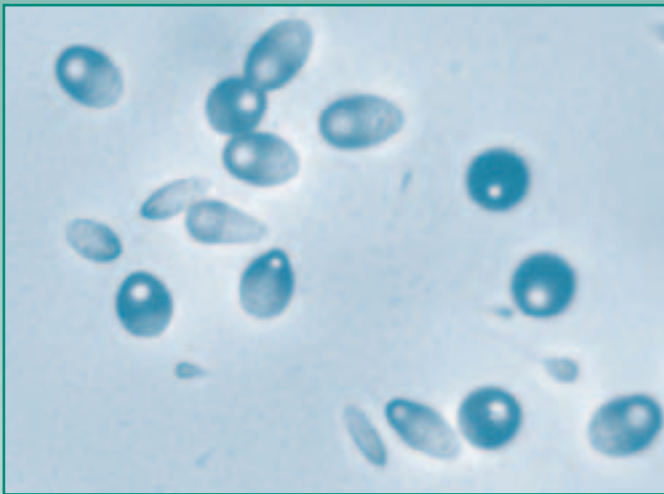


RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



- ▲ *Variación de la dosis superficial en Tomografía Computarizada*
- ▲ *Método de resolución analítica de modelos biocinéticos con un gran número de compartimentos. Aplicación a la solución de los modelos de la ICRP 66 y 78*
- ▲ *Modelos biocinéticos de radionucleidos en animales de experimentación*

Nº 35 • Vol. X • 2003



**SOCIEDAD
ESPAÑOLA
DE PROTECCIÓN
RADIOLÓGICA**

www.sepr.es

Secretaría Técnica

Capitán Hoya, 6 - 28020 Madrid
Tel.: 91 749 95 17 - Fax: 91 749 95 03
Correo electrónico: secretaria.sociedades@medynet.com

Junta Directiva

Presidente: *Pedro Carboneras.*
Vicepresidente: *José Gutiérrez.*
Secretario General: *Ramón Almoquera.*
Tesorero: *Eduardo Gallego.*
Vocales: *Francisco Carrera, Belén Fernández, Eugenio Gil, Pablo Gómez, Paloma Marchena.*
Vicepresidente para el Congreso IRPA 11: *Leopoldo Arranz.*

Comisión de Asuntos Institucionales

Leopoldo Arranz, David Cancio, Pío Cármena, Manuel Fernández Bordes, Ignacio Hernando, M^a Teresa Macías, Xavier Ortega, Juan José Pena, Manuel Rodríguez, Eduardo Sollet.
Responsable: *Pedro Carboneras.*

Comisión de Actividades Científicas

Josep Baró, Cristina Correa, Natividad Ferrer, Fernando González, Fernando Legarda, M^a Teresa Macías, Patricio O'Donnell, Pilar Olivares, Rafael Ruiz, José Carlos Saez.
Responsable: *José Gutiérrez.*

Comisión de Normativa

M^a Luisa Chapel, M^a Luisa España, Mercè Ginjaume, Isabel Gutiérrez, Araceli Hernández, M^a Jesús Muñoz, M^a Teresa Ortiz, Turiano Picazo, Eduardo Sollet.
Responsable: *Ramón Almoquera.*

Comisión de Comunicación y Publicaciones

Luis Corpas, Beatriz Gómez-Argüello, José Gutiérrez, Olvido Guzmán, Pilar López Franco, M^a Teresa Macías, Carlos Prieto, Almudena Real, Eduardo Sollet.
Responsable: *Paloma Marchena.*

Comisión de Asuntos Económicos y Financieros

Mercedes Bezares, Pío Cármena, Jesús de Frutos, Marisa Marco, Patricio O'Donnell, María Teresa Ortiz.
Responsable: *Eduardo Gallego.*

RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Directora: *Pilar López Franco*
Coordinadora: *Almudena Real*

Comité de Redacción

Agustín Alonso, Beatriz Gómez-Argüello, Paloma Marchena, Matilde Pelegrí, Carlos Prieto, Carmen Roig, Ángeles Sánchez, M^a Luisa Sánchez-Mayoral y Marina Tellez de Cepeda.

Comité Científico

Presidente: *Agustín Alonso*
D. Cancio, L. Corpas, F. Cortes, A. Delgado, L. Domínguez, E. Gil, L. González, A. Hernández, I. Hernando, R. Herranz, I. Lequerica, M^a T. Macías, L. Martín, X. Ortega, P. Ortiz, T. Ortiz, T. Picazo, R. Puchal, L. Quindós, R. Ruiz, G. Sánchez, V. Serradell, E. Sollet, L. Tobajas, A. Úbeda, E. Vaño

Realización, Publicidad y Edición: SENDA EDITORIAL, S.A.

Directora: *Matilde Pelegrí*
Isla de Saipán, 47 - 28035 Madrid
Tel.: 91 373 47 50 - Fax: 91 316 91 77
Correo electrónico: senda@sendaeditorial.com

Imprime: Publicequipo.

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



EDICIÓN MARZO 2003

S U M A R I O

• Editorial	3
• Noticias	4
- de la SEPR	4
- de España	37
- del Mundo	40
• Colaboraciones	9
- Variación de la dosis superficial en Tomografía Computarizada	9
<i>P. Avilés, I.A. Castellano, D.R. Dance, E. Vañó y C. Prieto.</i>	
- Método de solución analítica de modelos biocinéticos con un gran número de compartimentos. Aplicación a la solución de los modelos de la ICRP 66 y 78	16
<i>G. Sánchez.</i>	
- Modelos biocinéticos de radionucleidos en animales de experimentación	21
<i>M.A. Morcillo.</i>	
• Proyectos de Investigación	33
• Publicaciones y Convocatorias	43

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

RADIOPROTECCIÓN • Nº 35 Vol X 2003

Editorial

De un modo apenas percibido, nos aproximamos ya al Ecuador del periodo de mandato de la actual Junta Directiva, y la verdad es que el espíritu se mantiene firme y la ilusión por seguir haciendo cosas, intacta. En el editorial del número 33, se describía lo que iban a ser las orientaciones básicas de sus actividades. Conviene quizás volver a recordar algunas de las ideas que allí se apuntaban y adecuar los mensajes a la evolución de la situación desde entonces.

En lo que a la participación de los socios se refiere, el esfuerzo realizado ha sido grande y ciertamente pueden constatare algunos resultados claramente visibles, tales como la asistencia a jornadas, la vitalidad de la página electrónica y de la Revista, el funcionamiento de las comisiones, etc. Sin embargo, no podemos sentirnos todavía totalmente satisfechos, y debemos seguir alentando a todos los socios a incorporarse a las actividades de la SEPR, de la manera que cada uno considere adecuada, e insistir en los "Grupos Temáticos", cuyo modo básico de operar se describió en el mismo número 33 de la Revista y cuya realidad es aún "manifiestamente mejorable". A pesar de resultar repetitivo, debe recordarse esa idea tan básica de que la SEPR no será más, ni menos, que lo que quieran sus socios, esto es, vosotros.

Respecto al Congreso Internacional IRPA-11, las noticias más recientes no pueden ser más gratificantes. El Congreso cuenta ya con la declaración oficial de "interés sanitario", y su Majestad el Rey de España ha aceptado la Presidencia del Comité de Honor. Cuando esta Revista esté en vuestras manos, el segundo anuncio con todos los detalles del Congreso bien definidos estará ya en la calle, y, en paralelo, una página electrónica bien estructurada y ágil estará plenamente operativa. El reconocimiento de la Junta Directiva para los muchos socios que están dedicando un esfuerzo notable a este evento.

En cuanto al posicionamiento institucional de la SEPR, la situación sigue siendo muy gratificante y un gran incentivo. Se mantiene la vitalidad y operatividad del foro con el CSN, junto con nuestra "sociedad hermana" (SEFM), con quien estamos empeñados en estrechar lazos. Es creciente el contacto con las autoridades sanitarias, y la SEPR ha sido invitada a participar, junto con la SEFM, en diversas iniciativas recientes, tales como la Ponencia de PR del Comité Interterritorial del SNS, la participación en el Comité de Seguimiento del SIPREM, la asistencia a la presentación del Proyecto de Ley de Cohesión y Calidad, etc. Continúa también la colaboración con la SNE, y se reciben, sistemática y permanentemente, invitaciones para participar en actos y eventos planificados por diversas organizaciones nacionales e internacionales de relieve, entre los que cabe destacar los que celebran este año las Reales Sociedades Españolas de Física y Química en su centenario. De todas estas actividades se puede encontrar información puntual y actual en la página electrónica y también en la Revista.

Como resultado quizás de esta buena presencia y colaboración, se acaban de firmar con el CSN, junto con la SEFM, unos acuerdos para acometer la realización de actividades formativas en materia de protección radiológica en el ámbito sanitario (en esta misma Revista se pueden ver más detalles). Asimismo, prosigue la traducción al castellano de documentos del OIEA, también como respuesta a una petición del CSN, que responde a su compromiso de prestar un servicio a los Organismos Reguladores de los países de habla hispana.

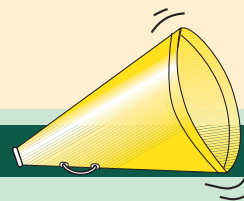
Respecto a los planes para el futuro inmediato, lo más relevante es la preparación del Plan de Actividades de 2003, que está ya ultimado y sobre el que se ofrece información detallada en la página electrónica. Como datos más destacados se mencionan la "Conferencia Internacional sobre Formación en Protección Radiológica y Estrategias de Futuro", que organiza para septiembre de 2003 el CIEMAT, con la colaboración, entre otros, de la SEPR, y la celebración de la Asamblea General preceptiva, prevista también para esas fechas. De igual modo, se desea recordar el Congreso Regional IRPA, a celebrar en Lima (Perú) en noviembre de 2003 y en el que nuestra Sociedad, a través del GRIAPRA, colabora y participa de un modo especialmente activo. Desde aquí queremos animar a todos a participar en estas actividades, según las áreas de interés de cada uno.

Este número de la Revista contiene tres interesantes artículos científicos, todos ellos de autores nacionales, que recogen la experiencia y la labor de investigación de algunos de nuestros socios y que tendrán, sin duda, un interés directo para diversos colectivos de los profesionales de la protección radiológica. Dos de ellos se refieren a la dosimetría interna, aunque desde perspectivas bien distintas: uno se centra en los modelos biocinéticos, y el otro trata de ofrecer una panorámica general sobre la aplicación de métodos experimentales en este campo. El tercer artículo recoge los resultados directos de experiencias realizadas para la valoración de la dosis superficial en Tomografía Computarizada.

A través de la lectura atenta del contenido del presente número de la Revista, se puede observar la consolidación del espíritu de apertura y esfuerzo que han adoptado los miembros del nuevo equipo, que se ve incluso incrementado con la nueva sección que ahora comienza, con el título de "La Junta Directiva informa".

El agradecimiento de la Junta Directiva a todos los que hacen posible que cada pocos meses podamos tener esta Revista, y nuestro impulso más decidido a todos los socios a que sigan participando en ella.





La Junta Directiva Informa

CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL CSN Y LAS SEFM Y SEPR

• Como es conocido por los socios, en los últimos años viene operando un "foro de trabajo" entre el Consejo de Seguridad Nuclear y las SEFM y SEPR, en el que se debaten aspectos de interés común sobre la aplicación del sistema de protección radiológica en el ámbito sanitario. Esta iniciativa ha producido ya importantes resultados visibles de interés directo y se mantiene plenamente activa, con nuevas iniciativas y proyectos que están acometiéndose en la actualidad. De todo ello, se informa puntualmente a los socios de ambas Sociedades.

• Aprovechando la existencia de dicho foro, el CSN expresó su interés en que ambas Sociedades pudieran llevar a cabo actividades de carácter formativo e informativo en materia de protección radiológica, con diversos objetivos. Esta idea forma parte de un ambicioso proyecto del CSN para extender, de forma muy sustancial, información solvente y rigurosa en materia

de protección radiológica a diversos colectivos "no especialistas", pero con incidencia directa en el tema. Las actividades a realizar dentro de este proyecto serían financiadas por el CSN, y se realizarían en base a Acuerdos o Contratos con los responsables de su ejecución.

• Las SEFM y SEPR recibieron de forma muy positiva la iniciativa y en los últimos meses se han realizado diversas acciones de bastante entidad, siempre en contacto directo con los responsables técnicos en el CSN, que han culminado recientemente con las dos actuaciones siguientes:

1. Firma el 26-11-02 de un "Convenio Marco de Colaboración CSN/ SEPR/SEFM", que define las condiciones generales que regirán en el desarrollo de actividades acordadas entre las tres organizaciones.
2. Finalización del texto de un "Acuerdo Específico de Colaboración CSN/SEPR/ SFM, sobre

formación básica de profesionales implicados en la prescripción del uso de radiaciones ionizantes en el medio sanitario". El texto del "Acuerdo Específico" incluye una memoria técnica y un presupuesto, y está siendo evaluado por el CSN para su eventual aprobación en los primeros meses de 2003, presumiblemente.

El proyecto a desarrollar por las SEFM y SEPR en base a este Acuerdo Específico nº 1, tendría una duración de dos años y un alcance muy ambicioso, e incluye tanto la producción de información en diversos formatos, como la realización física de actividades informativas y formativas, a nivel de todo el Estado. De resultar aprobado, supondría un reto considerable para la operatividad de nuestras Sociedades, aunque un reto ciertamente ilusionante y por el que merecerá la pena trabajar, contando con la colaboración de nuestros socios.

Jornada Técnica sobre: La Vigilancia Médica a Profesionales Expuestos a Radiaciones Ionizantes

El pasado 16 de diciembre se celebró la jornada sobre "La Vigilancia Médica a Profesionales Expuestos a Radiaciones Ionizantes", organizada conjuntamente por la SEPR y la SNE con la colaboración del Hospital Universitario Ramón y Cajal. El número de asistentes a la misma fue del orden de cien.

La jornada, coordinada por Belén Fernández, se estructuró en dos sesiones de tres ponencias cada una y un coloquio final.

• La primera sesión, comenzó con la ponencia del Dr. Rafael Herranz, jefe de Servicio del Centro de Nivel 2 del Hospital Gregorio Marañón de Madrid, quien describió ampliamente la cartera de servicios del Centro de Radiopatología y Radioprotección que coordina y las líneas de actuación tanto en casos de irradiación externa como de interna, en caso de superación

• de los límites de dosis así como los medios utilizados en emergencias radiológicas.

• La siguiente ponencia con el título: "Confidencialidad y Custodia de los Historiales Médico-Laborales de Trabajadores Expuestos a Radiaciones Ionizantes" fue expuesta por Dña. Isabel Herranz, abogado especialista en derecho sanitario, quien hizo una reflexión



De izquierda a derecha: Belén Fernández, Julián Pérez Gil, Lucila Izquierdo y Pedro Carboneras.

detallada sobre la vigilancia médica en el Reglamento 783/2001 de 6 de julio, sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, así como de las regulaciones complementarias. Se habló de la confidencialidad de los historiales clínico-laborales y de la custodia de los historiales médicos planteando una serie de cuestiones de debate.

La sesión concluyó con la exposición del Dr. G^o Escandón, jefe de la Unidad Médica de Unesa, que trató ampliamente temas tales como: actividades, trabajadores y casos en los que debe aplicarse el protocolo de vigilancia de radiaciones ionizantes, así como del contenido de dicho protocolo y de los criterios de valoración en caso de superación de los límites de dosis.

En la segunda sesión, D. Carlos Pintado, abogado laboralista, experto en Derecho Sanitario, retomó los aspectos más relevantes de la legislación de referencia para esta jornada, subrayando el tema de que conceptos técnicos habituales entre los expertos en protección radiológica como por ejemplo "muy improbable", no son fácilmente asumibles en términos legales, recomendando la elaboración por parte de las sociedades científicas y los expertos cualificados, de protocolos que puedan ser aplicados en situaciones de conflicto como juicios o demandas.

El Dr. Juste, jefe del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales del Hospital Universitario Ramón y Cajal, bajo el lema "Protejamos al Gerente", como responsable del cumplimiento de las citadas leyes, habló de la necesidad de formación teórica y práctica de los trabajadores en materia preventiva y de la documentación de los historiales dosimétricos de los trabajadores de la categoría A. Destacó su opinión sobre "riesgo cero" para las mujeres embarazadas.

Finalmente, D. Ignacio Hernando, jefe del Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica del Hospital Universitario Río Hortega (Valladolid), hizo un resumen histórico del marco del "Sistema de Protección Radiológica", destacando la exigencia de colaboración entre los/as SPR/UTPR y los servicios de Prevención de Riesgos Laborales y la coordinación de actuaciones en la clasificación de los trabajadores, aten-

ción de gestantes (con alusión al documento, en prensa preparado por el Foro CSN-SEPR-SEFM) y la certificación médica de supervisores y operadores entre otros.

En resumen, se abordó la legislación al respecto desde ángulos diferentes, destacando la confidencialidad de los datos de los historiales médicos, la necesidad de protocolos técnicos de referencia para jueces y abogados y el problema de las gestantes con la controversia del "riesgo cero" frente a la alternativa de aceptación voluntaria de puestos de trabajo, compatibles con la legislación, pero teniendo en cuenta las condiciones psicológicas de las trabajadoras.

El coloquio, moderado por Dña. Carmen Martínez Ten, consejera del CSN, quien clausuró la jornada, condujo a un interesante debate con gran participación de asistentes y ponentes.

Belén Fernández
Junta Directiva

Jornada sobre: "Sistema de protección radiológica para la protección del medio ambiente"

El pasado 15 de enero se celebró en el CIEMAT la Jornada sobre el sistema de protección radiológica para la protección del medio ambiente, en la que participaron como ponentes el Dr. Lars-Erik Holm, Vicepresidente de ICRP y Presidente del grupo de trabajo ICRP de Protección del medio ambiente y el Dr Carl-Magnus Larsson Coordinador del proyecto europeo FASSET.

