el de 1998, en Barcelona. En estos momentos, esa colaboración ha ampliado sus objetivos y la llevado, con el respaldo de la Unión Europea y bajo el patrocinio de IRPA al proyecto, en marcha, de un congreso regional europeo que tendrá lugar en Florencia (Italia) en octubre del año 2002. La S.E.P.R. participa en la organización de dicho congreso junto con un considerable número de sociedades europeas.

Es voluntad de nuestra Sociedad desarrollar esa colaboración e ir preparando el campo para una homogeneización y homologación de la protección radiológica en el marco de la Unión Europea.

El otro eje es el iberoamericano. Desde hace años se viene trabajando en la cooperación con las sociedades de los países americanos de habla española o portuguesa, así como con Portugal. Esa cooperación se ha plasmado en el Grupo iberoamericano de protección radiológica (GRIAPRA), del que la S.E.P.R. forma parte con una presencia muy especial y que, con financiación básicamente española, ha desarrollado un amplio conjunto de actividades de formación, de intercambio de documentación e información y de dotación de equipamiento. En el próximo congreso regional IRPA, que se celebrará en Recife (Brasil) en la primera semana de mayo de este año 2001, la S.E.P.R. tendrá una participación significativa y se encontrará ocasión para relanzar las actividades del citado Grupo iberoamericano de Protección Radiológica.

La actividad de la S.E.P.R. en el ámbito internacional está marcada por un hito de especial relevancia, la organización del XI Congreso mundial IRPA a celebrar en Madrid en mayo de 2004. El hecho de que en el pasado congreso

de Hiroshima se eligiera por unanimidad a nuestro país y a nuestra sociedad como organizadores del próximo congreso da una idea de, por una parte, un arduo trabajo de preparación de la candidatura, y por otra, del considerable prestigio que la protección radiológica española tiene en los foros internacionales. El primer anuncio del XI Congreso mundial saldrá el próximo mes de mayo, una vez se apruebe por la Junta Directiva de la IRPA. Y quedarán tres años de trabajo intenso en el que se precisa la aportación de todos, individuos, organizaciones e instituciones. Es un reto de envergadura muy considerable. Es también la oportunidad de colocar a todo el entramado profesional, académico, investigador e institucional español que se mueve en torno a la utilización de las radiaciones ionizantes con fines pacíficos en un lugar de preeminencia que le corresponde como consecuencia del trabajo bien hecho durante años.

En ese congreso es de esperar que haya muchas novedades y también temas maduros. Es posible que las ahora todavía incipientes ideas para la reforma de las recomendaciones básicas de ICRP se hayan desarrollado hasta el punto en que sea posible contribuir a darles una forma más o menos definitiva. Es también de prever que los temas pendientes relativos a la gestión de residuos radiactivos y al desmantelamiento de instalaciones estén en condiciones de generar un consenso internacional mayor que el ya existente. Los criterios para abordar el tema de las aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes, actualmente en pleno desarrollo en Europa y en otros lugares, también tendrán su tratamiento. También los aspectos relativos a la cualificación y a la acreditación de los profesionales. En todos estos aspectos y en otros muchos, la protección

radiológica española y todo lo que en torno a ella está vivo y activo tendrán una oportunidad privilegiada de hacer oír su voz y de contribuir activamente a definir y perfilar las estrategias globales para los años venideros. Es una oportunidad que no debe perderse, es una oportunidad para que todos los socios, individuales y corporativos, así como las instituciones públicas y privadas, hagan un esfuerzo especial, que sin duda producirá rendimientos del máximo interés para todos.

El futuro de la protección radiológica

Albert Einstein, en una carta escrita poco tiempo antes de morir, decía: "La distinción entre pasado, presente y futuro es sólo una ilusión, aunque persistente." No es una frase optimista. En su visión determinista de la naturaleza, el futuro está contenido en el pasado y en el presente. En una interpretación más vulgar, pero también algo más amable, el futuro, por ejemplo el de la protección radiológica, se está gestando ya, en el trabajo que tantos y tantos profesionales, en el marco de sus empresas, de sus organizaciones y de sus instituciones, llevan a cabo día a día; en sus proyectos y en sus ilusiones. También en la evolución del ambiente social en que viven, que generará demandas nuevas, exigencias y percepciones cambiantes. Pero hay algo más: La física de los procesos irreversibles, las teorías del caos, desarrolladas después de la muerte del insigne premio Nobel, que probablemente le habrían gustado todavía menos que lo poco que le gustaba la incertidumbre cuántica, van dejando bastante claro

que el futuro es esencialmente imprevisible, que no está incluido de ninguna manera computable en el pasado. Las propiedades emergentes en los cambios de fase dan cuenta, incluso al nivel básico del funcionamiento de las leyes de la naturaleza en sistemas relativamente simples, de la posibilidad de cambios insospechados. El futuro es impredecible. Y por ello mismo, se puede influir sobre él, especialmente si se aprovechan las circunstancias nuevas que surgen de manera inopinada a cada momento.