El Dr. Holm en su conferencia sobre la protección del medio ambiente, expuso la postura de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, sobre la necesidad de integrar en el actual sistema de protección radiológica criterios específicos que aseguren la protección del medio ambiente frente a radiaciones ionizantes, sobre todo en aquellas situaciones en las que el actual sistema de PR no garantizaría la protección de especies distintas al hombre. Como coordinador del Grupo de trabajo de ICRP, que trata la protección del medio ambiente, el Dr. Holm informó sobre el documento, aún en fase borrador, que ha elaborado dicho

Grupo, documento que será presentado muy pronto a la Comisión Principal de ICRP para su aceptación.

La segunda conferencia, impartida por el Dr. Carl-Magnus Larsson, se centró en el proyecto europeo, actualmente en curso denominado FASSET (Framework for Assessment of Environmental Impact). Se presentó la estructura del proyecto, sus objetivos y algunos de los resultados más destacables alcanzados hasta el momento. El Dr. Larsson informó sobre una Conferencia Internacional, organizada por el OIEA, sobre la protección del medio ambiente que tendrá lugar el próximo mes de octubre en Estocolmo (Suecia).

La Jornada finalizó con un interesante debate que contó con una gran participación de los asistentes, lo que refleja el interés despertado por el tema tratado.

Hay que agradecer muy efusivamente a los ponentes el hecho de haber permitido que la SEPR ponga en su página electrónica ambas ponencias, para que puedan ser consultadas por todos los socios (<http://www.sepr.es>)

Comité de Redacción

Normas para el envío de contenidos para las actualizaciones de la página web de la SEPR

• Todos los contenidos se enviarán a la dirección de e-mail:

secretaria.sociedades@medynet.com

• Se deberá especificar la sección al que pertenece cada envío (Actividades SEPR, Noticias, Convocatorias, Publicaciones, Revista Radioprotección, Congreso IRPA 11, Enlaces).

• En los envíos para la sección de **Convocatorias** se deberá reflejar: Título, Organizador, Fecha, Lugar y Conexión de información o Documento adjunto.

• En los envíos para la sección de **Noticias** se deberá reflejar: Titular de la noticia, y Contenido o Documento adjunto.

• En los envíos para la sección de **Publicaciones** se deberá reflejar: Título, Editorial (o, en su caso, Organización que promueve la publicación), imagen de la portada (preferiblemente en formato jpg a 72 ppp) y Conexión de consulta de la publicación.

Variación de la dosis superficial en Tomografía Computarizada

Avilés Lucas P.^(1, 2), Castellano I.A.⁽³⁾, Dance D.R.⁽³⁾, Vañó Carruana E.^(1, 2), Prieto Martín C.⁽²⁾

(1) Dpto. de Radiología, Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid.

(2) Servicio de Física Médica, Hospital Clínico San Carlos, Madrid

(3) Physics Department, The Royal Marsden NHS Trust, United Kingdom.

RESUMEN

En este trabajo hemos realizado un estudio experimental de las variaciones del producto del kerma en aire por longitud en la superficie de maniqués irradiados en un escáner de TC empleando parámetros clínicos. El efecto del tamaño y posición del paciente así como del filtro de forma fue estudiado empleando tres maniqués elípticos. También fue investigada la técnica de reducción de la dosis basada en un sistema de modulación sinusoidal de la corriente. El resultado de la variación en la dosis superficial ha sido también analizado en procedimientos intervencionistas de fluoroscopia en TC.

El producto del kerma en aire por la longitud fue independiente del tamaño del maniqué (dentro del error experimental) decreciendo con la distancia vertical al isocentro. La contribución principal a esta variación es el filtro de forma. Un resultado indirecto de esta conclusión en exámenes de fluoroscopia en TC, es que la dosis superficial puede ser fácilmente subestimada si empleamos el maniqué estándar de cuerpo de la AAPM (aumento del 36% en el maniqué de cabeza), lo que resalta la importancia de considerar el tamaño y posición del paciente. Finalmente, la modulación de la corriente de tubo causó una reducción máxima en la dosis superficial del 18%.

INTRODUCCIÓN

La tomografía computarizada (TC) es una técnica diagnóstica que se estima responsable del 34-45% de la dosis total colectiva de todos los procedimientos diagnósticos en Europa [1-6] aunque solo represente del 3 al 5% aproximadamente de todos los exámenes diagnósticos. Esta modalidad del diagnóstico ha tenido importantes avances en la última década en el desarrollo de la tecnología de los detectores, la reducción en el tiempo de ex-

posición y en las técnicas de reconstrucción de la imagen [7]. Estos progresos han permitido el desarrollo de aplicaciones como la dirigida al campo de los procedimientos intervencionistas en los que la dosis a los pacientes es especialmente alta. En este artículo haremos un particular énfasis en la aplicación de los resultados de este estudio a la fluoroscopia en TC.

Uno de los requisitos fundamentales de los procedimientos de fluoroscopia en TC es que las imágenes se recons-

ABSTRACT

An experimental study has been made of the variations of the air kerma-length product at the surface of a phantom exposed in a CT scanner using clinical parameters. The effect of patient size, position within the gantry plane and beam-shaping filter type was studied using three different elliptical phantoms. A dose reduction technique based on a sinusoidal tube current modulation system was also investigated. The result of the variation of the surface dose was analysed for the case of CT fluoroscopy procedures.

The surface air kerma-length product was shown to be independent of phantom size (within experimental error) but decreases as the surface moves vertically away from the isocentre. The major contributor to this variation is the beam-shaping filter. The possibility of underestimating the surface dose if an AAPM body phantom is used (a 36% increase for the head phantom) is an indirect result of the previous conclusion when applied to CT fluoroscopy. This highlights the importance of considering the size and position of the patient when measuring the dose.

Finally, when the tube current modulation system was used, the maximum surface dose reduction was 18%.

truyan aproximadamente en tiempo real mientras el tubo gira alrededor del paciente que permanece sobre la mesa. Las punciones para realizar biopsias o los drenajes, son ejemplos típicos de procedimientos fluoroscópicos de TC. Es fundamental determinar en todo momento las coordenadas del blanco, con objeto de que no se dañe ningún órgano o estructura crítica. Los procedimientos pueden llegar a ser largos y la dosis impartida al paciente significativa aunque la corriente de

tubo empleada sea generalmente baja (30-70 mA) comparada con la de los procedimientos de TC convencionales (150-300 mA). Los tiempos de fluoroscopia típicos publicados son de unos 2 min para procedimientos como las biopsias o los drenajes [3]. Debido a que durante el procedimiento, el campo irradiado está relativamente concentrado en un área pequeña del paciente (por ejemplo, en el área de la punción en la biopsia), la dosis en piel se acumula y puede alcanzar o superar los umbrales de dosis que provocan efectos deterministas tales como el eritema (2-3 Gy). Así, para tasas de dosis típicas de 4 o 5 mGy/s y un tiempo máximo de examen de 11 min, la dosis en piel puede alcanzar un valor de hasta 3 Gy [3]. Sin embargo, estos valores de dosis pueden ser mayores ya que se debe considerar que la dosis impartida y la duración del procedimiento dependen de factores como la experiencia del médico intervencionista, la carga de trabajo de la sala, la dificultad o complejidad del procedimiento, el tamaño y posición del paciente, la geometría del escáner y otros factores como la estrategia de irradiación que el fabricante adopta para cada equipo de fluoroscopia en TC (por ejemplo, GE en su última versión permite solo 1 rotación por cada accionamiento del pedal de exposición).

La medida de dosis a pacientes en procedimientos estándar de TC así como el establecimiento de valores de referencia son parte de la actual legislación Europea [8] que resalta la importancia de estimar el riesgo radiológico asociado a estos procedimientos. Es importante por lo tanto, que los parámetros de exposición sean optimizados y que las dosis se mantengan

tan bajas como sea posible siempre que no se deteriore la calidad de la información diagnóstica requerida tal y como se establece en el artículo 4.1.a de la Directiva Europea 97/43 [9]. Consecuentemente, la medida de dosis a pacientes es parte esencial del programa de evaluación de calidad en TC.

El cálculo del índice de dosis en TC (CTDI) y del producto dosis longitud (DLP) a partir del primero, son los métodos de estimación de dosis recomendados actualmente por el protocolo de la Unión Europea [8] y también son los más empleados hasta el momento.

De forma complementaria, el CTDI se puede combinar con factores de conversión (calculados empleando técnicas de Monte Carlo) que relacionan esta magnitud con las dosis en órganos o dosis efectivas. Los factores de conversión que se encuentran disponibles en la literatura [10-11] son específicos de cada escáner y requieren la medida del CTDI en aire en el eje del escáner. El protocolo de la Unión Europea propone una aproximación simplificada que aplica factores de conversión específicos del escáner a los valores del DLP.

En cualquiera de las tres aproximaciones anteriores (DLP a partir del CTDI, dosis efectiva a partir del CTDI y dosis efectiva a partir del DLP) las magnitudes dosimétricas medidas no tienen en cuenta el tamaño o la posición del paciente dentro del plano del "gantry". Sin embargo, los procedimientos y los parámetros técnicos son o deberían estar ajustados a las dimensiones individuales de los pacientes y a las indicaciones clínicas [12]. Otros autores [13-15] han reconocido que la dimensión del paciente necesita ser considerada cuando se diseñan protocolos de imagen clínica para pacientes sometidos

a procedimientos de TC.

La magnitud de interés dosimétrico para la evaluación del riesgo de efectos deterministas en procedimientos de fluoroscopia en TC es la dosis superficial. Algunos autores [3, 16] calculan la dosis superficial a partir del CTDI medido con la cámara lápiz en aire en la periferia (1 cm por debajo de la superficie) de los maniqués estándar de la AAPM (American Association of Physicists in Medicine) de cabeza o cuerpo de 16 o 32 cm de diámetro [17]. La dosis absorbida en aire puede transformarse en dosis absorbida en tejido muscular aplicando un factor de corrección [3]. Otros autores prefieren emplear detectores de termoluminiscencia (TLDs) en maniqués o pacientes para la estimación directa de la dosis en superficie [18].

Los TLDs también pueden emplearse como aproximación complementaria a la estimación de dosis efectiva si se emplean factores de conversión apropiados. Incluso estamos desarrollando [19, 20] una metodología basada en TLDs para la medida de la dosis superficial absorbida en pacientes durante procedimientos de TC. Como parte del desarrollo de esta técnica, se consideró importante estudiar la variación de la dosis superficial con el tamaño y la posición del paciente.

MÉTODO

Se presenta un estudio experimental de la variación de la dosis superficial con la posición y tamaño del paciente en el plano tomográfico, así como un análisis de su influencia en la medida de dosis en pacientes sometidos a procedimientos fluoroscópicos de TC. La influencia del filtro de forma y la aplicación de técnicas de modulación de la corriente de tubo en un escáner GE



Maniqués	A	B	C	D
Eje menor(cm) x eje mayor (cm)	16x30	20x30	24x30	28x30

Tabla I. Dimensiones de las secciones de corte de los cuatro maniqués elípticos empleados en las medidas y los cálculos. Los maniqués A, C y D empleados en las medidas tienen un espesor de 10 cm. El maniquí B tiene 8 cm de espesor.

Estudio experimental de las variaciones del producto del kerma en aire-longitud en la superficie

Cada experimento fue inicialmente establecido posicionando el maniquí seleccionado de forma simétrica en el centro del "gantry" con una cámara de ionización lápiz (modelo No 20X5-CT con un electrómetro MDH 2025, Radcal Corporation, Monrovia, CA) en su superficie anterior, colocada de forma que su eje fuese paralelo al eje de rotación del escáner (véase figura 1). La cámara fue alineada con ayuda de los láseres. La superficie anterior fue elegida como región de medida ya que esta es la posición más fácilmente accesible en los estudios de dosis. La posición del maniquí y de la cámara dentro del "gantry" pudo ser verificada a partir de la imagen de TC obtenida. Así, con objeto de evaluar la precisión en la posición empleamos las herramientas informáticas del sistema para superponer una rejilla calibrada sobre la imagen.

La altura del maniquí pudo ajustarse subiendo y bajando la mesa a lo largo del eje vertical del plano tomográfico. El error en el posicionamiento de los maniqués en el isocentro del escáner fue de ± 3 mm. Según las especificaciones del sistema, la mesa soporta hasta 180 kg con un error de ± 0.25 mm en la posición a lo largo del eje vertical del plano tomográfico. En cada exposición, se midió la integral del kerma en aire sobre la longitud de la cámara de TC. En cada medida, se efectuaron tres rotaciones de 360° sin avance de la mesa. Elegimos esta estrategia de medida con objeto de reducir cualquier error que surge, entre exposiciones, por los cambios en el punto de comienzo de la rotación del tubo (evitamos de esta forma la discontinuidad en la

HiSpeed CT/i (GE Medical Systems, Milwaukee WI) en la dosis superficial fueron también investigadas. Por último también se ha estudiado la variación en el factor de dispersión en dos maniqués de diferente composición (agua y polimetilmetacrilato -PMMA-).

El escáner donde se han realizado las medidas es helicoidal, de tercera generación con una única fila de detectores cerámicos de estado sólido. El escáner posee además dos filtros de forma que tienen diferentes aplicaciones a nivel clínico. El filtro estándar es denominado filtro de forma "pequeño" mientras que el otro es el filtro de forma "grande" o SmartBeam™. Estos filtros causan una reducción de dosis en los laterales del paciente o maniquí con objeto de compensar la reducción en los caminos de atenuación del haz en estas zonas. El filtro grande (el más usado en la práctica clínica) fue empleado en todas las medidas realizadas en este trabajo.

El escáner utilizado dispone también de un sistema de modulación de la corriente de tubo denominado Smart-Scan™, que permite una reducción sinusoidal de dosis en las proyecciones donde la atenuación del haz de rayos X decrece. La máxima reducción posible de dosis en el escáner utilizado es del 50%.

En este trabajo se presentan medidas efectuadas con cuatro maniqués elípticos. Sus dimensiones se muestran en la tabla I y fueron elegidas a partir de los valores de nuestra base de datos que contiene medidas en 116 pacientes examinados en procedimientos de TC

estándar. Los maniqués A y B son más representativos de las dimensiones habituales en la región de los hombros o las del tórax superior, mientras que los maniqués C y D reproducen el tamaño medio del tórax inferior y del abdomen. Los maniqués A, C y D empleados en las medidas, fueron especialmente contruidos con PMMA, mientras que el maniquí B que es de agua, se usa para el control rutinario de calidad. El maniquí B fue empleado solo en el estudio del factor de dispersión con objeto de analizar las diferencias en la dosis superficial dependiendo de la composición del medio irradiado.

Ya que las medidas del CTDI están siempre basadas en la integral de línea de una magnitud relacionada con la dosis a lo largo de la longitud de la cámara lápiz o del conjunto de TLD, todos los resultados y el análisis que se presenta aquí están expresados en términos del producto del kerma en aire por la longitud (AKLP), definido en la forma:

$$AKLP = CTDI \cdot T = \int_{-5}^5 D_s(z) dz \quad (1)$$

donde $D_s(z)$ es la dosis superficial para un único perfil de corte, expresado como una función de la posición a lo largo de un eje paralelo al eje de rotación del escáner. La integral es sobre la longitud activa de la cámara de ionización. El AKLP, es entonces, el CTDI en superficie multiplicado por el espesor nominal de corte.

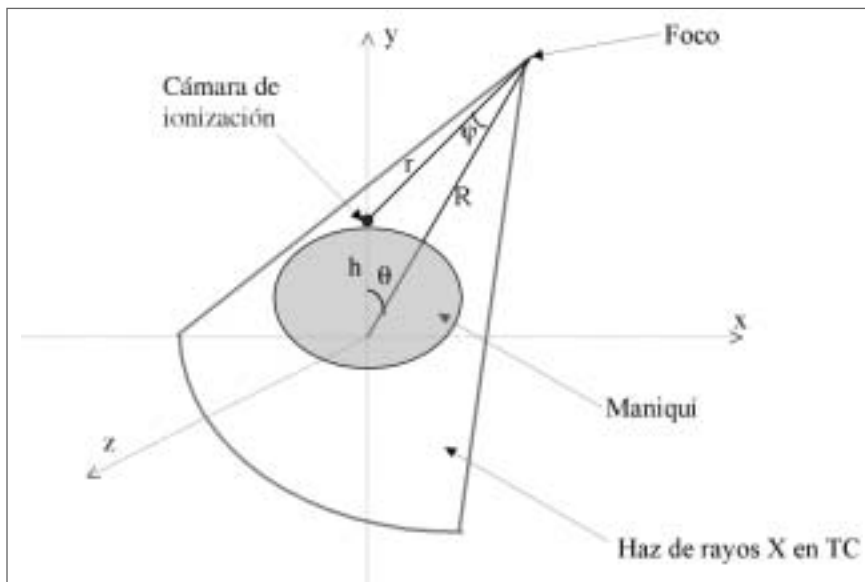


Figura 1. Configuración empleada para medir o calcular el AKLP en la superficie de un maniquí elíptico (para una mejor visualización, la figura no se representa a escala). La cámara está colocada en la superficie anterior del maniquí. Los ejes vertical y horizontal del plano tomográfico están dados por x e y mientras que z refiere al eje de rotación. R es la distancia entre el foco y el isocentro, θ es el ángulo de proyección y ψ es el ángulo entre los vectores foco-cámara y foco-isocentro.

emisión de rayos X en esta localización).

Los resultados fueron expresados para una rotación de 360° y se estimó un $\pm 0.4\%$ para el coeficiente de variación del AKLP en una única rotación. Las incertidumbres en el AKLP y las posicionales fueron combinadas de forma que el error total estimado en el AKLP fue de un 1%. Los parámetros de exposición se eligieron para que fuesen consistentes con los protocolos clínicos pero fueron mantenidos constantes para todos los maniqués independientemente de su tamaño. La corriente de tubo fue 200 mA, la tensión del tubo fue de 120 kVp, el espesor de corte de 10 mm y la velocidad de rotación de 360° por segundo.

Con objeto de estudiar la influencia en el AKLP del tamaño y de la posición del maniquí dentro del plano tomográfico, se realizó una serie de exposiciones con los maniqués elípticos A y C. El filtro de forma *grande* se empleó en

todas las medidas. El AKLP fue medido en diversas posiciones a lo largo del eje vertical del plano tomográfico (eje y). Esta configuración experimental se ilustra en la figura 1.