La Sociedad Española de Protección Radiológica, colectivamente y a través de los individuos y organizaciones que la forman, tiene y quiere asumir la responsabilidad de contribuir a que allí donde se utilicen radiaciones ionizantes su uso tenga lugar en condiciones óptimas de radioprotección. Está empeñada en ello. Sin desconocer las dificultades que toda tarea bien hecha conlleva, cree que puede conseguirlo con la participación de todos sus socios y siguiendo algunas líneas de actuación que podrían resumirse en lo siguiente:

- Colaboración con el C.S.N. y con los organismos de la administración que tienen competencias en protección radiológica. La relación administración-administrado ha ido cambiando y en la actualidad puede y debe articularse en torno a la idea de colaboración por encima de otras.
- Mantenimiento y desarrollo de las actividades científicas propias de la Sociedad: congresos, cursos, jornadas y seminarios. La publicación de documentos originales, pero también

la traducción de otros de especial relevancia puede ser eficaz como instrumento de transmisión de conocimientos.

- Potenciación de la protección radiológica en las áreas de investigación, docencia e industria. El apoyo a las ciencias y técnicas de las que la protección radiológica se nutre y en las que se fundamenta forma parte esencial de esa potenciación.
- Atención al caso de las aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes, con el objetivo de contribuir a armonizar de manera óptima la protección del paciente con la de los profesionales y el público.
- Presencia en los foros internacionales. La organización del próximo congreso mundial de IRPA y la participación activa en el debate sobre la evolución de las recomendaciones de ICRP son objetivos a medio plazo, que se complementan con el desarrollo de los ejes europeo e iberoamericano.
- Desarrollo de sistemas para la formación a todos los niveles, no sólo los especializados, en protección radiológica. En el caso de los profesionales, dirigido por el camino de la formación continuada asociada a la idea de acreditación.
- Divulgación de ideas, informaciones y opiniones fundamentadas en todos aquellos asuntos que tengan que ver con el uso de radiaciones y con la protección radiológica.

El futuro, impredecible pero controlable al menos parcialmente, dirá si estas ideas son correctas o no. Y también dirá en que medida somos capaces de hacerlas realidad.

Jornada sobre Investigación Nuclear

El pasado 14 de diciembre de 2000, se presentó en el Salón de Actos del Ministerio de Ciencia y Tecnología, en Madrid, una Jornada sobre Investigación Nuclear que se dividió en dos partes: 2ª Jornada del Plan Coordinado de Investigación (PCI), entre el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y la Asociación Española de la Industria Eléctrica (UNESA) y la presentación de los resultados del Comité Estratégico de I+D Nuclear (CEIDEN), iniciativa del anterior Ministerio de Industria y Energía.

El objetivo de la 2ª Jornada del PCI fue informar sobre la marcha del Plan y buscar nuevos retos y objetivos, para el mismo, a través del diálogo entre los distintos protagonistas del desarrollo de los conocimientos.

El Vicepresidente y Director General de UNESA, D. Pedro Rivero Torre, en su calidad de Vicepresidente del Comité Estratégico Paritario (CEP), hizo la presentación de la 2ª Jornada, dando paso al Gestor del PCI, D. Jesús Incinillas Martínez, que expuso el informe de situación del Plan.

En la primera mesa redonda se trató el tema de "El nuevo desarrollo de la termohidráulica nuclear", actuando como ponente D. Fernando Pelayo Loscertales (CSN) y moderando el debate D. Adolfo González de Ubieta Carasa (UNESA).

La segunda mesa redonda se centró en "La aproximación probabilista" actuando como ponente D. José María Zamarrón Casinello (UNESA-ALMARAZ) y moderando el debate D. José Ángel Azuara Solís (CSN).

Las conclusiones de esta 2ª Jornada del PCI fueron expuestas por D. Agustín Alonso, Consejero del CSN, en su calidad de Presidente del CEP.

Finalmente el cierre de la Jornada fue realizado por Dña. Carmen Becerril Martínez, Directora General de Política Energética y Minas (Ministerio de Economía). - *Jesús Encinillas.*

Resultados del CEIDEN

Coincidiendo con la revisión anual del Plan Coordinado de Investigación CSN-UNESA, el pasado 14 de diciembre se presentó en el Ministerio de Economía un avance de los trabajos llevados a cabo en el seno del Comité Estratégico de I+D en Energía Nuclear (CEIDEN).

La presentación fue efectuada por D. Félix Yndurain Muñoz, Director General del CIEMAT (Ministerio de Ciencia y Tecnología), dando paso a la mesa redonda "Plan Estratégico" que fue moderada por D. Juan Arana Landa, Subdirector General de Energía Nuclear (Ministerio de Economía).

Este Comité surge del convencimiento de todos los agentes que integran el sector nuclear (CSN, Administración, centros de investigación, universidades, empresas, etc.) de que la única forma de aunar competitividad y seguridad, en el nuevo marco regulador de la actividad energética, es a través de la investigación y el desarrollo tecnológico.

Por otro lado, la desaparición del PIE, aunque compensada en parte por el Programa Nacional de I+D Energético y el Plan Coordinado CSN-UNESA, ha supuesto una sensible reducción de los fondos para el desarrollo tecnológico de este sector, de ahí que sea necesario un mayor esfuerzo de coordinación entre las instituciones implicadas, de tal manera que se rentabilicen al máximo los fondos disponibles.

Estas razones son las que han llevado al CEIDEN a marcarse como objetivos:

- La definición de las líneas de investigación a desarrollar, y la implantación de un Plan estratégico conjunto de I+D nacional.
- El establecimiento de los esquemas de financiación de los nuevos desarrollos a abordar.
- Y facilitar el seguimiento de los Programas de I+D en desarrollo, así como efectuar recomendaciones para corregir posibles desviaciones.

- En la Jornada del día 14 se expusieron los resultados alcanzados referentes al primero de estos objetivos (la definición de las líneas de investigación a abordar). En su elaboración han participado más de cien expertos procedentes de todos los ámbitos de la tecnología nuclear, lo que quizás constituye uno de los principales valores de esta iniciativa, el carácter consensuado de las líneas propuestas.

El método de trabajo ha consistido en agrupar a los expertos alrededor de siete grandes campos temáticos y mediante el clásico análisis de puntos fuertes y débiles, amenazas y oportunidades, extraer las líneas que se consideran prioritarias para el desarrollo tecnológico del sector.

La división en siete campos temáticos responde únicamente a razones metodológicas, a sabiendas que esta, como cualquier otra agrupación que hubiera podido establecerse, presentaría problemas de solapamiento entre áreas temáticas. Las áreas analizadas fueron:

- Explotación Segura y Eficiente del Parque Nuclear.
- Seguridad Nuclear.
- Protección Radiológica y Medio Ambiente.
- Combustible Nuclear.
- Residuos y Desmantelamiento.
- Centrales Avanzadas.
- Acciones Horizontales.

En el caso concreto de Protección Radiológica y Medio Ambiente, las líneas de actuación propuestas abarcan:

- Desarrollo y mejora de métodos y técnicas para reducir las dosis operacionales.
 - Participación en programas internacionales sobre los efectos biológicos de la radiación y sobre actuaciones de rehabilitación de entornos radiactivos.
 - Desarrollo y aplicación de modelos de consecuencias radiológicas adaptadas al entorno de las instalaciones españolas.
 - Desarrollo de métodos y técnicas que faciliten la reducción de la generación de residuos.
 - Desarrollo de herramientas para la formación y gestión de emergencias.
- Aunque el trabajo presentado da cuenta, únicamente, de la primera de las tareas previstas por el CEIDEN, el hecho de que con ella se haya puesto en marcha un mecanismo de coordinación entre todos los agentes implicados en el desarrollo tecnológico del sector nuclear, constituye en sí mismo un valor

difícil de encontrar en otros ámbitos (sectores) de nuestra realidad nacional. - *Gabriel Maganto*

V Jornada sobre Resultados del Plan de Investigación del CSN

La naturaleza y modelización de los factores que afectan al medio ambiente y a las características del entorno son objeto de una investigación intensa, y a ello se han dedicado varios proyectos (Paleoclima presentado en esta Jornada, pero también Tracer; Hidrobap, Petra, Datación, Segmentación y Prior, aparte de los estudios para conocer la radiación natural en general).

Los proyectos de neutrónica y de termodinámica son más ambiciosos, que requieren en prácticamente todos los casos la incorporación a proyectos internacionales en los que se investiga, mediante instalaciones experimentales complejas. Son los proyectos CAMP, LOCA e inestabilidades en BWR, Física de Reactores, Nuevo Código Termohidráulico, Termohidráulica en Parada y Sistemas de Análisis en Operación, entre otros. Los "accidentes severos", son también objeto de investigación continua. Son, principalmente, los proyectos PHEBUS-FP, RASPLAV; MASCA; MACE; Código de Gestión de Accidentes Severos, Hidrógeno para APS N2, etc.

Cabe mencionar en el campo de la regulación orientada a los resultados de los estudios probabilísticos, importantes proyectos como HALDEN, COOPRA, APS dinámico, Precusores, Impacto de la Organización, diversas aplicaciones de APS (a ETF, a GQA, a estudios coste-beneficio). El objetivo de los estudios de alargamiento de vida de las instalaciones es la adquisición de conocimientos y la asimilación de metodologías relacionadas con el mantenimiento de la integridad de componentes y estructuras (vaina, vasija, primario y contención) y con el envejecimiento de materiales. Se encuadran en relación con esta temática, proyectos como HALDEN, VENUS 1 y 3, Integridad Estructural de la Vasija, Validación de Sistemas ISI, Sistemas Digitales, etc.

La mínima prudencia reguladora aconseja mantener un nivel de atención continua a la gestión de residuos de alta, que se concreta en dos proyectos principales, Análogos Naturales y Modelización, a los

que seguirán enseguida otros sobre indicadores de seguridad de residuos, laboratorios subterráneos y tratamientos alternativos, como es la transmutación.