La misma configuración se empleó para estudiar el efecto del filtro de forma sobre el AKLP. El AKLP se midió en la superficie anterior del maniquí A con y sin el filtro de forma en una serie de posiciones a lo largo del eje y.

Con objeto de estudiar el efecto de la reducción de dosis causada por el sistema de modulación de la corriente de tubo, el AKLP fue también medido en la superficie de los tres maniqués elípticos A, C y D con y sin la técnica de modulación de la corriente. Registramos el valor prescrito o el máximo mA y el valor medio del mA (Smart mA™) para las medidas con la técnica de modulación de la corriente. Para este experimento, los maniqués fueron colocados simétricamente en el centro del plano tomográfico, puesto

que es entonces cuando el sistema llevará a cabo de forma óptima la reducción de la corriente de tubo (y por tanto de la dosis) en base a la diferencia en atenuación entre los ejes menor y mayor de la elipse.

Finalmente, debido a que la región de medida en los pacientes puede variar según el tipo de procedimiento, hemos estimado con la cámara de ionización el cambio asociado a la radiación dispersa con dos maniqués de diferente composición (PMMA y agua). Para ello se realizó un experimento con objeto de estimar las diferencias entre los factores de dispersión promedios de ambos materiales, acrílico y agua. Con este propósito, se midió el AKLP en aire en el isocentro del escáner en la proyección 0° que corresponde con el haz central de rayos X fijo y alineado con el eje vertical del escáner de TC. Se repitió el mismo ejercicio con la cámara todavía en el isocentro y colocada en las superficies de los maniqués de agua y PMMA (maniquí A). El factor de dispersión fue obtenido como el cociente de la lectura en el PMMA o el agua entre la lectura medida con la cámara en aire.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 muestra la variación del AKLP con el desplazamiento del centro de los maniqués A y C respecto al isocentro. Estos datos indican que el AKLP decrece a medida que aumenta la distancia del isocentro. Podría esperarse que las diferencias entre los dos conjuntos de resultados pudiesen ser atribuidas al efecto del tamaño del paciente. Sin embargo, podemos extrapolar una conclusión diferente de la figura 3, donde el AKLP se representa frente a la posición de la cámara a lo largo del eje y del escáner. Así, la figura 3

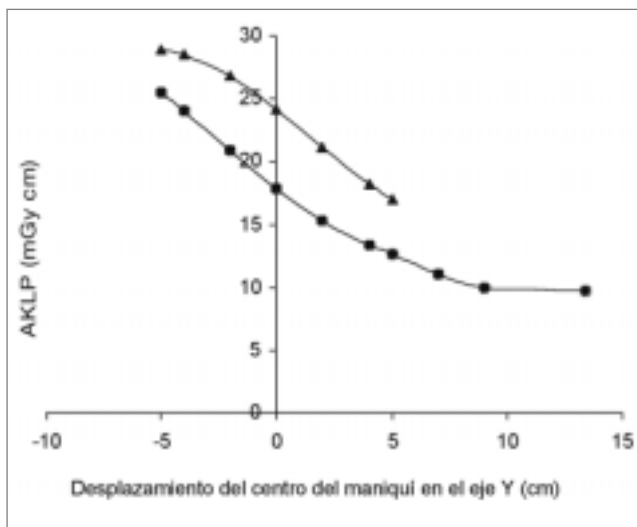
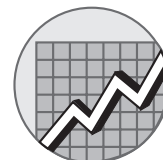


Figura 2: Medidas del AKLP superficial en función del desplazamiento del centro del maniquí a lo largo del eje vertical del plano tomográfico. Triángulos: medidas con el maniquí A. Círculos: medidas con el maniquí C.

trándose una diferencia entre los valores del AKLP menor del 2%.

Consecuentemente, el AKLP depende básicamente de la posición de la cámara respecto al isocentro y no de la dimensión del maniquí. La fuente de variación con la posición que se muestra en la figura 3 puede entenderse en referencia a la figura 4, que muestra los resultados de las medidas con y sin el filtro de forma grande. Podemos ver que el AKLP en la superficie del maniquí A obtenido sin el filtro es, dentro del error experimental, prácticamente independiente de la posición de la cámara a lo largo del eje y. Consecuentemente, es el filtro de forma el que más contribuye a la variación del AKLP a lo largo del eje y del escáner. El valor máximo del AKLP se obtiene en el isocentro ya que en esta posición, la atenuación del filtro de forma es mínima y constante a lo largo de la rotación total

del tubo. La simetría en la forma del filtro causará una disminución simétrica en el AKLP superficial por encima y debajo de este punto. Como hemos mostrado más arriba para una posición dada de la cámara, el tamaño del maniquí no tiene efecto sobre el valor del AKLP (dentro de los errores experimentales del 1%). Sin embargo, debido a que en los estudios diagnósticos, la dimensión del paciente determina la posición de la región superficial anterior de medida (el paciente está aproximadamente centrado en el plano del "gantry"), la dimensión del paciente debería de ser considerada cuando se evalúa el kerma en aire en la superficie. Por ejemplo, en el caso de dos pacientes (con las mismas propiedades de atenuación) de espesor horizontal (en el eje x) equivalente y centrados en el isocentro del escáner de TC, un 29% de cambio en el espesor vertical (de 20 a 28 cm) conduce a un 26 % de cambio en el AKLP superficial (véase figura 3). Para el caso de exámenes fluoroscópicos la tasa de dosis en piel típica es de 4.7 mGy/s para el maniquí de cuerpo de 32 cm de diámetro centrado en el isocentro del escáner GE HiSpeed CT/i [21]. Si suponemos que el tiempo máximo de exposición es de 11 minutos la dosis en piel sería de 3.1 Gy y aumentaría a 4.9 Gy para el caso del maniquí de cabeza de 16 cm de diámetro (es decir, un 36 % de variación). Teniendo en cuenta los umbrales de dosis para que se produzcan efectos deterministas [22] resulta fundamental estimar la dosis en piel en este tipo de procedimientos. En el capítulo 5 del documento de la ICRP 85 [22] se aconseja también, que para aquellos pacientes con dosis mayores o próximas a los 3 Gy, el médico intervencionista debe revisar al paciente entre 10 a 14 días después del procedimiento con objeto de determinar si existe algún efecto de la radiación.

El AKLP para los maniqués elípticos A, C y D expuestos con y sin la técnica de la modulación de la corriente de tubo se muestra en la figura 5 normalizado al valor máximo del AKLP cuando no se selecciona la modulación de

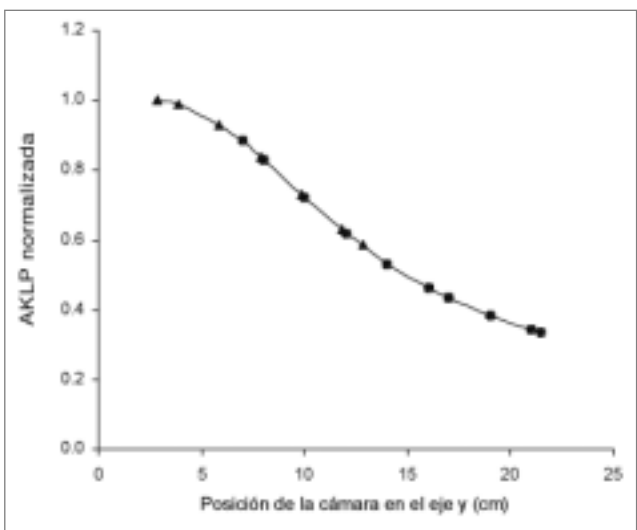


Figura 3: Medidas del AKLP superficial normalizado en función de la posición de la cámara a lo largo del eje y. Triángulos: medidas con el maniquí A. Círculos: medidas con el maniquí C. Los resultados están normalizados al valor máximo del AKLP superficial, medido para el maniquí A en el punto más cercano al isocentro.

muestra que el AKLP para ambos maniqués varía de la misma forma. De hecho, los resultados para los dos maniqués siguen la misma curva. En algunas de las medidas, los maniqués se colocaron de forma que la cámara estuviera casi en el mismo punto en el eje y (con una variación de 0.15 cm), encon-

del tubo. La simetría en la forma del filtro causará una disminución simétrica en el AKLP superficial por encima y debajo de este punto.

Como hemos mostrado más arriba para una posición dada de la cámara, el tamaño del maniquí no tiene efecto sobre el valor del AKLP (dentro de los

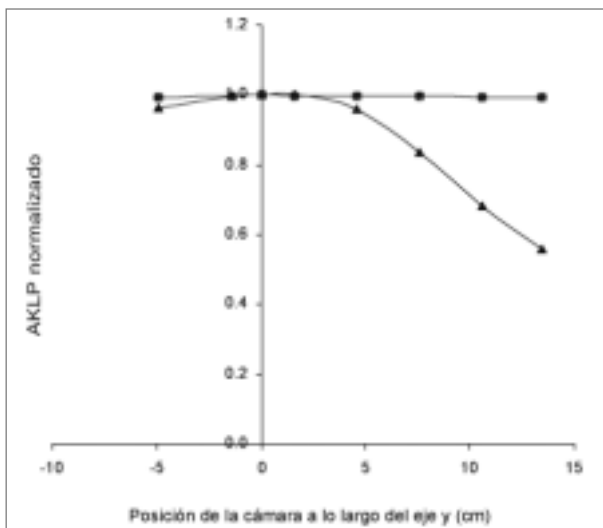


Figura 4. Medidas del AKLP en la superficie del maniquí A en función de la posición de la cámara a lo largo del eje y. Triángulos: medidas con el filtro de forma grande. Círculos: medidas sin el filtro de forma. En cada caso, los resultados se normalizaron al valor medido en el isocentro (origen del sistema de coordenadas).

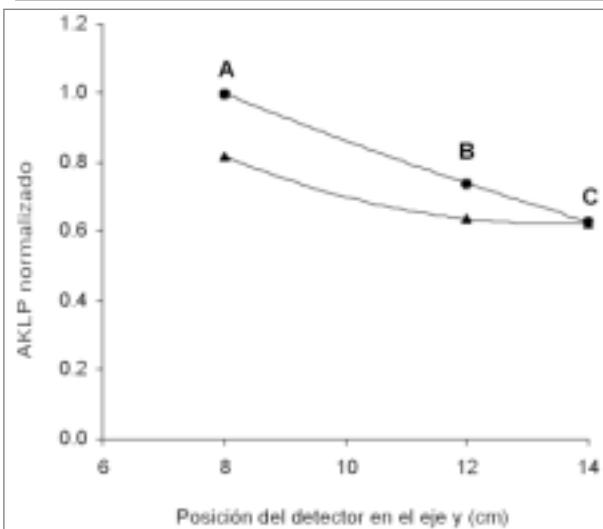


Figura 5. AKLP normalizada en la superficie de los maniqués elípticos A, B, y C. Triángulos: medidas con la técnica de modulación de la corriente de tubo. Círculos: medidas sin la técnica de modulación de la corriente de tubo.

la corriente (obtenido con el maniquí A). Como se esperaba, los productos del kerma en aire por longitud obtenidos con y sin la técnica de modulación de corriente son aproximadamente iguales para maniqués con secciones casi circulares puesto que en ese caso hay muy poca variación entre la atenuación en las proyecciones laterales y las anteriores. Las diferencias entre los valores normalizados

obtenidos con y sin la modulación de la corriente de tubo aumentan con el crecimiento de la excentricidad y disminuyen con el espesor del maniquí alcanzando un valor máximo del 18% para el maniquí A.

La diferencia entre los factores de dispersión determinados experimentalmente para el PMMA (igual a 1.43) y el agua (igual a 1.31) fue de un 8.1% con un $\pm 1.4\%$ de error. Así, cuando se mida la dosis superficial en pacientes deberemos considerar que la región de medida (y más concretamente las propiedades de dispersión del tejido expuesto) influirá en los resultados.

Aplicación a las evaluaciones de dosis a pacientes

La extensión de los resultados citados anteriormente a las medidas de dosis en pacientes es directa. En los procedimientos clínicos, la magnitud dosimétrica práctica que se mide es la dosis promedio en cortes múltiples (MSAD)

[23]. El MSAD superficial está relacionado con el AKLP de la forma siguiente:

$$MSAD = \frac{AKLP}{I} \quad (2)$$

donde I es el intervalo entre cortes o el avance de la mesa en un escáner de corte único. Ya que nos encontramos ante una relación lineal simple,

los resultados que se han obtenido en el presente trabajo son igualmente aplicables a la medida del MSAD superficial, siempre que se practique un número suficiente de cortes tomográficos [23]; esto no debería suponer un problema si el lugar de medida se elige de forma cuidadosa.

Los experimentos anteriores indican que el MSAD superficial dependerá del desplazamiento del detector desde el isocentro (determinado mediante las dimensiones y posición del paciente), así como del ajuste de los parámetros técnicos al tamaño del paciente. Si el desplazamiento del dosímetro respecto al isocentro se mide durante la evaluación de la dosis sobre las imágenes clínicas, entonces la corrección del valor del MSAD superficial debido al desplazamiento del dosímetro puede ser efectuada obteniéndose una distribución que reflejaría únicamente las variaciones en la dosis debida a cambios en la técnica del examen diagnóstico.

CONCLUSIONES

En este estudio, se han realizado medidas con diferentes maniqués elípticos, filtros de forma y empleando también una técnica de reducción de la dosis por modulación de la intensidad del haz de rayos X. El AKLP está principalmente determinado por la radiación primaria que llega a la superficie del maniquí, pero también por la contribución de la radiación dispersa, ya que hemos observado un cambio en el factor de dispersión del 8% cuando el material dispersor es agua en vez PMMA.

Para una posición particular de la cámara de ionización, el AKLP superficial es esencialmente independiente de la dimensión del maniquí (para los maniqués investigados). El AKLP superficial disminuye a medida que la superficie



del maniquí se mueve alejándose del isocentro a lo largo del eje vertical del plano tomográfico. La disminución es debida básicamente al efecto del filtro de forma.

Cuando se trata de procedimientos de TC de fluoroscopia, estos filtros de forma pueden determinar un aumento significativo en la dosis superficial en el caso de pacientes delgados (suponiendo los pacientes centrados en el plano del "gantry"). Los resultados también muestran claramente que la medida estándar de la dosis en la superficie del maniquí de cuerpo de la AAPM resultará inevitablemente en una subestimación de la dosis (36% de disminución). Consecuentemente, resulta fundamental tener en cuenta la posición y el tamaño del paciente para estimar la dosis en piel.

Por último, se ha comprobado que en el equipo estudiado cuando se aplica una técnica de reducción de dosis basada en una modulación sinusoidal de la corriente de tubo, el ahorro máximo de dosis en la superficie del maniquí elíptico es de un 18%.

El AKLP está simplemente relacionado con el CTDI superficial, y por lo tanto, las conclusiones acerca del comportamiento del primero son igualmente aplicables a las del último. El AKLP está linealmente relacionado con la dosis promedio en cortes múltiples (medible con TLDs), y por lo tanto las conclusiones citadas acerca del comportamiento del AKLP serán igualmente válidas para el MSAD. Utilizando la metodología de medida de la variación del AKLP en la superficie del maniquí con la posición de éste (tal y como se muestra en este trabajo), las medidas de dosis superficial con TLDs en pacientes pueden corregirse. De esta forma aislaríamos las variaciones que surgen de los cambios de la práctica diagnóstica, de aquellas que surgen de las variaciones en el tamaño y posición del paciente.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de Paz Avilés Lucas ha sido financiado con una beca Europea Marie Curie (Número de referencia ERB4001GT). Estamos agradecidos al Grupo de Física Médica (Universidad Complutense de Madrid), al Servicio de Física Médica del Hospital Clínico de Madrid por sus discusiones y comentarios y al Prof. José Manuel Calleja Pardo (Universidad Autónoma de Madrid) por su apoyo incondicional al proyecto. Estamos también en deuda con el Sr. Bruce Bembrick que construyó los maniquíes elípticos.

REFERENCIAS

1. Royal College of Radiologists. Making the best use of department of clinical radiology: guidelines for doctors. 4th edition. London: Royal College of Radiologists, 1998.
2. Kaul A., Bauer J., Bernhardt D., Nosske D., Veit R. Effective doses to members of the public from the diagnostic application of the ionizing radiation in Germany. *Eur Radiol* 7: 1127-32; 1997.
3. ImpACT. Real time CT and CT fluoroscopy. Technology update No.2. Version 1.11. 2001. *Br J Radiol* Diciembre 2001.
4. Shrimpton P C. Reference doses for computed tomography. *Radiological Protection Bulletin* 193. Chilton: NRPB, 1997.
5. Shrimpton P C, Edyvean S. CT scanner dosimetry. *Br J Radiol* 1998; 71: 1-3.
6. Shrimpton P C, Wall B F. The increasing importance of X-ray computed tomography as a source of medical exposure. *Radiat Prot Dosim* 1995; 57:413-5.
7. Kalender W.A. *Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image Quality, Applications*. Munich: Publicis MCD Verlag, 2000
8. European guidelines on quality criteria for computed tomography. EUR 16262. Brussels: EU, 1998. Web site: <http://www.dr.dk/guidelines/ct/quality>
9. Council Directive of the European Communities 97/43/EURATOM. Directive of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposures. *Official Journal L180*: 22.
10. Jones D G, Shrimpton P C. Normalised organ doses for X-ray computed tomography calculated using Monte Carlo techniques. NRPB-SR250. Chilton 1993.
11. Zankl M, Panzer W, Drexler G. The cal-

ulation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods. Part VI: Organ doses from computed tomographic examinations. *GSF-Berich* 30/91. Germany 1991.

12. Wade J P, Weyman J C, Goldstone K E. CT standard protocols are of limited value in assessing actual patient dose. *Br J Radiol* 1997; 70:1146-51.

13. Huda W, Atherton J V, Ware D E, Cumming W A. An approach for the estimation of effective doses at CT in paediatric patients. *Radiology* 1997; 203: 417-22.

14. Ware D E, Huda W, Mergo P J, Litwiller A L. Radiation effective doses to patients undergoing abdominal CT examinations. *Radiology* 1999; 210: 645-50.

15. Huda W, Scalzetti E M, Renskopf M. Effective doses to patients undergoing thoracic computed tomography examinations. *Med Phys* 2000; 27(5): 838-44.