En relación con la Protección Radiológica, los proyectos sobre efectos genéticos, sobre las roturas radioinducidas en el ADN, la cuantificación de los efectos biológicos para elaborar una curva respuesta y los estudios de los efectos de las radiaciones sobre las células hematopoyéticas son algunos de los proyectos que investigan los efectos básicos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos. La introducción de mejores técnicas para estimar las dosis recibidas, en especial la dosimetría interna, está recibiendo un fuerte apoyo, tanto por parte del CSN como del sector nuclear, en todos sus campos. Los proyectos de modelización del cuerpo humano, proyectos modelo pulmonar y modelo gastrointestinal, son ejemplos de esta actividad. Así mismo, la mejor caracterización de las radiaciones a que pueden estar expuestos los trabajadores, en especial, los flujos neutrónicos, reciben una atención continua para determinar con la mayor precisión sus características básicas, principalmente, su espectro energético. También son de mencionar los esfuerzos dedicados a determinar nuevos materiales sensibles a las radiaciones, como son los detectores de estado sólido, que permiten a su vez una gestión de sus lecturas en tiempo real.

El proyecto de matrices vítreas está enfocado al estudio de los mejores materiales para consolidar los residuos de media y baja en el interior de los bidones de almacenamiento, y los estudios de caracterización de la actividad residual de materiales con muy baja actividad, cuyo objetivo es estudiar la posibilidad de gestionar estos materiales, en general de mucho volumen, como residuos convencionales.

En relación con el medio ambiente, son de destacar los estudios sobre el hábito de consumo de alimentos nacionales y los estudios sobre las técnicas para la rehabilitación de suelos contaminados por un accidente o la determinación de la vulnerabilidad de los suelos mediterráneos a la contaminación radiactiva.

Un notable interés levantó la presentación del proyecto sobre Percepción del Riesgo: las evidencias empíricas de la percepción de un espectro de riesgos, el posible sesgo del décimo aniversario del accidente de Chernobyl, las diferencias de percepción y elaboración de la información de colectivos

de diferentes países, la confianza en diferentes fuentes de información; todo un área que precisa de continuidad para resolver el complejo problema de la calidad en la información a proporcionar a la sociedad y de educarla adecuadamente para su responsable participación en la toma de decisiones, tema éste de la mayor actualidad en los programas de trabajo de organizaciones internacionales como la OCDE, principalmente a través de su Agencia para la Energía Nuclear. - *José Luis Butragueño*

Foro de Protección Radiológica en el medio sanitario

El 19 de enero de 2001 se reunieron en la sede del Consejo de Seguridad representantes de este organismo y de las Sociedades Españolas de Protección Radiológica y de Física Médica para constituir un "Foro sobre Protección Radiológica en el medio sanitario". Desde el pasado Congreso de la S.E.P.R., celebrado en septiembre de 2000 en Maspalomas (Canarias), se habían mantenido diversos contactos entre el C.S.N. y las sociedades citadas, con la intención de establecer un cauce que, de manera permanente y eficaz, pudiera servir para intercambiar puntos de vista y potenciar la cooperación en el mencionado ámbito sanitario. El foro ahora constituido tendrá justamente esa función de facilitar el contacto y la colaboración entre el organismo regulador y las sociedades profesionales afectadas.

La representación del C.S.N. estaba encabezada por su Director Técnico de Protección Radiológica, D. Ignacio Lequerica, y las de la S.E.P.R. y la S.E.F.M., por sus respectivos presidentes, D. Ignacio Hernando y D. Manuel Fernández. En esta primera reunión se sentaron las bases del método de trabajo a utilizar y se seleccionaron un conjunto de temas para ser abordados por el Foro en los próximos meses.

Entre ellos se encuentran la protección radiológica de trabajadoras gestantes, la adaptación de la nueva clasificación de zonas y de personal, el vertido de efluentes, y otros hasta un total de catorce, clasificados en función de su urgencia y relevancia en las circunstancias actuales. Se pretende, para cada uno de los temas, definir objetivos concretos (como elaborar criterios específicos, establecer metodologías acep-

tables, proveer guías de aplicación, etc.) y encargar su desarrollo a grupos de trabajo constituidos al efecto.

En la reunión se puso de manifiesto el hecho de que las sociedades representadas en el foro pueden actuar como transmisoras hacia el organismo regulador de la opinión, de las preocupaciones y de las sugerencias de los profesionales que, a título individual, las componen. A su vez, dichas sociedades ofrecen utilizar su propia estructura organizativa e informativa para canalizar las propuestas y los acuerdos que se adopten en el foro hacia los servicios de protección radiológica del medio sanitario y hacia los profesionales que los componen. El Foro sobre Protección Radiológica en el medio sanitario se reunirá periódicamente, tres o cuatro veces al año.

RADIOFISICA, nueva lista de distribución para los profesionales de la Radiofísica

A continuación incluimos la útil iniciativa que ha puesto en marcha uno de nuestros socios para los profesionales que trabajan en el campo de la Radiofísica. Se trata de la lista de correo (o lista de distribución) RADIOFISICA bajo RedIris que permite la comunicación prácticamente inmediata entre multitud de profesionales (todos aquellos que estén suscritos a la lista). Para participar en ella únicamente se necesita disponer de un correo electrónico.

El funcionamiento se basa en dos principios:

- Cualquier suscriptor puede mandar cuando así lo desee un mensaje a la lista.
- El mensaje es enviado a los correos electrónicos de todos los suscriptores, de forma que se consigue la máxima difusión de cualquier información, opinión o consulta.