16. Teeuwisse W M, Geleijns J, Broerse J J, Obermann W R, Meerten E L Van Persijn Van. Patient and staff dose during CT guided biopsy, drainage and coagulation. *Br J Radiol* 2001; 74: 720-26.

17. Shope T B, Morgan T S, Showalter C K, Pentlow K S, Rothenberg L N, White D R, Speller R D. Radiation dosimetry survey of computed tomography systems from ten manufacturers". *Br J Radiol* 1982; 55: 60.

18. Nawfel R.D., Judy P.F., Silverman S.G., Hooton S., Tuncali K., Douglass F.A. Patient and personnel exposure during CT fluoroscopy-guided interventional procedures. *Radiology* 216: 180-4; 2000

19. Avilés Lucas P, Dance D R, Castellano I A, Skinner C L, Vañó Carruana E. Dosis superficiales empleadas para estimar el riesgo radiológico en pacientes examinados en procedimientos de tomografía computarizada. XII Congreso Nacional de Física Médica. CD-ROM: Session A2.

20. Avilés Lucas P, Dance D R, Castellano I A, Skinner C L, Vañó Carruana E. A method to audit individual patient doses in CT procedures using thermoluminescent dosimeters. *European Radiology* 2000; 10 (2) Supplement 1: 151.

21. Keat N, Real time CT and CT fluoroscopy, ImpACT evaluation report MDA/00/10, Norwich, HMSO, 2000.

22. Annals of the ICRP. Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures. Pg: 5, capítulo 3. Published for the International Commission on Radiological Protection. ICRP 85. Valentin J., editor. Pergamon Press, 2000

23. Shope T B, Gagne R M, Johnson G C. A method for describing the doses delivered by transmission x-ray computed tomography. *Med Phys* 1981; 8: 488-95.

Método de resolución analítica de modelos biocinéticos con un gran número de compartimentos. Aplicación a la solución de los modelos de la ICRP 66 y 78

Guillermo Sánchez

ENUSA Industrias Avanzadas S.A. Fábrica de Juzbado.

RESUMEN

Nuevos programas con capacidad de cálculo simbólico pueden ser utilizados para resolver analíticamente, utilizando cálculo matricial, sistemas con gran número de compartimentos. En este artículo se describen algunas técnicas desarrolladas con este propósito. La idea principal consiste en subdividir un modelo completo en varios sistemas cada uno de los cuales, a efectos con su conexión con los otros sistemas, puede ser reducido a único compartimento con su correspondiente función de entrada. Con tal fin se introduce el concepto de compartimento de pseudoacumulación. Estas técnicas se han utilizado para desarrollar el programa *Humorap*, que permite obtener soluciones analíticas, además de numéricas, a los modelos de la ICRP 66 y 78, incluso permite utilizar funciones de incorporación continuas y aleatorias.

INTRODUCCIÓN

Muchos procesos físicos y químicos pueden ser representados matemáticamente a través de lo que se denomina *Análisis compartimental* [1-3]. Éste se basa en la descomposición de un proceso o fenómeno en un número finito de partes llamadas compartimentos que interactúan entre sí a través de intercambio de flujo. El flujo puede consistir en transmisión de partículas, sustancias químicas, individuos de una población, etc. El análisis compartimental tiene numerosas aplicaciones: medicina nuclear, ecología, reacciones químicas, etc. Es de destacar su aplicación en dosimetría interna donde viene siendo habitualmente utilizada por la ICRP para la modelización de la incorporación de isótopos en el organismo.

En lo que sigue se introducen los modelos compartimentales y se describen varios criterios propios que facilitan la resolución analítica de modelos forma-

dos por un gran número de compartimentos. Estos criterios se han utilizado en la resolución de los modelos de las ICRP 66 [4] y 78 [5] para lo que se ha desarrollado el programa *Humorap* [6]. Dicho programa permite el uso de notación simbólica, está concebido como una herramienta de análisis e investigación, ideal para estudios de: sensibilidad, escenarios, valoración de accidentes, etc. Está desarrollado en el lenguaje *Mathematica* [7] aunque para su uso no se requiere conocer este lenguaje, pudiéndose acceder al programa a través de la hoja de cálculo Excel o de un navegador como Explorer.

FUNDAMENTOS DEMODELIZACIÓN COMPARTIMENTAL

Un modelo compartimental es usualmente representado por un diagrama de bloques (figura 1), donde los compartimentos se representan por rectán-

ABSTRACT

New computer programs that include symbolic capability, like *Mathematica*, can be used to solve analytically large compartmental systems. In this paper some techniques are developed in order to make feasible a computer program that gives not only faster and more accurate solutions, but also analytic solutions for this kind of models. The main idea is to make a partition of subsystems and solve them sequentially. The concept of pseudo-trap compartments in a subsystem is crucial at this point. Impulse (acute), constant, and continuous (such as exponential) intakes are considered. This technique has been applied to develop a computer code (*Humorap*) in *Mathematica* for solving the ICRP 66 and 78 models.

gulos o circunferencias y por flechas los intercambios de compartimentos entre sí y de compartimentos con el exterior. La retención en función del tiempo para un compartimento i se denota por $x_i(t)$ y el coeficiente de transferencia desde el compartimento i al compartimento j por k_{ij} . A veces, cuando no hay ambigüedad respecto al compartimento destino, se escribe k_i . El exterior del sistema compartimental se representa por "0", así el coeficiente de transferencia desde i al exterior es k_{i0} . El decrecimiento radiactivo se considera una transferencia al exterior con un coeficiente de transferencia λ , esto es $k_{i0} = \lambda$, que es la constante de desintegración. Si desde un compartimento i hay transferencias hacia varios el coeficiente de transferencia total de i será K_i , que corresponde a la suma de cada uno de los coeficientes individuales. La entrada desde el exterior al compartimento i se denota por $b_i(t)$, si hay m entradas



hacia un mismo compartimento i entonces $b_i(t) = \sum_k b_{ki}(t)$ con $k = \{1, \dots, m\}$. La evolución de un sistema compartimental es descrito matemáticamente por un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden. En concreto, la formulación general para sistemas de n compartimentos con coeficientes de transferencia constantes está dada por (1).

$$\mathbf{x}'(t) = \mathbf{A} \mathbf{x}(t) + \mathbf{b}(t), \text{ con } t \geq 0 \quad (1)$$

y con condición inicial $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$

\mathbf{A} es la matriz compartimental (cuadrada) formada por los términos constantes $\{a_{ij}\}$ con $a_{ij} = \sum_j (-k_{ij} + k_{ji})$.

$$\mathbf{x}'(t) = [x'_1(t), x'_2(t), \dots, x'_n(t)]^T$$

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$$

$$\mathbf{b}(t) = [b_1(t), b_2(t), \dots, b_n(t)]^T$$

(T indica matriz traspuesta)

Para coeficientes \mathbf{A} constantes la solución es

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_0 e^{t\mathbf{A}} + \int_0^t \mathbf{b}(\tau) e^{(t-\tau)\mathbf{A}} d\tau \quad (2)$$

Tres casos particulares importantes de la ecuación (1) son:

1. Incorporación única en $t = 0$. En este caso:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_0 e^{t\mathbf{A}} \quad (2a)$$

2. Incorporación a tasa constante (crónica) para $t \geq 0$. Corresponde al caso en que los términos de $\mathbf{b} : \{b_1, \dots, b_n\}$ sean constantes. Se puede aplicar (2b) ó (2c), preferimos (2b) , ya que puede ocurrir que la matriz \mathbf{A}^{-1} no sea invertible [1 y 8].

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_0 e^{t\mathbf{A}} - \int_0^t \mathbf{b} e^{-t\mathbf{A}} dt \quad (2b)$$

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_0 e^{t\mathbf{A}} + \mathbf{A}^{-1} (e^{t\mathbf{A}} - \mathbf{I}) \mathbf{b} \quad (2c)$$

3. Incorporación exponencial para $t \geq 0$. Corresponde a aquellos casos en los que los términos de $\mathbf{b}(t)$ son suma de exponenciales. Esta situación es importante para la resolución de sistemas con gran número de compartimentos. Cada término dentro de la parte integral de (2) puede ser integrado separadamente aplicando (2d).

$$a \int_0^t e^{bt+(c-b)\tau} d\tau = \frac{a}{b-c} (e^{bt} - e^{ct}) \text{ con } b \neq c \quad (2d)$$

Otro caso de interés es el sistema compartimental representado por ramas catenarias unidireccionales (compartimentos en serie con flujo en una sola dirección), como se muestra en la Figura 1, donde se produce una entrada puntual b_1 en el compartimento inicio. Se representa por $k_{p,0}$ la suma de los coeficientes de transferencia desde un compartimento cualquiera p hacia el exterior o hacia otros compartimentos que no formen parte de la cadena catenaria.

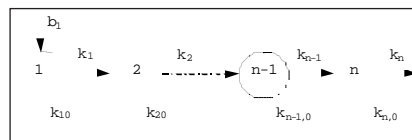


Figura 1.-Modelo catenario unidireccional

La retención en el compartimento n de esta cadena está dado por [9]

$$x_n(t) = b_1 \left(\prod_{p=1}^{n-1} k_{p,p+1} \right) \sum_{j=1}^n \left(\frac{e^{-K_j t}}{\prod_{\substack{p=1 \\ p \neq j}}^n (K_p - K_j)} \right) \quad (3)$$

donde $K_p = k_p + k_{p,0}$.

Si en un modelo los compartimentos no presentan recirculación el modelo puede resolverse descomponiéndolo en cadenas catenarias que se calculan por separado aplicando (3). Esta ecuación ha sido muy utilizada por su fácil incorporación a programas informáticos. Muchos modelos se hicieron intencionadamente sin recirculación para permitir su aplicación.

INTERCONECTABILIDAD DE SISTEMAS

La solución dada por (2) es aplicable a cualquier sistema compartimental lineal con coeficientes constantes. Su utilización práctica es problemática cuando el número de compartimentos es

grande. Una forma de abordar el problema consiste en subdividir el modelo compartimental completo en bloques, formados por distintos compartimentos a los que se les denomina *sistemas*. Cada *sistema*, desde el punto de vista matemático, puede tratarse de forma independiente del resto del modelo, la conexión con los compartimentos del modelo no incluidos en el sistema es representada por entradas y salidas al exterior del sistema. En esta línea hemos obtenido [10] el **criterio 1**, descrito a continuación, que permite subdividir modelos formados por gran número de compartimentos.

Criterio 1.- Sea un modelo compartimental, como el de la Figura 2 dividido en dos sistemas A y B. En el sistema A elegimos aquellos compartimentos que reciben aportes desde otros compartimentos o desde el exterior y no tienen transferencias hacia otros compartimentos de su sistema. Los compartimentos que cumplen estos requisitos los denominamos compartimentos de acumulación (En el modelo del ejemplo, este requisito lo cumplen los compartimentos i y j , véase Figura 3 y Figura 4). Se denota por $q_{Ac i}(t)$ la retención, sin considerar las transferencias hacia B, en cualquier compartimento i que cumpla estas características. La tasa del flujo entrante en i corresponde a la derivada $q'_{Ac i}(t)$ que es equivalente a considerar una entrada desde el exterior $b_i(t)$ en i dada por $b_i(t) = q'_{Ac i}(t)$. Esto nos permite sustituir todas las aportaciones del sistema A hacia B considerando como parte de B sólo los compartimentos i de acumulación de A con sus respectivas entradas dadas por $b_i(t)$ (Figura 4). Este sistema B ampliado con los compartimentos de acumulación, puede resolverse de forma independiente. Este criterio que hemos descrito para dos sistemas, puede extenderse a N sistemas, lo que es muy

adecuado cuando el sistema completo lo forman un número muy grande de compartimentos

Cuando los coeficientes de transferencia son todos distintos entre sí (muy frecuente en la práctica) la función de retención, para los casos de incorporación puntual,

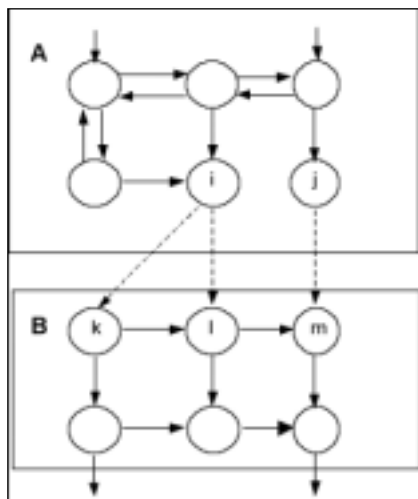


Figura 2.-División de un modelo en dos sistemas.

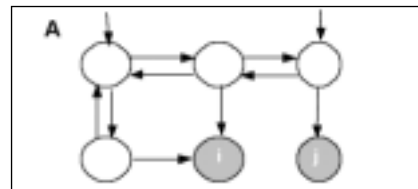


Figura 3. En el modelo de la Figura 2 se eligen los compartimentos de acumulación (en fondo gris)

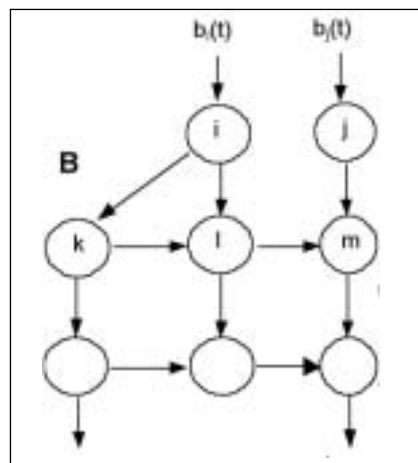


Figura 4.- Al sistema B se han añadido los compartimentos i y j con sus entradas. El sistema resultante se resuelve de forma autónoma.

constante o exponencial, en los compartimentos que no son de acumulación está dada por una suma de términos exponenciales, entonces la retención en los compartimentos de acumulación, es de la forma $q_{Ac\ i}(t) = d_i - \sum a_j \text{Exp}[-c_j t]$. Usando el criterio 1 se obtiene que $b_i(t) = q'_{Ac\ i}(t) = \sum a_j c_j \text{Exp}[-c_j t]$. Esto es de gran utilidad pues permite utilizar (2d) en la resolución de (2). Además, cuando se dan las condiciones apropiadas, permite aplicar el criterio que se describe a continuación.

Criterio 2.- Sea *i* un compartimento inicio de una o varias cadenas catenarias, formada por *n*-1 compartimentos. Consideremos que hacia *i* hay una entrada de la forma $b_i(t) = \sum_{j=1}^m a_j c_j \text{Exp}[-a_j t]$ La retención en los compartimentos de cada cadena con inicio en *i* puede calcularse suponiendo que inmediatamente antes de *i* hay *m* pseudo compartimentos, una por cada término exponencial *l*, no conectados entre sí y todos con transferencia hacia *i*. En cada pseudo compartimento *l* se supondrá que ocurre una entrada puntual c_l en $t=0$ y que tiene una constante de transferencia hacia *i* a_l (c_l y a_l pueden ser positivos o negativos). Con este criterio se aplica (3) *m* veces, obteniéndose (4). Obsérvese que este criterio es aplicable al modelo de la Figura 4.

$$x_n(t) = \sum_{i=1}^m c_i \left(\prod_{p=1}^{n-1} k_{p,p+1} \right) \sum_{j=1}^m \left(\frac{e^{-K_j t}}{\prod_{p=1}^{n-1} (K_p - K_j)} \right), \text{ con } k_l = a_l \quad (4)$$

RESOLUCIÓN DE LOS MODELOS BIOCINÉTICOS DE LA ICRP 66 Y 78

La ICRP ha ido emitiendo distintas guías que describen por sistemas compartimentales la incorporación de partículas radiactivas en el cuerpo humano. Para el tracto respiratorio (TR) es aplicable la publicación ICRP 66 (Figura 5). El modelo biocinético que presenta es común a cualquier isótopo.

Otros parámetros también varían pero éstos tienen que ver con la forma química en la que se presenta el isótopo (tipo de metabolización: F, M o S) y con su comportamiento aerodinámico, que está relacionado con el AMAD (mediana del diámetro aerodinámico de los aerosoles de la actividad incorporada por inhalación). Para el resto del cuerpo la publicación ICRP 78 recopila el conjunto de todos los modelos biocinéticos compartimentales aplicables en la actualidad. Estos modelos son específicos para grupos de isótopos. En el caso del tracto gastrointestinal (GI) la guía mantiene el mismo modelo de la ICRP 30. Esquemáticamente se puede resumir por el modelo global representado en la Figura 6.

Conceptualmente lo anterior permite definir un modelo global con una parte común que incluye el tracto respiratorio (TR) y el gastrointestinal (GI) y una parte específica para cada tipo de elemento.

Resolución del modelo del tracto respiratorio de la ICRP 66

Los criterios descritos se han aplicado a la resolución del modelo de la ICRP 66 del tracto respiratorio (Figura 5). El sistema completo se ha dividido en dos sistemas: ET1 y P

1. **Sistema ET1.** Se resuelve de forma independiente como un sistema monocompartmental

2. **Sistema P.** (Corresponde a todo el tracto respiratorio excepto ET1). Está dividido en dos subsistemas (P1 y P2), ambos finalizan en los compartimentos B (sangre o fluidos extracelulares) y ST (estómago, que es el primer compartimento de GI) que son considerados como compartimentos de acumulación.

2.1 **Subsistema P1** (identificado como PIS-partículas en estado inicial- en Figura 5) cuya matriz compartimental se denomina **A1**. La retención en cada



compartimento, supuesta una incorporación puntual, I_0 en $t=0$ está dada por

$$\mathbf{q}_{A1}(t) = I_0 \mathbf{IDF} e^{A1t} \quad (5)$$

donde $\mathbf{IDF} = (\mathbf{IDF}_1, \dots, \mathbf{IDF}_9, 0, \mathbf{IDF}_{11}, \mathbf{IDF}_{12}, 0, 0, 0)$ son los factores de deposición inicial. ($\mathbf{IDF}_i = 0$ para $i = \{10, 13, 14, 15\}$, pues en ellos no hay depósitos desde el exterior). Estos factores dependen de las características aerodinámicas de los aerosoles inhalados (dadas por el AMAD), factores fisiológicos y de las condiciones particulares de la exposición. \mathbf{IDF} puede ser calculado siguiendo el método descrito en la ICRP 66 u obtenido del apéndice F de dicha guía.

2.2 Subsistema P2 (identificado como PTS, partículas en estado transformado, en la Figura 5). Su matriz compartimental se denomina $\mathbf{A2}$. Desde cada compartimento en PIS hay transferencia hacia PTS con una tasa s_{pi} , similar para todos los compartimentos, lo que supone una entrada hacia i' desde i dada por $b_i(t) = s_{pi} q_i(t)$, la retención en PIS es

$$\mathbf{q}_{A2}(t) = s_{pi} \int_0^t e^{(t-\tau)\mathbf{A2}} \mathbf{q}_{A1}(\tau) d\tau. \quad (6)$$

que puede ser resuelta aplicando la regla dada por (2d).

La división de un compartimento i en PIS y otro compartimento espejo i' en PTS es sólo a efectos matemáticos. Cada par $i-i'$ fisiológicamente debe ser considerado un solo compartimento. Por tanto, la retención en cada P será $\mathbf{q}_A(t) = \mathbf{q}_{A1}(t) + \mathbf{q}_{A2}(t)$.

Resolución de los modelos ICRP 78

El tracto respiratorio, salvo en el valor de algunos parámetros, tiene un

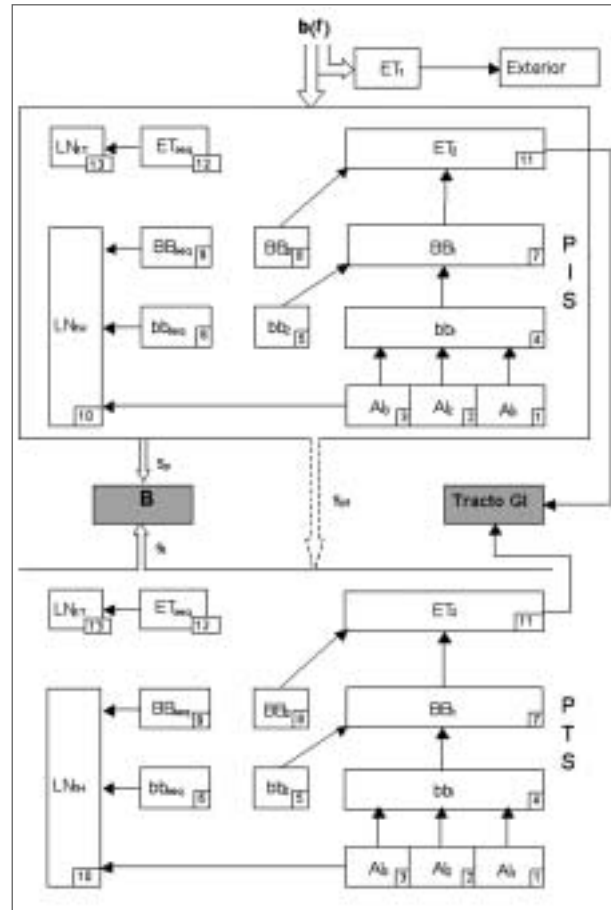


Figura 5.- Modelo respiratorio (ICRP 66).- Las flecha hueca de trazos, que va desde el subsistema PIS al subsistema PTS, significa que hay un flujo desde cada compartimento en PIS hacia el compartimento con igual número en PTS. La flecha hueca, significa que hay un flujo desde cada compartimento en el subsistema PIS o PTS hacia B (Fluidos extracelulares, usualmente la sangre). Una flecha sencilla, indica flujo desde un compartimento a otro.

modelo biocinético común para todos los isótopos. Para el resto del cuerpo los modelos son específicos por grupos de isótopos. En este apartado se describe el método de resolución del modelo "Resto del Organismo".

En el modelo de la Figura 6 se sustituye todo el tracto respiratorio por una entrada hacia el compartimento B y otra hacia ST. Para calcular éstas se parte de la retención en B y ST obtenida en el apartado anterior y que tiene la forma:

$$q_B^{Ac}(t) = d_B - \sum_s d_s e^{-c_s t} \text{ y } q_{ST}^{Ac}(t) = d_{ST} - \sum_r d_r e^{-c_r t}$$

Aplicando el criterio 1, se obtiene que

la entrada hacia ST y B está dada por :

$$b_{ST}(t) = \frac{\partial q_{RT,ST}(t)}{\partial t} = \sum_r c_r d_r e^{-c_r t}$$

$$\text{y } b_B(t) = \frac{\partial q_{RT,B}(t)}{\partial t} = \sum_s c_s d_s e^{-c_s t}$$

En (2), numerando B como 1 y ST como n , se hace:

$$\mathbf{b}(\tau) = \left(\sum_r c_r d_r e^{-c_r \tau}, 0, \dots, 0, \sum_r c_r d_r e^{-c_r \tau} \right) \text{ y } e^{(t-\tau)\mathbf{A}} \left(\sum_r c_r d_r e^{-c_r \tau}, 0, \dots, 0, \sum_r c_r d_r e^{-c_r \tau} \right)$$

cuyo desarrollo es un vector en el que los elementos son suma de exponenciales o ceros y es posible aplicar la regla (2d) a la resolución de (2). La matriz A en este caso corresponde al modelo del isótopo concreto que se modeliza. Hasta aquí no se ha tenido en cuenta el decrecimiento radiactivo; éste se incluirá en la solución final aplicando $\mathbf{q}_R(t) = \mathbf{q}(t) \text{Exp}(-\lambda_R t)$ donde λ_R es la constante de desintegración del isótopo.

El programa Humorap

Los criterios antes descritos se han incorporado en Humorap [6]. Éste permite calcular la retención en cada compartimento en función del tiempo y de las características del isótopo incorporado (características aerodinámicas -AMAD-, tipo de metabolización, clase de incorporación, factores de transferencia y constante de desintegración radiactiva). Entre las innovaciones de este programa destacan las siguientes:

- Da expresiones analíticas para la retención en los pulmones, y en los distintos compartimentos, así como para la excreción urinaria y fecal.
- Es completamente parametrizable (usa por defecto los coeficientes de las ICRP 66 y 78 pero pueden modificarse a voluntad)

- c) Considera incorporaciones distintas de las puntuales o constantes (incluso aleatorias)
- d) Permite que el usuario defina nuevos modelos (para contemplar la posibilidad de adaptarse a futuras modificaciones introducidas por la ICRP).

El programa está desarrollado en el lenguaje *Mathematica*. Puede descargarse de la dirección <http://web.usal.es/~guillerm/biokmod.htm>. Ha sido contrastado, para el caso de incorporaciones puntuales, con las soluciones numéricas de INDAC 2001 [11] obteniéndose valores prácticamente idénticos.

Como ejemplo se muestran las expresiones dadas por *Humorap* para el uranio (uno de los modelos más complejos) para el caso de un trabajador estándar expuesto a la inhalación de aerosoles de UO₂ (tipo S), f1=0.002 y AMAD 5 μm supuesta una incorporación puntual de 1 Bq en t=0. Intencionadamente se ha reducido la precisión del programa para eliminar aquellos términos cuya contribución es insignificante.

$$q_{Lungs}[Uranium, AMAD5, S, t, 0] = 0.0100881 e^{-10.0 t} + 0.007959 e^{2.00 t} + 0.01031 e^{-0.0301 t} + 0.01614 e^{-0.0201 t} + 0.03191 e^{-0.0011 t} + 0.00443 e^{-0.00022 t} + 0.001087 e^{-0.0001 t}$$

$$q_{Urinel}[Uranium, AMAD5, S, 0.002, t, 0] = -1.53 e^{-10.0 t} - 1.70 e^{-6.01 t} + 1.11 e^{-5.38 t} + 0.000163 e^{-2.00 t} + 2.70 \times 10^{-6} e^{-0.344 t} + 3.48 \times 10^{-6} e^{-0.139 t} + 6.40 \times 10^{-7} e^{-0.0990 t} + 1.63 \times 10^{-5} e^{-0.0973 t} + 3.17 \times 10^{-6} e^{-0.0301 t} + 2.11 \times 10^{-6} e^{-0.0201 t} + 1.04 \times 10^{-6} e^{-0.0126 t} + 3.07 \times 10^{-6} e^{-0.0011 t} + 4.32 \times 10^{-7} e^{-0.00022 t} + 1.17 \times 10^{-7} e^{-0.0001 t}$$

$$q_{Faecal}[Uranium, AMAD5, S, 0.002, t, 0] = 20.7 e^{-6.01 t} + 0.000558 e^{-5.38 t} + 0.761 e^{-2.00 t} - 4.85 e^{-1.80 t} + 2.07 e^{-1.00 t} + 0.000331 e^{-0.0301 t} + 0.000337 e^{-0.0201 t} +$$

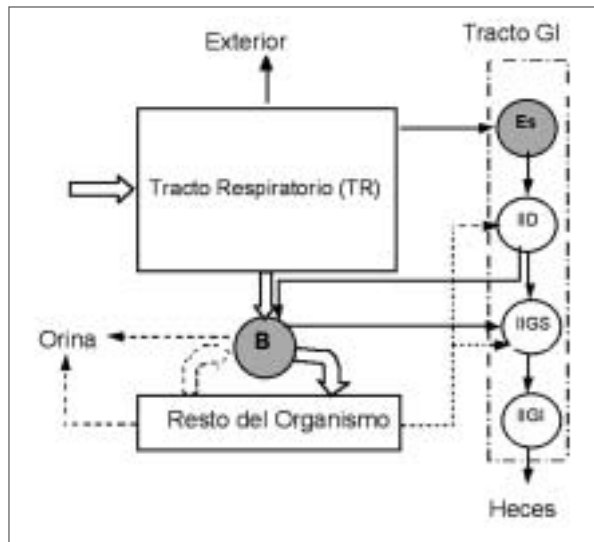


Figura 6.- Modelo global de la ICRP 66 y 78. Las flechas de trazos indican que el flujo en ese sentido se da sólo en algunos isótopos. El compartimento B corresponde a los "Fluidos extracelulares" (usualmente la sangre) y el Es al estómago.

$$0.000319 e^{-0.0011 t} + 5.34 \times 10^{-7} e^{-0.00022 t}$$

Una de las ventajas de trabajar con notación simbólica es la facilidad para considerar incorporaciones no puntuales. En efecto, para ello basta con aplicar el teorema de la convolución dado por la ecuación (7)

$$q(t) = \int_0^t q_0(t-\tau) b(\tau) d\tau \quad (7)$$

donde $b(t)$ es la función de incorporación que es dependientes del tiempo y $q_0(t)$ es la función de retención o excreción para el caso puntual que es conocida.

En el caso particular de suponer una incorporación constante la solución de (7) es simplemente $q(t) = b \int_0^t q_0(t) dt$

RESUMEN

Se han descrito los métodos matemáticos y computacionales que se han desarrollado para la resolución analítica de modelos con gran número de compartimentos. Se han definido varios criterios de interconectabilidad entre sistemas compartimentales que permite dar soluciones analíticas completamente parametrizables de forma muy eficiente desde el punto de vista computacional. Estos criterios se han aplicado en el la resolución de los modelos de la ICRP 66

y 78 y se han incorporado a un programa informático llamado *Humorap*, que incluye utilidades que permiten introducir variaciones en los modelos por el propio usuario e incluso construir modelos completamente nuevos.

Un aspecto especialmente importante es su aplicación a la evaluación de bioensayos, aspecto que será tratado en un próximo artículo.

REFERENCIAS

1. Anderson, D.H. *Compartmental analysis and tracer kinetics*. Berlin: Springer-Verlag; 1983.
2. Godfrey, K. *Compartmental models and their application*. London: Academic Press; 1983.
3. Jazquez, J. A. *Compartmental analysis in biology and medicine*. Ann Arbor. The University of Michigan Press, 1985
4. International Commission on Radiological Protection. *Human respiratory tract model for radiological protection*. Oxford: Pergamon Press; ICRP Publication 66; 1994.
5. International Commission on Radiological Protection. *Individual monitoring for internal exposure of workers*. Oxford: Pergamon Press; ICRP Publication 78; 1997.
6. Sanchez G. *Humorap: Un programa para resolver los modelos compartimentales de la ICRP 66 y 78*. Radioprotección Extra-2002. IX Reunión de la Sociedad Española de Radioprotección; 2002: 365-368.
7. Wolfram S. *The Mathematica Book*. Wolfram Media/Cambridge University Press; 1999
8. Polig, E. *Modeling the distribution and dosimetry of internal emitters: A review of mathematical procedures using Matrix Methods*. Health Phys 81: 492-501; 2001.
9. Skrable K.W.; French, C.; Chabot, G.; Major, A. *A general equation for the kinetics of linear first order phenomena and suggested applications*. Health Physics 27:155-157; 1974.
10. Sánchez G y Lopez-Fidalgo J. *Mathematical techniques for solving analytically large compartmental systems* (en revisión por Health Phys.). 2003
11. INDAC 2001 (INternal Dose Assessment Code), Version 2.5 (Revision 2) Diciembre 2002 - CSN-UNESA, Proyecto PR-11, desarrollado por Iberinco.

AGRADECIMIENTOS

A ENUSA por favorecer mi dedicación a actividades más allá de las habituales. A Jesús López-Fidalgo y Pablo Coletó.

Modelos biocinéticos de radionucleidos en animales de experimentación

Miguel Ángel Morcillo

Dosimetría de Radiaciones. CIEMAT. Madrid

RESUMEN

Los modelos biocinéticos de muchos radionucleidos se basan, en gran parte, en observaciones realizadas con animales de experimentación. Los métodos empleados en el desarrollo experimental de un modelo biocinético se pueden dividir en dos grupos: aquellos usados durante la fase experimental, los cuales incluyen la determinación de la actividad de un determinado radionucleido a distintos tiempos y en diferentes medios biológicos tales como sangre, plasma, órganos/tejidos y excretas (orina, bilis y heces) y aquellos que corresponden al análisis y estudio de los hallazgos experimentales, basados en herramientas matemáticas. Algunos métodos son comentados y, en especial, la macroautorradiografía de animal completo. Por último, se muestra la aportación que este tipo de estudios puede tener en dos áreas de la protección radiológica: la optimización de evaluaciones dosimétricas y la eliminación de radionucleidos del organismo (descorporación de radionucleidos).

INTRODUCCIÓN

La medición o evaluación de las dosis es parte fundamental de la práctica de la protección radiológica. El control de las dosis de radiación recibidas por los trabajadores profesionalmente expuestos se realiza, en la mayor parte de los casos, mediante una vigilancia individual por medio de dosímetros físicos de carácter pasivo y una vigilancia radiológica ambiental. No obstante, otras veces, cuando la fuente se ha incorporado al organismo y causa la irradiación desde el interior del mismo, la estimación de la dosis efectiva pasa por conocer la actividad incorporada, así como el tipo de sustancia y el radionucleido involucrado.

La estimación de la actividad incor-

porada se realiza a partir de medidas de actividad en determinados órganos y excretas (empleando métodos de naturaleza espectrométrica). Estos datos experimentales primarios permiten, mediante una serie de cálculos basados en un conjunto de modelos biocinéticos, estimar la actividad en el resto de órganos y tejidos del organismo. Los datos de actividad, junto con la información disponible de la distribución geométrica de los órganos y tejidos dentro del organismo, se usan para construir modelos dosimétricos que permiten calcular las dosis en los diferentes órganos/tejidos. Estos modelos tienen en cuenta la dosis tanto en el tejido que contiene el radionucleido como en el resto de los tejidos.

ABSTRACT

The biokinetic models for many radionuclides are, to a large extent, based on data obtained in experimental animals. The methods used in the experimental development of a biokinetic model can be classified in two groups: (i) those applied during the experimental work, which include the activity determination of a given radionuclide at different times and in different biological media such as blood, serum, organs/tissues, urine, bile and faeces and (ii) those methods used for the analysis and study of the experimental data, based in mathematical tools. Some of these methods are reviewed, with special emphasis in the whole body macroautoradiography. To conclude, the contribution that this type of studies can have in two fields of radiation protection is discussed, namely optimization of dosimetric evaluations and decorporation of radionuclides.

También tienen en cuenta la localización de poblaciones celulares sensibles dentro del tejido.

Los modelos biocinéticos de radionucleidos, los cuales describen su comportamiento en el organismo y proporcionan las ecuaciones necesarias para calcular las tasas de transferencia dentro y fuera del organismo, se encuentran recogidos en diferentes publicaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica [1-7]. Éstos se pueden dividir en tres tipos:

- *Modelo del tracto respiratorio*, usado para describir la deposición y retención del material inhalado en el tracto respiratorio y su transferencia posterior bien a la circulación sanguínea o bien al tracto gastrointestinal [3].

- *Modelo del tracto gastrointestinal*, usado para describir el movimiento del material ingerido o secretado de forma endógena a través del estómago e intestino, así como para describir la velocidad y alcance de la absorción del radionucleido desde el intestino delgado a la sangre, una vez conocida la fracción de absorción específica del elemento en cuestión (ICRP-30). Actualmente está en discusión el nuevo modelo para el tracto gastrointestinal propuesto por ICRP [1].

- *Modelos sistémicos específicos del elemento*, usados para describir la distribución y la excreción de los radionucleidos en función del tiempo una vez que han alcanzado la circulación sistémica [2, 4-7].

Los modelos de muchos elementos se basan, en gran parte, en observaciones realizadas con animales de experimentación. El empleo de animales de laboratorio permite conocer en mejor medida cómo afecta la dosis y la forma química del elemento a la velocidad y grado de absorción, así como a la distribución y eliminación en el or-

ganismo; por tanto, contribuye a mejorar el conocimiento científico que se dispone del comportamiento de los radionucleidos en el organismo (Figura 1). No obstante, a pesar de las analogías desde el punto de vista estructural, funcional y bioquímico entre las diferentes especies de mamíferos, la extrapolación de datos biocinéticos obtenidos en animales de laboratorio a humanos es un proceso que puede contribuir a la incertidumbre a la hora de estimar la dosis [8].

El presente trabajo describe la metodología que se sigue a la hora de realizar estudios biocinéticos de radionucleidos con animales de experimentación, así como la potencialidad que ofrece este sistema experimental en el campo de la dosimetría interna.