Desde el punto de vista de nuestro socio, se trata de la mejor forma de estar a la última en el campo profesional de que se trate; consultar de forma rápida y eficiente cualquier cuestión; dar a conocer convocatorias de congresos, cursos, becas, ofertas de empleo, etc., y mantener un intercambio de opiniones sobre diversos temas.

Aunque existen listas de distribución internacionales ya establecidas de Física Médica o Protección Radiológica, hay que tener en cuenta que determinados aspectos

- como normativa, especialidad, o desarrollo de programas de calidad son específicos de nuestro país, consideración ésta que ha llevado a nuestro lector a poner en práctica esta iniciativa esperando contar con la participación de los profesionales del sector para dar utilidad y valor al proyecto.

Se puede obtener más información consultando la página web de red iris (www.rediris.es). Para acceder a la lista RADIOFISICA y a la información sobre la misma basta con acceder al apartado "sitemap" y entrar en "listas de distribución".

La suscripción se puede realizar directamente; basta con enviar un e-mail a listserv@listserv.rediris.es sin asunto, poniendo en el mensaje: suscribe RADIOFISICA "nombre_suscriptor", escribiendo nombre y apellidos (sin comillas) en la posición indicada.

José Luis Carrasco Rodríguez. Administrador lista RADIOFISICA. Unidad de Radiofísica Hospitalaria. Hospital U. "Virgen de la Victoria" (Málaga)

<http://www.digprint.com/radiofisica>

Renovación de cargos de la Junta Directiva de la SNE

En la Asamblea General celebrada el pasado 22 de febrero tuvo lugar la renovación de cargos de la Junta Directiva de la Sociedad Nuclear Española.

Ha sido aprobada la única candidatura presentada, ya que, de acuerdo con los Estatutos, no es necesario someterla a votación. La nueva Junta Directiva está formada por:

- Presidente: Lucila Izquierdo Rocha
- Vicepresidente: Javier Villalba Sánchez
- Tesorero: Fernando Rey Moreno
- Secretario General: M. Teresa Domínguez Bautista
- Vocales: Alberto Alonso Aldama, Alfonso de la Torre Fernández del Pozo, José Luis Díaz Díaz, Rafael Herranz Crespo, Humberto Marta Gómez, Francesc Perramón Enrich, Mireia Piera Carrete, Mariano Rodríguez Aycar.

NOTICIAS de l M U N D O

IRPA-12

La Sociedad Nórdica de Protección Radiológica que agrupa a las sociedades danesa, finlandesa, islandesa, noruega y sueca ha presentado su candidatura para la organización del 12 Congreso IRPA (Asociación Internacional de Protección Radiológica) en Hensilki en la primavera del año 2007 o en el otoño de 2008 en fechas aún por determinar. Desde RADIOPROTECCIÓN deseamos a la Sociedad Nórdica todo el éxito en su candidatura.

Nueva dirección de la Web del IRPA

La Web de la Asociación Internacional de Sociedades de Protección cuenta con una nueva dirección en la Red: www.irpa.net.

Los responsables de esta Web están solicitando la opinión de las diferentes Sociedades de Protección Radiológica sobre la creación de un foro en la Web donde las Sociedades puedan participar realizando

consultas.

Boletín de ARCAL

El boletín informativo ARCAL 21 de Noviembre de 2000 (Acuerdo Regional de Cooperación para la promoción de la ciencia y tecnologías nucleares en América Latina y el Caribe) trata los siguientes temas:

- Editorial.
- Reunión del Comité de Revisión de documentos elaborados en el Proyecto ARCAL XXX.
- Proyecto ARCAL XXXVII: Intervención Médica en Accidentes Radiológicos.
- Programa de Normas de Seguridad Radiológica del Organismo Internacional de Energía Atómica.
- Federación de Radioprotección de América Latina y el Caribe (FRALC)
- Información de las Sociedades de la región.
- Proyecto Modelo: Mejoramiento de la Infraestructura en Seguridad Radiológica.
- Noticias.

Base de datos de residuos sólidos hospitalarios

El Servicio de Física Médica y Protección Radiológica del Hospital Central de Asturias dispone de una base de datos para el registro y gestión de los residuos sólidos hospitalarios de baja actividad.

Dicha base está elaborada en ACCESS y se utiliza para la gestión interna.

Si alguien está interesado en la misma puede ponerse en contacto con este servicio mediante correo electrónico a la dirección fismed@hca.es o por teléfono en el número 98 510 61 38.

Publicaciones ICRP

ICRP-82

Protección del Público ante Situaciones de Exposición Prolongada a la Radiación

Aplicación del Sistema de Protección Radiológica de la Comisión a las Exposiciones Controlables de Fuentes Naturales de Radiación y Residuos radiactivos de Periodo Largo

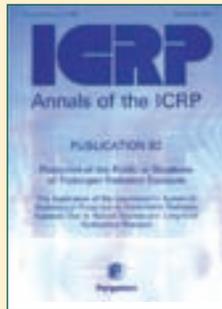
Las recomendaciones de este informe se basan en una evaluación objetiva de los riesgos a la salud de la población asociados con exposiciones prolongadas a la radiación que tengan las características de ser controlables, es decir que puedan restringirse con medidas de protección como son algunas exposiciones a la radiación natural y casi todas las exposiciones a los residuos radiactivos.

La magnitud importante para evaluar estas exposiciones prolongadas es la *dosis efectiva anual* procedente de tal exposición. Una magnitud subsidiaria utilizada en el informe es la *dosis anual existente* que es la suma de todas las dosis anuales de todas las fuentes persistentes de exposición prolongada en un habitat considerado. El informe denomina *dosis anual adicional* a la dosis anual que proviene de las prácticas. La dosis anual que se elimina mediante actividades de intervención de llama *dosis anual evitable*; mientras que *dosis anual evitable* es la dosis anual que potencialmente se puede prevenir de ser recibida mediante medidas prospectivas de intervención.

Los tres principios del sistema de protección radiológica aplican a las situacio-

nes de exposición prolongada procedentes de prácticas, es decir la justificación, la optimización y la limitación de dosis.

La Comisión sigue recomendando que el



máximo valor de la restricción de dosis aplicable a una sola fuente sea menor de 1 mSv/año, sugiriendo un valor apropiado de 0,3 mSv/año. Cuando se den situaciones conjuntas de expo-

siciones prolongadas y transitorias o un incremento a lo largo del tiempo de las exposiciones prolongadas de una fuente, la restricción de dosis recomendada se reduce a 0,1 mSv/año.

En cuanto a límites de dosis, la Comisión sigue recomendando un valor de 1 mSv/año para la suma de las exposiciones prolongadas y transitorias procedentes de prácticas reguladas.

En cuanto a intervenciones, los principios de justificación y optimización son de aplicación. Las autoridades nacionales deberán *fixar niveles específicos de referencia* tales como *niveles de intervención*, *niveles de acción* y *niveles de exención para la intervención* para las situaciones de exposición prolongada que puedan reducirse mediante la intervención. También se recomienda el uso de *niveles genéricos de referencia* expresados en términos de la dosis anual existente.

Una dosis existente anual de 10 mSv o menor es utilizada como nivel genérico de referencia por debajo de la cual no se justifican actuaciones de intervención para exposiciones prolongadas. Por encima de este valor la intervención debe justificarse caso a caso. Y por encima de una dosis existente anual de 100 mSv la intervención esta casi siempre justificada..

Una situación de exposición prolongada es la presencia de radionúclidos de periodo largo en artículos de consumo. Para estos casos se definen unos niveles genéricos de exención para la intervención estandarizados para todo el mundo de 1 mSv al año de dosis individual procedente de un artículo de consumo predominante como puede ser los materiales de construcción.

Las exposiciones prolongadas deberán estimarse en base a la dosis media anual al grupo crítico, aunque muchas veces sea mas fácil estimar la dosis de un individuo identificado como el mas expuesto.

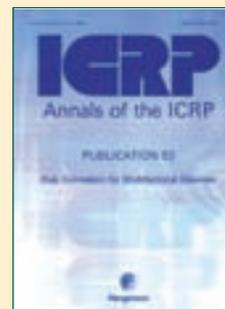
ICRP-83

Estimación del Riesgo para Enfermedades Multifactoriales

Esta publicación analiza los datos sobre enfermedades multifactoriales de naturaleza espontánea y desarrolla un modelo matemático para predecir el impacto de las mutaciones radioinducidas sobre la frecuencia de este tipo de enfermedades en la población. Entre este tipo de enfermedades cabe destacar algunas malformaciones congénitas de la médula espinal o cardiovasculares o la fisura del paladar y enfermedades crónicas como las enfermedades del corazón, la hipertensión y la diabetes mellitus.

Estas enfermedades no se explican sobre la base de los modelos mendelianos de la herencia. El informe trata estos conceptos y los modelos utilizados para explicar los patrones de la herencia de las enfermedades multifactoriales, con un énfasis particular en el modelo de umbral multifactorial (MUM) de la propensión para estas enfermedades. El modelo MUM es útil para predecir el riesgo de los familiares de aquellos afectados en base a la frecuencia observada en la población. En estas predicciones la capacidad de heredar (h^2) proporciona una medida de la importancia relativa de los efectos genéticos transmisibles en la variación general del fenotipo.

El informe trata las diferencias conceptuales entre las enfermedades mendelianas y multifactoriales. La base genética de la enfermedad multifactorial es que un individuo genéticamente suscep-



tible puede desarrollar o no la enfermedad dependiendo de la interacción de un número de factores de riesgo, tanto genéticos como ambientales. Se analizan en detalle tres en-

enfermedades multifactoriales, la diabetes mellitus, la hipertensión y la enfermedad coronaria. El informe analiza sucintamente los modelos mecanicistas desarrollados para explicar la variación poligénica. La conclusión básica es que los conceptos de propensión y umbral junto con el balance entre selección-mutación proporcionan los elementos para desarrollar un modelo de estimación del impacto de las mutaciones radioinducidas sobre la frecuencia de las enfermedades multifactoriales.