DESARROLLO DE MODELOS BIOCINÉTICOS DE RADIONUCLEIDOS EN ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN

Los métodos empleados en el desarrollo experimental de un modelo biocinético se pueden dividir en dos gru-

pos: (i) aquellos usados durante la *fase experimental*, los cuales incluyen la determinación de la actividad de un determinado radionucleido a distintos tiempos y en diferentes medios biológicos tales como sangre, plasma, órganos/tejidos y excretas (orina, bilis y heces) y (ii) aquellos que corresponden *al análisis y estudio de los hallazgos experimentales*. Con el fin de lograr una adecuada descripción de la evolución temporal de los niveles de una sustancia en el organismo, se recurre a modelos en los que se expresan matemáticamente las velocidades de los procesos de absorción, distribución y eliminación, que finalmente llevan a ecuaciones que permiten describir y predecir las cantidades o concentraciones de la sustancia en el organismo en función del tiempo. La comparación de las predicciones del modelo con los datos que pueden obtenerse experimentalmente permite contrastar las hipótesis de partida utilizadas en la elaboración del mismo, así como nuevas hipótesis.

Fase experimental

Diseño de un estudio biocinético en animales de experimentación

La legislación española exige que en toda experimentación que implique el uso de animales de laboratorio debe existir un Comité Ético para la Experimentación Animal (CEEA) que garantice en la medida de lo posible el bienestar de los animales utilizados como modelos experimentales, de acuerdo con lo establecido sobre "Protección de los animales destinados a experimentación y otros fines científicos", en el Real Decreto 223/1998.

Los animales empleados suelen ser ratas (Sprague-Dawley o Wistar son las más utilizadas), ambos sexos si el

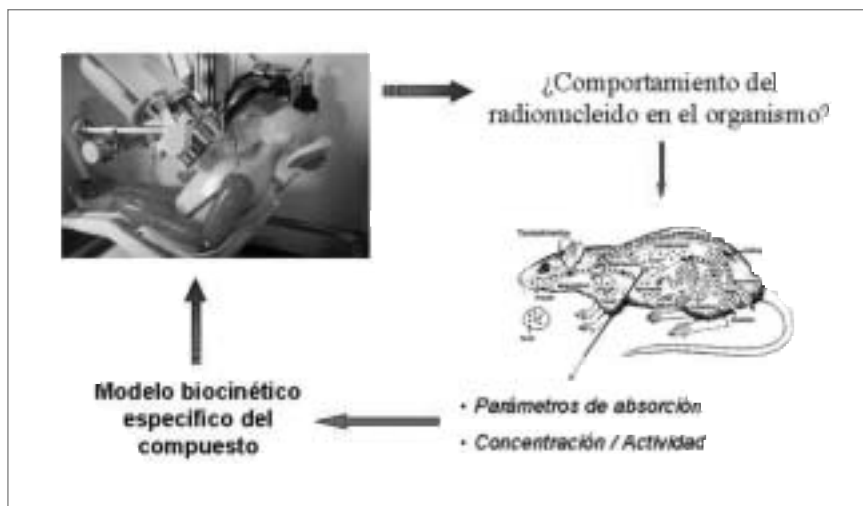


Figura 1.- Utilidad de los modelos biocinéticos de radionucleidos en animales de experimentación en Dosimetría Interna



Figura 2. Sistema de inhalación de aerosoles para animales de experimentación recientemente adquirido por el CIEMAT.

estudio lo requiere, que se mantienen en el animalario en un ambiente controlado (temperatura, humedad, ventilación e iluminación) de acuerdo a procedimientos operativos existentes. En el diseño del estudio es necesario incluir suficientes animales para garantizar un mínimo de 3 datos a cada tiempo de estudio. Los animales se mantienen alojados en jaulas metabólicas, las cuales permiten separar de forma automática las heces y la orina (ésta se congela a -18°C , con el fin de evitar toda actividad bacteriana y enzimática) durante el período de tratamiento de los animales.

La vía de administración utilizada es tanto la vía intravenosa como la oral con el fin de estimar el grado de absorción oral del producto (en sus diferentes formas químicas). La principal vía de incorporación de los radionucleidos es la inhalación de partículas radiactivas en suspensión o de aerosoles radiactivos, por tanto, es imprescindible realizar estudios de exposición de los animales a aerosoles de material radiactivo. Recientemente, el CIEMAT ha adquirido un sistema de inha-

lación de aerosoles para iniciar los estudios de incorporación de radionucleidos por esta vía (Figura 2). El sistema comprende, a grandes rasgos, una cámara de inhalación, un generador de aerosoles y un equipo para monitorizar las características del aerosol generado. Otra opción también reflejada en la literatura científica,

cuando no se dispone del sistema de inhalación, es la instilación traqueal del material radiactivo [9]; no obstante, este procedimiento obvia la incorporación y deposición del radionucleido en la región extratorácica.

La determinación adecuada de las fases de absorción y de distribución, de eliminación o el conjunto de todas ellas requiere disponer de un número suficientemente grande de muestras biológicas, recolectadas a intervalos de tiempo adecuados para caracterizar las distintas fases biocinéticas; además, los intervalos horarios de las administraciones para el caso de exposiciones crónicas debe establecerse de forma adecuada. Cuando se administra una sustancia a un animal por cualquier vía, el objeto debe ser conseguir la mejor práctica, puesto que los errores en cualquier estadio pueden provocar un sufrimiento evitable y un uso desmesurado de animales vivos. La mejor práctica se basa en minimizar o evitar efectos adversos, disminuir cuanto se pueda el número de animales utilizados y maximizar la calidad y aplicabilidad de los resulta-

dos. Una herramienta útil para este propósito es el empleo de simulaciones por ordenador. En nuestros laboratorios, desde hace ya algunos años, se viene empleando un programa informático, ADAPT II, diseñado inicialmente para el análisis farmacocinético y farmacodinámico [10]. Este programa permite simular el comportamiento del radionucleido en los animales y, por tanto, seleccionar los tiempos de muestreo más adecuados así como el método analítico óptimo para determinar la actividad del radionucleido en las muestras biológicas.

La determinación de las concentraciones plasmáticas durante la fase que sigue a la absorción, debe cubrir, a ser posible, dos o tres semividas biológicas, de forma que se evite la confusión entre los procesos de distribución y de eliminación. Si se tiene la mínima sospecha de una semivida biológica terminal muy larga, las concentraciones plasmáticas deben seguirse durante mucho más tiempo. No obstante, ciertos radionucleidos tienen una semivida biológica tan larga que se hace imposible seguir este criterio; además, el tiempo de muestreo post-administración va a depender del período de semidesintegración del radionucleido en estudio. Las muestras de sangre pueden ser obtenidas de la vena caudal, mediante punción cardíaca o de la vena yugular canulada (es la aconsejable). Un volumen alrededor de 200-300 μl es suficiente para realizar los análisis necesarios.

Métodos analíticos

Los métodos empleados para la medida de la radiactividad aprovechan los efectos producidos por la radiación al interactuar con la materia. El sistema de detección a emplear de-

penderá del tipo de radiación producida por el radionucleido de interés; así, si se quiere cuantificar la radiactividad total en muestras biológicas (sangre, orina, tejidos, etc.) que contienen un radionucleido emisor beta o gamma se recurre a un contador de centelleo líquido o sólido, respectivamente; si nuestro interés se centra en la cuantificación de un emisor alfa se emplea el centelleo líquido o la espectrometría alfa. En algunos casos, se recurre a métodos analíticos específicos como sucede con la fosforimetría cinética inducida por láser y la espectrometría de masas con plasma de inducción acoplada, empleada para la determinación de uranio en muestras de orina [11]. Aunque a continuación se comenta brevemente la espectrometría de centelleo para muestras biológicas, se hará hincapié en otro sistema de detección de radiactividad de mucha utilidad en estudios biocinéticos con animales de experimentación cuando se emplean radionucleidos, la *macroautorradiografía de animal completo* (MARG).

Espectrometría de centelleo

Los contadores de centelleo se basan en la conversión de la radiación emitida por el radionucleido en impulsos luminosos (fotones) que inciden sobre el fotocátodo del detector, produciendo una avalancha de electrones. Los electrones desprendidos inician una descarga eléctrica, que es amplificada en un tubo fotomultiplicador y detectada como un impulso eléctrico por el contador. El fotomultiplicador convierte el destello de luz en un pico de voltaje (pulso o cuenta), de muy corta duración. El número de cuentas producidas en un tiempo co-

nocido de medida de la radiactividad de la muestra biológica se expresa normalmente en cuentas por minuto (cpm).

La conversión de la radiación emitida por el radionucleido en impulso luminoso se realiza gracias a la existencia de sustancias fluorescentes que son capaces de captar la radiación pasando sus electrones a un estado excitado. Posteriormente, los electrones vuelven a su estado basal, emitiendo la energía recibida en forma de fotones. Las sustancias fluorescentes utilizadas pueden ser líquidas (centelleo líquido) o sólidas (centelleo sólido). El uso de uno u otro tipo de contador depende del tipo de radionucleidos que se necesite medir, utilizando contadores de centelleo sólido y líquido para emisores gamma y beta/alfa, respectivamente.

Cuando se analiza la radiactividad total por centelleo líquido, las muestras deben ser tratadas previamente al análisis con el fin de disminuir las interferencias que se producen en el proceso de transferencia de energía (por autoabsorción y extinción); el proceso implica solubilizar, digerir y decolorar las muestras antes de su análisis, así como la realización de una curva patrón de extinción con el fin de calcular la eficiencia del recuento, necesaria para estimar el valor de la radiactividad en las muestras.

En el caso de la medida de la radiactividad emitida por emisores gamma, las muestras no deben ser procesadas, ya que la radiación producida es capaz de salir de la muestra y alcanzar directamente el detector.

Macroautorradiografía de animal completo

La autorradiografía (localización y

registro de un radionucleido dentro de un espécimen sólido) en cortes de animal completo, permite la detección y cuantificación del radionucleido de interés en diferentes órganos/tejidos del organismo y, por tanto, contribuye al conocimiento del modelo farmacocinético del compuesto objeto de estudio. Esta técnica permite visualizar la distribución bidimensional del radionucleido incluso en pequeñas estructuras anatómicas o en regiones localizadas de un órgano [12].

Tras la administración del radionucleido, se procede al sacrificio del animal de experimentación y una vez fijado (mediante técnicas habituales en histología, en el caso de sustancias no difusibles, o mediante congelación, en el caso de sustancias altamente difusibles), se procede a la obtención de cortes suficientemente finos del animal completo (de 50 a 100 μm de espesor). A continuación se procesan las secciones de forma que puedan ser fácilmente manipuladas a temperatura ambiente (deshidratación mediante alcoholes de graduación creciente, o liofilización). La actividad que se suele emplear en la MARG varía entre 1 y 50 kBq/kg de peso corporal para emisores beta/gamma; para el caso de emisores alfa todavía no se ha determinado experimentalmente cuál es la dosis aconsejable para su posterior detección.

Emisores beta/gamma

La visualización de la distribución de la radiactividad emitida por emisores beta o gamma en las secciones de animal completo, se realiza mediante la aposición de dichas secciones a películas, las cuales contienen emulsiones fotográficas formadas por cristales

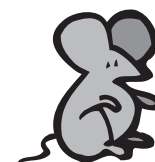


Figura 3. Autorradiografía de un corte sagital de animal completo obtenido tras administración de una molécula marcada con ^{14}C . Las zonas más oscuras corresponden al lugar de mayor depósito del radionucleido.

de haluro de plata suspendidos en una fase compuesta mayoritariamente de gelatina. Esta exposición ha de realizarse a bajas temperaturas (-20°C a -80°C) para evitar en lo posible el ennegrecimiento espontáneo de las películas ("fogging"). Cuando las partículas beta o los rayos gamma pasan a través de la emulsión, los iones plata se convierten en átomos de plata. Esta imagen latente se transforma en una imagen visible durante el proceso de revelado, sistema de amplificación en el cual los átomos de plata se reducen a plata metálica. Los cristales que no han estado expuestos se extraen por disolución en un fijador, resultando en una imagen autorradiográfica la cual representa la distribución de la radiactividad en la muestra original. Los tiempos de exposición para las actividades empleadas normalmente varían entre 3 semanas para el ^{14}C y 10 semanas para compuestos con ^3H .

Aunque generalmente la distribución cuantitativa de la radiactividad presente en cada órgano/tejido se realiza mediante recuento por centelleo líquido o sólido, dependiendo del tipo de emisor, también se puede estimar mediante MARG. El análisis cuantitativo de la imagen obtenida se realiza tras exponer una serie de patrones radiactivos junto con las muestras objeto del estudio, con el fin de relacionar los diferentes niveles de ennegreci-

miento (niveles de gris) producidos (tras digitalizar la imagen) con la cantidad de radiactividad existente en las muestras mediante un análisis densitométrico (Figura 3); el espesor de las muestras y las características del material radiosensible de la emulsión radiográfica hacen que el método sea semicuantitativo, ya que la respuesta es lineal en un rango muy estrecho.

En estos últimos años se ha desarrollado una nueva técnica, denominada *macroautorradioluminografía de animal completo*, que en vez de usar películas radiográficas utiliza una pantalla de fósforo compuesta de cristales de fluorobromuro de bario activado con europio (BaFBr:Eu^{2+}). Estos cristales son capaces de almacenar la energía liberada en la emisión de partículas beta o rayos gamma; la energía almacenada se convierte en luminiscencia después de ser estimulada la pantalla con un haz fino de láser. Ésta luminiscencia se detecta en un tubo fotomultiplicador y se convierte en una señal eléctrica generando una imagen cuantitativa que representa la distribución de la radiactividad en la secciones en estudio del radionucleido marcado. Este método crea de forma automática imágenes digitalizadas, además es capaz de cuantificar en un rango más amplio y también permite obtener resultados cuantitativos en un

tiempo mucho más corto que el empleado con las películas radiográficas [13].

Emisores alfa

En el caso de radionucleidos emisores alfa, la determinación de los valores de actividad en tejidos y excretas mediante técnicas radiométricas implica, generalmente, un proceso de mineralización del material biológico, extracción del radionucleido mediante cromatografía y, finalmente, preparación de la muestra para su posterior análisis mediante espectrometría alfa o de centelleo líquido. Este proceso es laborioso y requiere una considerable cantidad de tiempo para la medida de cada muestra y, además, genera un cierto volumen de residuos. Alternativamente, la actividad en diferentes órganos/tejidos puede estimarse mediante MARG, no obstante, la detección y cuantificación de emisores alfa en secciones de animal completo mediante la utilización de películas radiográficas y pantallas de fósforo es ineficaz. Ésta se puede llevar a cabo mediante DTS (Detección por Trazas en Sólidos), sistema que se ha venido utilizando recientemente en los laboratorios del CIEMAT [14-17].

Los detectores sólidos de trazas nucleares son detectores pasivos a la radiación ionizante (por ejemplo CR-39, polímero de alil diglicol carbonato). Como tales, una partícula energética que incida sobre ellos les produce un daño permanente que puede ser visualizado y analizado mediante procesos adecuados en cualquier momento posterior a su registro. El método DTS se puede resumir en tres pasos:

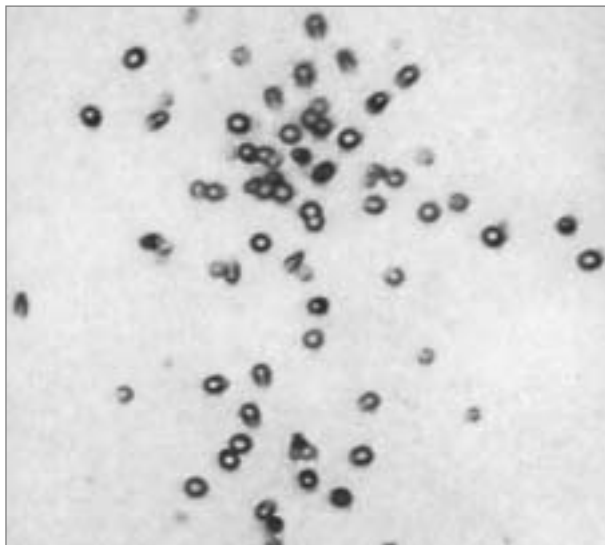


Figura 4. Trazas producidas por uranio natural y grabadas en un detector CR-39.

químico, se obtiene una traza microscópica de entre 10 y 50 μm , que deberá ser detectada y caracterizada. El procedimiento de conteo más directo es usar un microscopio óptico. De esta forma, el número de trazas grabadas por unidad de área dará una idea del número de partículas incidentes, y el tamaño de la traza, medido en la superficie del material, indi-

cará la energía de la partícula. En condiciones establecidas de revelado químico se puede obtener una eficiencia de detección superior al 90%. Para la lectura de las trazas, se pueden utilizar sistemas simples, como la lectura directa o una cámara de TV acoplada a un microscopio óptico y un monitor de vídeo; otros más complejos, basados en densitometría, y otros, actualmente los más avanzados, por medio del análisis digital de imágenes, que permite automatizar las labores de recuento y determinación de superficies y factores de forma (Figura 4).

Si conjuntamente con los cortes sagitales de animal completo se exponen patrones de actividad conocida, se puede relacionar la densidad de trazas (expresada en n° trazas/ mm^2) con la actividad (expresada en Bq/g tejido) presente en un órgano/tejido, que es el valor que interesa a la hora de estudiar el modelo biocinético del radionucleido en análisis. Además, esta técnica también permite la visualización del radionucleido en zonas

concretas de un órgano o tejido, localización que es de extrema importancia a la hora de evaluar los efectos sobre la salud tras la exposición a la radiación ionizante.

Análisis y estudio de los hallazgos experimentales

Las ecuaciones que describen el comportamiento de un radionucleido en el organismo, es decir, la transferencia entre los distintos compartimentos del modelo, son ecuaciones diferenciales de primer orden del tipo:

$$\frac{dY_i}{dt} = \lambda Y_i + \sum_{j=1}^k (A_{ji} - B_{ji} Y_i) \quad i = 1, \dots, k$$

donde k es el número de compartimientos en el modelo, $Y_i(t)$ es la actividad en el compartimiento i, λ es la constante de desintegración del radionucleido, y A_{ji} y B_{ji} son las tasas de transferencia desde el compartimiento j al i y desde el i al j, respectivamente.