El componente mutacional (CM) de las enfermedades genéticas cuantifica la respuesta del componente genético de la enfermedad ante un aumento de la tasa de mutaciones (pe tras una exposición a la radiación). El informe integra los conceptos de propensión y umbral y el de equilibrio mutación-selección en un Modelo Umbral de Locus Finito (MULF) para estimar el CM de las enfermedades multifactoriales y la relación entre C_m y h^2 de estas enfermedades. Finalmente el informe estima la magnitud del riesgo radiológico para las enfermedades multifactoriales. Sin embargo la revisión de los factores de riesgo de la *Publicación 60* tanto para las enfermedades multifactoriales como mendelianas debe esperar los resultados de estudios actualmente en marcha. Y mientras que las estimaciones futuras del riesgo genético serán probablemente menores que las actuales, hasta que las primeras no estén disponibles, a efectos de protección radiológica, las de la *Publicación 60* del ICRP son adecuadas puesto que es muy improbable que subestimen los riesgos.

ICRP-84 Radiación Médica y el Embarazo

Miles de pacientes embarazadas y trabajadoras están expuestas todos los años a las radiaciones ionizantes. Sin embargo la falta de una adecuada información es la responsable de una gran ansiedad y probablemente de la terminación prematura de muchos embarazos.

Las dosis prenatales de la mayoría de los procedimientos de diagnóstico adecuadamente realizados no incrementa de forma medible el riesgo de muerte prenatal, malformaciones o retraso mental sobre la incidencia natural de estas

causas. Dosis mayores como las de los tratamientos terapéuticos pueden dar lugar a daños considerables al feto.

La paciente embarazada o la trabajadora, tienen derecho a conocer la magnitud y tipo de efectos potenciales a la radiación que resultan de una exposición en el útero. Casi siempre, si un examen radiológico de diagnóstico ha sido indicado por el médico, el riesgo para la madre de no hacerlo es mayor que el riesgo de daño potencial al feto. La mayoría de los procedimientos de medicina nuclear no ocasionan dosis altas al feto; salvo algunos radiofármacos de los utilizados en medicina nuclear.

Es importante asegurarse cuando una paciente está embarazada antes de un tratamiento de radioterapia. En mujeres embarazadas, los cánceres que están alejados de la zona pélvica pueden ser tratados con radiaciones; aunque ello debe ser cuidadosamente planificado.

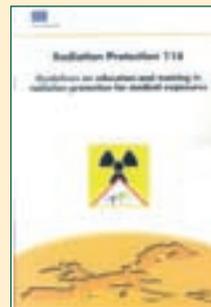
Los cánceres en la pelvis no pueden ser adecuadamente tratados con radiaciones durante el embarazo por el riesgo que conllevan de consecuencias graves o letales al feto.

Los fundamentos del control de la exposición ocupacional de las mujeres no embarazadas son los mismos que los del hombre. Sin embargo, si la mujer está o puede estar embarazada se tienen que tener en cuenta controles adicionales para proteger al feto. En muchos países, la exposición a la radiación de mujeres embarazadas en la investigación médica no está prohibido. Sin embargo, su participación en tales investigaciones es muy rara y debería por tanto desaconsejarse.

El fin del embarazo es una decisión individual que se ve afectada por muchas consideraciones. Dosis al feto inferiores a 100 mGy no deberían ser consideradas como una razón para abortar. Para dosis mayores, la decisión que se adopte con toda la información disponible, dependerá de las circunstancias individuales de los afectados.

Radiation Protection 116

Radiation Protection 116: Guidelines on education and training in radiation protection for medical exposures, es una guía recientemente publicada por la



Comisión Europea que proporciona recomendaciones sobre programas de formación en Protección Radiológica. La guía proporciona recomendaciones generales pero también trata de forma especial la

formación en Protección Radiológica en escuelas de medicina, formación tras la implantación de nuevas técnicas, formación específica en radiología intervencionista, mamografía, radiología pediátrica y medicina nuclear pediátrica.

Protección de pacientes en exámenes TAC

Se ha publicado la versión provisional del documento "Managing Patient Dose in Computed Tomography" por el Grupo de Trabajo de Task Group of ICRP Comité número 3. Este documento trata la protección de pacientes en exámenes de TAC.

El documento es descargable gratuitamente en la dirección de internet:

<http://www.icrp.org/pdf/Ctdose.pdf>.

La motivación de ICRP para elaborar este documento es dotar de medios para controlar las dosis relativamente altas que se imparten en estudios de TC, una técnica que cada vez supone un porcentaje mayor de los exámenes y de las exposiciones médicas.

En el capítulo 2 se definen las magnitudes a utilizar en la evaluación de dosis a pacientes, los factores que influyen en dicha dosis y se dan valores típicos de dosis a pacientes obtenidos del documento de UNSCEAR 2000 y de otras publicaciones.

En el capítulo 3 se trata el difícil problema de las acciones prácticas para reducir las dosis en estudios de TC.

Se analiza la influencia de los distintos parámetros técnicos del examen en la dosis, se hace especial mención a la justificación del procedimiento y se explica que más del 50% de la dosis a los pacientes podría reducirse con una apropiada elección de los parámetros técnicos de examen, un mayor hincapié

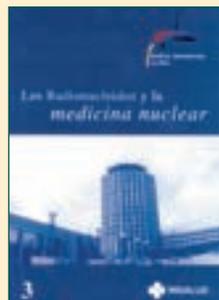
en el control de calidad y la aplicación de niveles de referencia.