Los parámetros y constantes del modelo biocinético se obtienen, en la práctica, mediante programas informáticos adecuados, ajustando la función exponencial que se deriva por regresión no lineal. Los métodos de cálculo por regresión no lineal utilizan como función de minimización los conocidos como mínimos cuadrados que también son empleados en regresión lineal. Esta función básicamente consiste en la siguiente expresión:

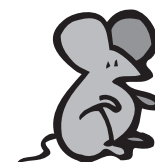
$$\sum \frac{(C_{obs} - C_{teor})^2}{DE_{C_{obs}}}$$

el denominador corresponde al cuadrado de la desviación estándar de las concentraciones observadas y C_{obs} y C_{teor} son los valores observados y los calculados, respectivamente.

- **Exposición a la radiación ionizante.** Consiste en colocar el detector plástico en contacto íntimo con el corte sagital de animal completo; las partículas alfa que pasan a su través rompen el polímero a lo largo de su trayectoria.

- **Revelado químico de la traza.** Después de la exposición del detector plástico a la radiación ionizante, éste se somete a un ataque químico de desgaste superficial, produciéndose un ataque preferencial en las zonas donde incidió la partícula alfa a lo largo de su trayectoria, formándose un "cono" que se le suele llamar traza grabada. En este proceso de revelado los parámetros básicos son: las características propias del material del detector plástico, el tipo de solución química de grabado y su concentración (generalmente una disolución de NaOH o KOH 6-7N), la temperatura de revelado (60-80 $^\circ\text{C}$) y el tiempo de permanencia en la solución (alrededor de 8 horas).

- **Caracterización y lectura de la traza.** Finalmente, después del revelado



A la hora de trabajar con animales de experimentación, como no se dispone de sujetos clónicos, por una parte, y al no poder asegurar la igualdad de todas las variables que afectan al "sistema", resulta imposible obtener ensayos replicados que no se encuentren afectados por la variabilidad inter- e intra-individual respectivamente, habitual en este tipo de estudios. La varianza de los datos experimentales de las observaciones habitualmente no se ajusta a lo previsto "a priori". Muy frecuentemente dicha varianza se encuentra influenciada por diversos factores de variabilidad aleatoria debido, entre otros, a los diferentes pasos de las técnicas analíticas y a los esquemas de muestreo. Además, la varianza residual proveniente del análisis de regresión de datos biocinéticos está constituida no sólo por los errores debidos a la varianza analítica, sino también por desviaciones aleatorias debidas al modelo biocinético asumido. Así, el empleo de análisis de regresión ponderado es una práctica habitual, debido a que está generalmente aceptado que todas y cada una de las observaciones de un estudio biocinético necesariamente han sido evaluadas con el mismo grado de certeza.

El programa informático que habitualmente se utiliza en nuestros laboratorios es ADAPT II, como ya se comentó anteriormente. El programa permite: (i) estimar las tasas de transferencia entre compartimentos, así como su incertidumbre, si se conoce la actividad del radionucleido depositado en dichos compartimentos, (ii) predecir la actividad de un radionucleido en cualquier compartimiento en función del tiempo, si se conoce el valor de las tasas de transferencia entre

compartimentos y, por último, (iii) diseñar los tiempos de muestreo en función del modelo empleado. El uso del programa es relativamente sencillo y, tanto las ecuaciones diferenciales del modelo como el modelo de varianza de los datos, se codifican de acuerdo con la sintaxis del lenguaje FORTRAN. En la actualidad, se está empleando este programa para implementar el modelo biocinético del uranio en ratas de acuerdo con los datos descritos en la bibliografía científica.

En un trabajo que se publica en el presente número de Radioprotección se detalla el funcionamiento y posibilidades de otro programa informático, HUMORAP, que tiene la ventaja de proporcionar expresiones analíticas para la deposición/retención de los radionucleidos en los distintos compartimentos del modelo, así como para la excreción urinaria y fecal.

PERSPECTIVAS DE FUTURO

Aunque el tipo de información preferida a la hora de construir un modelo biocinético es aquella que se deriva de datos obtenidos en seres humanos, muchas veces existen varias limitaciones, entre las que se encuentran: grupos pequeños de estudio, períodos de observación cortos, una elevada variabilidad entre los individuos del mismo grupo, el empleo de individuos enfermos cuyo estado puede modificar la biocinética del elemento, datos insuficientes en mujeres y niños, recolección de muestras pequeñas y no representativas del tejido en estudio, inexactitud en las técnicas de medida, incertidumbre en el patrón o nivel de exposición del elemento y condiciones de estudio atípicas. Por ello, el empleo de animales de experimenta-

ción se hace imprescindible a la hora de aumentar el conocimiento y, por tanto, el grado de confianza que se tenga del modelo biocinético en estudio.

La aportación de este tipo de estudios se estima muy prometedor en dos áreas de la protección radiológica: en la optimización de evaluaciones dosimétricas y en la decorporación de radionucleidos.

Por una parte, la evaluación dosimétrica de los trabajadores del ciclo del combustible nuclear requiere conocer, además del comportamiento de los radionucleidos en el organismo, la forma química de los compuestos que pueden ser inhalados con el fin de asignar el compuesto de interés a una de las tres categorías (F, M o S) que considera ICRP. A cada una de estas categorías le corresponden unos parámetros de absorción a los cuales se les asigna unos valores por defecto siempre y cuando no se tenga información específica de cada compuesto; las curvas estimadas de excreción urinaria diaria y de retención pulmonar de la mayoría de los compuestos formados durante la fabricación del combustible nuclear muestran que el comportamiento de éstos dentro del organismo no está bien descrito al utilizar los valores por defecto de los parámetros de absorción [9,18-22], confirmando la necesidad de utilizar datos específicos del compuesto. ICRP recomienda que, siempre que sea posible, se debe utilizar preferentemente la información específica de cada compuesto en vez de los parámetros por defecto. Esta información específica del compuesto es utilizada posteriormente para derivar el coeficiente de paso a dosis (Sv/Bq) e interpretar las medidas obtenidas en los estudios

de bioeliminación del material inhalado con la consiguiente optimización de las evaluaciones dosimétricas. Dos grupos europeos sitos en el NRPB (National Radiological Protection Board, UK) y en el IRSN (Institute de Radioprotection et de Sûreté Nucleaire, France) recurren al empleo de animales de experimentación para estimar el valor de los parámetros de absorción del compuesto de interés. Actualmente, en el marco del Proyecto de Dosimetría de las Radiaciones del CIEMAT, se ha comenzado a trabajar en esta línea que promete resultados muy interesantes.

Por otra parte, una actividad que ha despertado recientemente un gran interés en la comunidad científica es disponer de fármacos (agentes quelantes) para eliminar los radionucleidos del organismo después de una exposición accidental. Aunque en algunos países europeos ya están autorizados fármacos para la descorporación (CaDTPA en Alemania) o están en fase de aprobación (como en Francia), aún a pesar de sus efectos secundarios, en nuestro país no existe ningún movimiento al respecto. Sin duda, el empleo de animales de experimentación para estudiar la farmacocinética de estos agentes quelantes marcados con trazadores radiactivos, su farmacodinámica (su efecto farmacológico, es decir, facilitar la eliminación de radionucleidos) y la toxicología redundará en beneficio de tratamientos médicos adecuados y en el desarrollo de nuevas aplicaciones terapéuticas sin efectos secundarios, por citar los más importantes.

REFERENCIAS

1. ICRP Publication 30: Limits for the Intake of Radionuclides by Workers, Part

1. Annals of the ICRP Vol. 2/3-4; 1979.

2. ICRP Publication 54: Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation. Annals of the ICRP Vol. 19/1-3; 1989.

3. ICRP Publication 66: Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Annals of the ICRP Vol. 24/1-3; 1994.

4. ICRP Publication 67: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2 Ingestion Dose Coefficients. Annals of the ICRP Vol. 23/3-4; 1994.

5. ICRP Publication 69: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 3 Ingestion Dose Coefficients. Annals of the ICRP Vol. 25/1; 1995.

6. ICRP Publication 71: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients. Annals of the ICRP Vol. 25/3-4; 1995.

7. ICRP Publication 78: Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers. Annals of the ICRP Vol. 27/3-4; 1998.

8. Métiévier, H. The Work of Committee 2 of ICRP on a new model for the human alimentary tract. Radiat.Prot. Dosim. 79:273-277; 1998.

9. Ansoborlo E., Chazel V., Hengé-Napoli MH., Pihet P., Rannou A., Bailey MR. and Stradling N. Determination of the physical and chemical properties, biokinetics, and dose coefficients of uranium compounds handled during nuclear fuel fabrication in france. Health Phys 82 (3), 279-289; 2002.

10. D'Argenio, D.Z. and A. Schumitzky. ADPAT II User's Guide: Pharmacokinetic/Pharmacodynamic Systems Analysis Software. Biomedical Simulations Resource, Los Angeles; 1997.

11. Robredo L.M., Sierra I., Navarro T, Serrano J. Estudio comparativo de técnicas de medida aplicadas en dosimetría interna para la determinación de uranio en muestras de orina. Radioprotección, Mayo: 326-328; 2002.

12. Shimada M, Watanabe M. Recent progress in whole-body radioautography. Cell Mol Biol,41(1):39-48; 1998.

13. Coe RAJ. Quantitative whole-body autoradiography. Regul Toxicol Pharmacol, 31(2):S1-S3; 2000.

14. Morcillo MA, Carlos R, Santamaría

J. Autorradiografía de emisores alfa mediante detección por trazas en sólidos (DTS): Una técnica para su cuantificación en muestras biológicas. Radioprotección, Septiembre: 13-14; 1996.

15. Morcillo MA, Santamaría J. Modelos biocinéticos de emisores alfa. Aplicación de la autorradiografía DTS. Radioprotección, Septiembre: 302-303; 2000.

16. Morcillo M.A. y Navarro T. Modelos biocinéticos de radionucleidos emisores beta y gamma en animales de experimentación. Radioprotección, Mayo: 333-335; 2002.

17. M.A. Morcillo, F.R. Martín, T. Navarro. Empleo de isótopos radiactivos en estudios biocinéticos con animales de experimentación. Revista de Salud Ambiental, Vol II(1): 16-22; 2002.

18. Hodgson A. Application of the ICRP HRTM to uranium compounds produced during the manufacture of nuclear fuel. Rad Prot Bull No. 229, 14-18; 2001.

19. Chazel V., Houpert P., Paquet F. and Ansoborlo E. Effect of absorption parameters on calculation of the dose coefficient: example of classification of industrial uranium compounds. Radiat Prot Dosim 94 (3), 261-268 ; 2001.

20. Ansoborlo E., Chazel V., Houpert P., Hengé-Napoli MH., Paquet F. Interprétation des données physico-chimiques et biocinétiques pour le calcul de dose: exemple d'un composé industriel UO2 appauvri fabriqué pour le combustible MOX. Radioprotection 32 (83), 319-330; 1997.

21. Ansoborlo E., Hengé-Napoli MH., Chazel V., Gibert R. and Guilmette RA. Review and critical analysis of available in vitro dissolution tests. Health Phys. 77(6): 638-645; 1999.

22. Stradling N., Hodson A., Ansoborlo E., Bérard P., Etherington G., Fell T., Rance E. and Le Guen B. Industrial uranium compounds: exposure limits, assessment of intake and toxicity after inhalation. Report NRPB-W22. Chilton, National Radiological Protection Board; 2002.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su reconocimiento a la Dra. Almudena Real por su estímulo y apoyo continuo, sin el cual no habría sido posible esta contribución.



INVESTIGACIÓN DEL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR EN TEMAS DE RADIOPROTECCIÓN

Los riesgos radiológicos tienen su origen en la exposición del individuo, por irradiación o contaminación, a radiaciones ionizantes. Se necesita disponer de las capacidades técnicas adecuadas para conocer la naturaleza de esos riesgos, evaluar su magnitud y adoptar las medidas de protección necesarias para reducirlos hasta donde sea razonablemente posible. Las líneas de Investigación y Desarrollo del CSN se refieren a estos temas:

- Profundizar en el conocimiento de los efectos biológicos de las radiaciones mediante la realización de estudios radiobiológicos para determinar con precisión la relación que existe entre la dosis que produce la exposición a las radiaciones ionizantes y sus efectos sobre la salud de las personas.
- Desarrollo de nuevas técnicas de dosimetría personal para adaptarse a nuevas situaciones, técnicas instrumentales y tecnologías de gestión de la información.
- La evaluación de la naturaleza y magnitud de las situaciones de exposición a las radiaciones ionizantes como consecuencia de la liberación controlada o incontrolada de material radiactivo al medio ambiente.
- El desarrollo de técnicas de gestión de materiales y residuos radiactivos adecuadas a cada situación para reducir los riesgos asociados a la liberación de material radiactivo al medio ambiente.

El Plan de I+D del CSN, contempla la mejora del conocimiento de la

- Protección Radiológica a través de programas sobre el estudio de las bases biológicas de la Protección Radiológica; el desarrollo de técnicas dosimétricas personales; el desarrollo de técnicas de evaluación del impacto radiológico de las instalaciones, actividades o situaciones que, de forma real o potencial, liberen material radiactivo al medio ambiente, y por último, el desarrollo de técnicas de gestión de materiales y residuos radiactivos.

El Plan Estratégico del Consejo para el período 2002-2006 ha reordenado las actividades de investigación y desarrollo en 10 programas que incluyen proyectos que responden a las necesidades futuras y próximas de la seguridad nuclear y la protección radiológica. De estos 10 programas, tres están dedicados a la protección radiológica: protección radiológica de las personas, evaluación del impacto radiológico y reducción del impacto radiológico.

• Programa de Protección radiológica de las personas

Los proyectos de investigación incluidos dentro de este programa pueden englobarse dentro de tres áreas fundamentales, a saber, estimación de dosis o dosimetría, optimización de la protección radiológica y efectos biológicos de las radiaciones.

En relación con la *estimación de dosis*, la aplicación de recomendaciones tales como las de ICRP en cuanto a modelos metabólicos, coeficientes de dosis y factores de riesgo, implican la necesidad de coordinación de criterios y métodos de estimación de dosis.

Los proyectos sobre esta área se refieren a los siguientes temas:

- Desarrollo e implantación de modelos metabólicos para determinar las dosis por incorporación de material radiactivo.
- Estudios encaminados a mejorar los procesos de calibración de los contadores de radioactividad corporal, concretamente respecto a los maniqués

- que se utilizan en dichos procesos.
- Avance y consolidación de dosímetros para la gestión de las dosis en tiempo real.

- Búsqueda de instrumentos y técnicas de medida con mejores capacidades en cuanto a sensibilidad y respuesta respecto a los neutrones, campos mixtos de radiación y partículas calientes.

- Desarrollo de códigos de cálculo en estimaciones dosimétricas.

- Avance en la infraestructura necesaria para la determinación de dosis internas por emisores alfa y beta.

- Dosimetría retrospectiva.

En relación con la protección radiológica de las personas, el principio de *optimización de la protección radiológica* se ha constituido internacionalmente como el criterio fundamental sobre el que se basan las actuaciones de protección radiológica para reducir la exposición. Este principio, más conocido por el acrónimo de sus siglas inglesas, ALARA, recomienda que las dosis se mantengan tan bajas como razonablemente sea alcanzable teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

Dentro de las diferencias alternativas para la reducción de dosis en el momento presente se encuentran especialmente interesantes aquellas encaminadas a la optimización de la protección radiológica asociada a la fuente de exposición, lo que se conoce de forma genérica como término fuente. Es en este aspecto donde son posibles mayores niveles de mejora pues, aún con la gestión optimizada, si se reduce la fuente de radiación, se reducirá consecuentemente la exposición de los trabajadores. Estos niveles de mejora van o suelen ir asociados al desarrollo y avance tecnológicos, por lo que las líneas de actuación que aquí se definan deberán ir siendo actualizadas conforme la tecnología lo demande.

En relación con los *efectos biológicos de la radiación* existe un reconocimiento internacional sobre la necesidad de realizar estudios que permitan conocer los efectos biológicos de la radiación. Todo ello con el objeto de establecer unas bases científicas sólidas de apoyo al actual criterio básico de la

Protección Radiológica de considerar una relación lineal y sin umbral entre el riesgo y las dosis de exposición.

Las líneas propuestas para este campo de investigación, son estudios sobre la inducción y reparación del daño en el DNA celular; efectos de los daños en el genoma sobre la salud y predisposición al cáncer; daño producido por las radiaciones y estudios de inestabilidad génica.

• Programa de evaluación del impacto radiológico

Se incluyen en esta línea la promoción de proyectos que tengan por objeto desarrollar el concepto de protección radiológica del medio ambiente debido *al impacto radiológico de la operación normal de las instalaciones*, el desarrollo de metodologías que permitan la evaluación del impacto radiológico a partir de datos medidos directamente en campo, y la armonización de los diferentes modelos de evaluación disponibles en el CSN para adaptarlos a las nuevas disposiciones reglamentarias.

Las líneas estratégicas consideradas en esta área son las siguientes:

- Completar el desarrollo y puesta en práctica de una metodología para la evaluación de la seguridad de almacenamiento superficial de residuos radiactivos.

- Desarrollo de un modelo de estimación realista de dosis debidas a los efluentes líquidos y gaseosos vertidos por las instalaciones nucleares.

- Estudio sobre la calidad radiológica del agua en todo el territorio nacional que sirva de base para el desarrollo del concepto de vertidos "close to zero" utilizado en la aplicación del convenio OSPAR.

- Investigaciones nacionales coherentes con el ámbito internacional para desarrollar el concepto de protección radiológica ambiental (Proyecto FASSET).

Por otra parte, se está dedicando gran atención al desarrollo de técnicas de evaluación del *impacto de exposiciones potenciales debidas a los mate-*

riales radiactivos liberados al medio ambiente como consecuencia de accidentes ocurridos en una instalación o actividad.