En el capítulo 4 se analiza la influencia de los nuevos sistemas para reducción de dosis a pacientes en TC tales como los controles automáticos de exposición para TC, la elección adecuada de parámetros para TC espiral, la influencia de corriente adaptada a la anatomía del paciente, filtración, indicación de parámetros dosimétricos en el propio equipo como CTDI o DLP, etc.

Por último, en un apéndice se define las magnitudes fundamentales de dosimetría en estudios de TC y se dan niveles de referencia (CTDI ponderado y DLP) para los tipos de estudios más frecuentes tanto para adultos como para niños.

Se trata, en fin, de un documento bastante completo que sin duda será muy útil a todos los interesados en el tema.

Los Radionucleidos y la medicina nuclear



Edita: Hospital Universitario "La Paz". Gabinete de Comunicación
 Dionisio Lasa, Químico y Tutor de la Unidad Docente de Radiofarmacia del Hospital Universitario "La Paz", Patricia Barturen y Antonio Moreno,

Químicos y Residentes de la citada Unidad Docente, han realizado esta obra de indudable interés para los que desarrollan su actividad profesional en los campos de la Radioquímica y la Radiofarmacia en su conexión con la Medicina Nuclear.

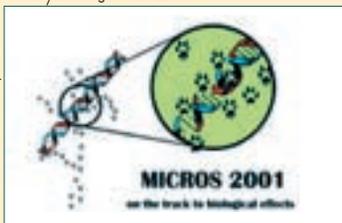
Se inicia esta publicación describiendo los procedimientos de obtención de los diferentes radionucleidos que se utilizan en Medicina Nuclear, a partir del Reactor Nuclear y del Ciclotrón. Seguidamente se describen los generadores de radionucleidos con especial atención al generador $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, de singular importancia en el desarrollo de la Medicina Nuclear. El último capítulo se dedica a la Química del Tc, facilitando así el conocimiento estructural de los diferentes radiofármacos $^{99\text{m}}\text{Tc}$ que se utilizan en la Medicina

CONVOCATORIAS

Nuclear.

• 13th Symposium on Microdosimetry and 5th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular and Radiation Response.

Stresa (Lago Maggiore) Italy.
 26 Mayo- 1 Junio 2001.



En
 es-

t e

Congreso interdisciplinar se tratarán temas relacionados con calidad de la radiación, mecanismos moleculares, efectos celulares y consecuencias sobre la salud de niveles bajos de radiación ionizante.

Organizado por: European Commission, Research Directorate-General, Belgium; Laboratori Nazionali di Legnaro, Italy; Università degli Studi di Milano, Italy y Medical Research Council, UK.

Más información en la página Web: http://sunlnl.inl.infn.it/~micros01/MICROS_2001.html

• 2nd International Conference on The Effects of Low and Very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health

Dublín, 27-29 Junio 2001

El World Council of Nuclear Workers, el Dublin Institute of Technology y el Radiation & Environmental Science Centre son los organizadores de este importante evento científico que se celebrará en el Dublin Institute of Technology de Dublín el próximo mes de junio.

La protección radiológica y los efectos de las dosis de baja y muy baja radiación en la salud del hombre son temas que se debatirán en profundidad en esta Conferencia Internacional. El objetivo del congreso es arrojar luz sobre estos planteamientos, evaluar el riesgo asociado a la exposición a las dosis de baja y muy baja radiación, y analizar las vías científicas a través de las cuales estas incertidumbres pueden ser reducidas.

- Profesor Carmen Mothersill
- WONUC – DUBLIN Conference
- Dublin Institute of Technology
- Fitzwilliam House
- 30 Pembroke Street – Dublin 2 – Ireland
- E-mail: fiona.lyng@dit.ie
- Más información: <http://resc.dit.ie>

• 2^o Congreso Iberoamericano y del Caribe de Física Medica

- Isla de Margarita (Venezuela).
- 16-19 Octubre 2001
- Fecha límite para presentar resúmenes: 30 de mayo.
- Otras fechas límite: 30 de junio (notificación de aceptación de trabajos), 30 julio (cancelación total de la inscripción) y 30 agosto (registro para Cursos Pre-Congreso)
- Los Cursos que se llevarán a cabo entre el 8 y el 12 de octubre son: Control de Calidad de los Aspectos Físicos de la Dosimetría Clínica y Diagnóstico por Imágenes.
- Precios de inscripción hasta la fecha límite: 850\$ (miembros de ALFIM), 1500\$ (no miembros) y 500\$ (estudiantes).
- Mas información:
- Federico Gutt (Presidente del Congreso), fgutt@pion.ivic.ve, o visitar la página web del Congreso:
- www.taquion.ivic.ve/2CongresoALFIM/

Fe de Erratas

En la página 4 del número 26 del pasado mes de diciembre de nuestra revista se incluyeron dos datos incorrectos. En el currículum de Pedro Carboneras se hablaba de "su amplia experiencia en seguridad nuclear, protección radiológica y gestión de recursos..." cuando en realidad debería figurar "gestión de residuos". Por otra parte, en el currículum de Belén Fernández se indicaba que "desde 1985 es Jefe del Servicio de Física Médica y Protección Radiológica del Hospital Central de Asturias", cuando la fecha real es 1995.