En esta categoría se incluyen las posibles exposiciones debidas a las liberaciones de materiales radiactivos al medio ambiente de forma incontrolada, de las que, por tanto, no se conoce ni dónde ni cuándo, ni en qué circunstancias pueden ocurrir. Se incluyen en estos temas las descargas debidas a los accidentes que pueden ocurrir en instalaciones o actividades reguladas o los accidentes que pueden tener lugar en instalaciones no nucleares como consecuencia de la pérdida de control de una cantidad significativa de material radiactivo.

De igual modo, es objeto de renovada atención, la exposición a la *radiación natural* producida por los radionucleidos presentes en la corteza terrestre, en general en concentraciones muy bajas, pero que pueden concentrarse como consecuencia de determinadas actividades humanas.

En esta categoría se incluyen las exposiciones a las radiaciones emitidas por los radionucleidos existentes en la corteza terrestre y en los materiales o residuos procesados en algunas industrias o actividades no nucleares, tales como, los balnearios, la industria de la cerámica, de los fertilizantes, algunas actividades mineras. También se incluyen los estudios necesarios para evaluar la exposición al radón en viviendas y aguas.

Los proyectos sobre esta área se refieren a los siguientes temas:

- Elaboración del mapa de radiación natural de la Península Ibérica.
- Desarrollo de sistemas de medida.
- Estudios relacionados con la distribución del radón.
- Estudios relacionados con los hábitos alimenticios.

• Programa de Reducción del Impacto Radiológico

En relación con el desarrollo de técnicas de gestión de materiales y residuos, se están desarrollando técnicas instru-

mentales de caracterización radiológica y fisicoquímica de materiales, suelos y paredes; comportamiento de radionucleidos en diferentes medios; acondicionamiento de residuos; descontaminación y reducción de residuos, y técnicas de telemanipulación, entre otros aspectos. Esta línea también incluye el desarrollo de técnicas de gestión de residuos generados como consecuencia de intervenciones y para el desmantelamiento de instalaciones nucleares.

Por último, se plantea el desarrollo de técnicas de intervención en áreas afectadas por accidentes, es decir, técnicas de caracterización de zonas, técnicas de descontaminación, estudios de comportamiento de radionucleidos en diferentes circunstancias, técnicas de intervención y criterios para establecer programas de seguimiento a corto y largo plazo, entre otros.

José Luis Butragueño Casado
Jefe de la Oficina
de Investigación del CSN

JORNADA TÉCNICA SOBRE PROYECTOS DE I+D PATROCINADOS POR EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

El 12 de diciembre del año 2002, tuvo lugar en el CSN la VI Jornada Técnica de I+D. La jornada presentada por la presidenta del Consejo tuvo lugar en sesiones de mañana y tarde.

En la sesión de la mañana, moderada por el vicepresidente, José Ángel Azuara, y por la consejera del Organismo, Paloma Sendín, se presentó un conjunto de proyectos referentes a seguridad nuclear y residuos de alta actividad que habían finalizado recientemente o se encontraban a punto de serlo en fechas próximas.

La sesión de la tarde, moderada por la consejera Carmen Martínez, se dedicó a protección radiológica y

residuos de baja y media actividad e, igualmente, se expusieron los desarrollos de proyectos acabados o en estado de avanzada resolución. Esta breve reseña se centra en la sesión destinada a la Protección Radiológica.

En primer lugar, el Director Técnico de Protección Radiológica en funciones, Juan Carlos Lentiño Lentiño, presentó un avance en los programas referentes a protección radiológica y residuos de baja y media actividad. A continuación se presentaron cuatro proyectos de investigación finalizados a lo largo del año 2002 y que son los siguientes:

Dosis internas en técnicas radioisotópicas "in-vitro" e "in-vivo" utilizadas en biología celular y molecular.

Presentado por Teresa Navarro. CIEMAT

Se trata de un proyecto desarrollado conjuntamente por el Ciemat y por el CSIC con el objetivo principal de desarrollar la metodología necesaria para que, en virtud de las técnicas radioisotópicas utilizadas en los Centros de Investigación, pueda identificarse qué técnicas necesitarían implementar a los programas de vigilancia de la contaminación interna.

Este objetivo se ha abordado mediante el estudio de dichas técnicas y el desarrollo de los protocolos de medida necesarios. Posteriormente, se han definido criterios destinados a establecer y proponer programas de control de la contaminación interna, entendiendo por tal, la realización de medidas, la interpretación de los resultados de las mismas y el desarrollo de modelos metabólicos y estimaciones dosimétricas aplicables a compuestos marcados utilizados en biología molecular y celular.

Caracterización de matrices para la gestión de residuos de baja y media actividad.

Presentado por Juan Carlos Múgica. INASMET

Se trata de un proyecto desarrollado en colaboración con Enresa y UNESA,

actuando como centros tecnológicos subcontratados para la realización experimental la Fundación INASMET y el Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC.

El objetivo principal del proyecto ha sido la definición y caracterización de matrices de material vítreo partiendo de las condiciones normativas actuales y el estado del arte a nivel internacional, como alternativa a las matrices cementadas. Adicionalmente, se ha pretendido conocer la adecuación de los diferentes ensayos estudiados a la problemática concreta de los residuos generados en centrales nucleares españolas y a las condiciones de aceptación en El Cabril como base de futuros desarrollos de protocolos y metodologías de caracterización de matrices vítreas.

Desarrollo de una nueva técnica para la detección y evaluación "in situ" de roturas radioinducidas a nivel de secuencias específicas del DNA.

Presentado por José Luis Fernández. Centro Oncológico de Galicia.

Las aberraciones cromosómicas que resultan tras la exposición a radiaciones ionizantes son el resultado final de complejos procesos de inducción, reconocimiento, señalización, procesamiento y reparación del daño del ADN. En consecuencia, sólo unas pocas de las lesiones iniciales originadas por la radioexposición, algunas de aquellas no reparadas o mal reparadas, se traducirán en anomalías cromosómicas estructurales. Existen diferentes técnicas bioquímicas o morfológicas para detectar el daño inicial generado en el ADN, pero ninguna permite un estudio célula a célula, en diferentes secuencias del genoma.

Durante los tres años de contrato con el Consejo de Seguridad Nuclear, el Centro Oncológico de Galicia ha desarrollado una nueva técnica original que permite por primera vez estudiar el daño radioinducido a nivel del genoma global o a nivel de secuencias específicas, célula a célula, y detectar posibles variaciones intragenómicas, así como intercelulares, en la radiosensibilidad.

Dicha técnica se denomina DNA Breakage Detection-Fluorescence *In Situ* Hybridization (DBD-FISH) y combina las metodologías de células incluidas en microgeles de agarosa, el "unwinding" o desnaturalización alcalina parcial, empleado en radiobiología desde los años 70, y el FISH asistido por cámara digital de alta sensibilidad y análisis de imagen.

Adaptación de la cámara de radón del INTE/UPC a la norma ISO-13466 e intercomparación de sistemas de medida."

Presentado por Arturo Vargas. Universidad Politécnica de Cataluña.

Con el objetivo de alcanzar una fiabilidad adecuada de las medidas de la concentración de radón con sistemas pasivos, el Instituto de Técnicas Energéticas (INTE) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) inició, en diciembre de 2000, un proyecto con el concurso del CSN cuyos objetivos principales eran:

1. Acondicionar la cámara de radón del INTE a fin de disponer de un centro de referencia en España capaz de llevar a cabo las calibraciones de equipos de medida de la concentración de radón según se indica en la Norma Internacional.

2. Desarrollar los procedimientos de funcionamiento de la cámara y de calibración de los equipos de medida de la concentración de radón.

3. Realizar una campaña de intercomparación de sistemas de medida de la concentración de radón de 10 grupos españoles.

Una vez finalizado el proyecto, los beneficios obtenidos podrían resumirse en dos categorías: a) se dispone de una cámara radón de referencia en España contrastada con las de otros organismos internacionales de medida de la radiación y b) se dispone del conocimiento del nivel calidad en los sistemas de medida del radón que utilizan un buen número de grupos nacionales.

*José Luis Butragueño Casado
Jefe de la Oficina
de Investigación del CSN*

INFORMACIÓN SOBRE EL PLAN COORDINADO DE INVESTIGACIÓN (PCI) CSN-UNESA

Continúan en fase de ejecución los proyectos PR-10 "Términos fuentes en emergencia", PR-13 "Mejora del sistema de dosimetría interna", PR-14 "Nuevos desarrollos en dosimetría (TLD). Está pendiente de firma del Acuerdo Específico el proyecto PR-15 "Dosimetría de neutrones en instalaciones nucleares".

J. Incinillas
Secretario del
Comité Estratégico Paritario

PROYECTO ESPAÑOL SIMU2: Simulación Virtual para Planificación de Intervenciones en Entornos Radiactivos

En octubre de 2000 se lanzó el Proyecto SIMU2, liderado en sus inicios por DTN y posteriormente por TECNATOM, y en el cual han colaborado el CIEMAT y la Facultad de Informática de la UPM. Este proyecto, finalizado el pasado mes de octubre, ha contado con la subvención PROFIT 2000 y con la inestimable colaboración de la Central Nuclear de Almaraz como Planta piloto.

El objetivo de este proyecto ha sido el desarrollo de una aplicación informática, que posibilita la simulación de una tarea específica en un entorno de Realidad Virtual, facilitando información dosimétrica, tanto de distintos puntos del entorno, como de las dosis recibidas por los trabajadores durante la ejecución de la tarea simulada. Estas dosis se calculan teniendo en cuenta las fuentes radiactivas, los materiales de los componentes y los blindajes existentes en la zona. La utilización del Equipo de Detección Remota (EDR) de fuentes de CIEMAT constituye un medio adicional útil para estos propósitos.

Gracias a la aplicación de esta me-

todología, el Servicio de Protección Radiológica puede predecir de una manera más precisa las dosis que van a recibir los trabajadores que van a realizar una tarea, facilitando así la aplicación del Principio ALARA de optimización de dosis.

La utilización de una representación virtual del entorno radiactivo y de la tarea a desarrollar a partir de maniqués virtuales, facilita la planificación de trabajos al servicio de mantenimiento de la instalación, al poder simular las diferentes maneras de ejecutar el trabajo sin necesidad de acceder a zona controlada, con el consiguiente ahorro de dosis. Igualmente el servicio de formación puede utilizar esta aplicación para enseñar a los trabajadores zonas de planta donde han de realizar un trabajo, situación precisa de equipos, el procedimiento óptimo de ejecución de tareas, etc, evitándose así las dosis que recibirían si tuviesen que entrar a Planta para adquirir esta información.

Comité de Redacción

PROYECTO EUROPEO VRIMOR: Simulación Virtual para Planificación de Intervenciones en Entornos Radiactivos

Proyecto europeo del V Programa Marco del EURATOM, que comenzó en febrero 2001 y se finaliza en marzo del 2003. Los socios del proyecto son: NNC Ltd (UK), Tecnatom (España), RTS Advanced Robotics (UK), CIEMAT (Spain), SCK-CEN (Bélgica), y la Universidad Politécnica de Madrid (España).

El objetivo del Proyecto es desarrollar una metodología que combina tecnologías de escaneado del entorno geométrico mediante láser y del entorno radiológico mediante un equipo de detección remota, con herramientas de modelado geométrico y estimación de dosis, para conseguir un sistema intuitivo que permita analizar intervenciones en áreas radiológicas en un entorno 3D. Con ello se consigue minimizar la

exposición ocupacional, reduciendo riesgos y minimizando costes asociados a actividades de mantenimiento en CC.NN.

Esta novedosa combinación de tecnologías tiene como producto final dos aplicaciones informáticas fáciles de usar: una de ellas complementada con control de voz y la otra manejada a través de un ratón con control sobre múltiples grados de libertad y unas gafas de visión 3D.

Comité de Redacción

INFORMACIÓN SOBRE LOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE ENRESA

(Ver Objetivos y contenidos de los proyectos de investigación que promueve Enresa en el campo de la protección radiológica. Radioprotección 34(IX):58-61, 2002)

• **FASSET.** Se prepara una propuesta de continuación a presentar a la UE. Los resultados del proyecto han sido presentados en CIEMAT, en enero de 2003, dentro de una jornada sobre "Protección del Medio Ambiente" organizada por la SEPR, y en la que ICRP presentó también sus desarrollos en curso sobre el tema.

• **COMRA y CRP.** CIEMAT está preparando una propuesta de continuación para presentar a la UE y a ENRESA.

• **UEX-UPV.** Se sigue a la espera de la aprobación oficial del CSN para el inicio del proyecto.

• **UNIV.** de SEVILLA. Se está preparando una nueva propuesta para dar continuidad al proyecto a partir del 30 de junio de 2003, en que finaliza el actual.

• **VULNES.** En curso normal.

• **DOSIN.** Continuará durante 2003.

• **UEX** (Badajoz). Acaba de iniciarse el proyecto el 1 de febrero de 2003, tras la reunión de lanzamiento de enero de 2003.

M^o Teresa Ortiz
ENRESA

Conferencia sobre lecciones aprendidas en accidentes de radioterapia

El pasado 20 de diciembre, el Dr. Pedro Ortiz, del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), impartió en el Hospital Clínico San Carlos de Madrid una conferencia con el título "La importancia de la seguridad en la organización y operación de las instalaciones de radioterapia. Lecciones aprendidas de los accidentes".

Dada la expectativa que creó la citada conferencia, ésta fue retransmitida simultáneamente por videoconferencia en el salón de actos del Hospital Santa Creu i Sant Pau de Barcelona.

El contenido de la conferencia permitió a los asistentes de Madrid y Barcelona conocer las lecciones más importantes que se han aprendido a partir de los accidentes conocidos en instalaciones de radioterapia en todo el mundo. La retransmisión por videoconferencia permitió la difusión bidireccional en tiempo real de imagen y voz. Al final se abrió un turno de preguntas en el que se pudo intervenir tanto desde Barcelona como desde Madrid, valorándose como muy positivo el uso de esta tecnología para la difusión de este tipo de actos.

Copia de las diapositivas de la presentación que hizo el Dr. Ortiz puede encontrarse en la siguiente página web para todos aquellos interesados a los que no les fue posible asistir: www.ucm.es/info/fismed/

Comité de Redacción

Presentación del Manual General de Protección Radiológica en el medio hospitalario

El Ministerio de Sanidad y Consumo invitó a la SEFM y a la SEPR a presentar, en el marco de su Ponencia de Protección Radiológica, y en la reunión de

la misma celebrada el 14 de enero de 2003, sus dos últimas producciones editoriales conjuntas: La Revisión 1 del Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico (Aspectos Técnicos), y el Manual General de Protección Radiológica en el Medio Hospitalario. En coherencia con los ámbitos de actividad de ambas Sociedades, el Protocolo fue presentado por la SEFM, representada en la persona de su Presidente, Manuel Fernández Bordes, y el Manual lo fue por Francisco Carrera Magariño, miembro de la Junta Directiva de la SEPR proveniente del área sanitaria. Ambas presentaciones se realizaron en el apartado "Varios" del Orden del Día de la reunión.

Refiriéndonos en concreto a la presentación del Manual General de Protección Radiológica en el Medio Hospitalario, se realizó una presentación audiovisual ante una audiencia diversa, compuesta por asesores técnicos, representantes del Ministerio, de las Consejerías de Sanidad autonómicas, y del Consejo de Seguridad Nuclear. Por este motivo, la presentación constó de tres partes bien diferenciadas: una primera que incidía en la obligatoriedad de los Servicios y Unidades Técnicas de Protección Radiológica de disponer de un Manual de Protección Radiológica vigente y actualizado, sometido a la autorización del Consejo de Seguridad Nuclear, y en la necesidad de actualización que para todos ellos había supuesto la aprobación del nuevo Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes. Se destacó también la existencia de una Guía de Seguridad del CSN, la 7.3 (Rev. 1), que establece, entre otros, el contenido propuesto de un Manual de Protección Radiológica para ser aprobado por el organismo regulador.

En la segunda parte de la exposición, se destacó la adecuación de los contenidos del Manual respecto a los propuestos en la referida Guía de Seguridad, y se comparó el nuevo Manual con aquel del que, de alguna manera,

es heredero: el Manual General de Protección Radiológica del extinto INSALUD, editado en 1993, poniéndose de manifiesto la aparición de Capítulos que se echaban en falta tales como los de Sistemas de Calidad, Formación u Optimización.

Por último, se destacaron los elementos que, a nuestro juicio, proporcionan valor añadido al Manual: una mayor participación de profesionales y una mejor representación de las CC.AA. en su elaboración y revisión, y la vocación de "general" en sentido estricto, al ponerlo a disposición libre y gratuita en los sitios de internet de ambas sociedades. Para terminar, se distribuyeron copias del Manual entre los asistentes a la reunión, y se acordó elevar la propuesta de publicación del mismo por parte del Ministerio a los departamentos competentes.

Comité de Redacción

Situación actual del Sistema de Información sobre Protección Radiológica en Exposiciones Médicas

El Pleno del Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud, en su sesión del pasado 13 de enero, ha dado luz verde a la implantación, en el ámbito sanitario, del Sistema de Información sobre Protección Radiológica en Exposiciones Médicas (SIPREM). Con este Sistema se podrá disponer de información homogénea y actualizada sobre determinados aspectos de la protección radiológica de los pacientes y facilitará el cumplimiento de determinados aspectos de la legislación vigente en dicha materia.

*Juan Rodríguez de Tembleque
Ministerio de Sanidad y Consumo*

Relevancia en el Consejo de Seguridad Nuclear. Nuevo Director Técnico de Protección Radiológica, Juan Carlos Lentijo

El pasado día cinco de febrero, en la



Juan Carlos Lentijo toma posesión de su cargo de director técnico de Protección Radiológica en presencia de los miembros del Consejo de Seguridad Nuclear.

sede del Consejo de Seguridad Nuclear, tomó posesión de su nuevo cargo como director técnico de Protección Radiológica nuestro compañero y miembro de la Sociedad Española de Protección Radiológica Juan Carlos Lentijo Lentijo, que ya estaba sirviendo al Consejo como subdirector general de Protección Radiológica del Medio Ambiente. Juan Carlos Lentijo sustituye así a Ignacio Lequerica López, también destacado miembro de nuestra Sociedad, el cual había dimitido de su cargo y abandonado el Consejo por propio deseo. José Ignacio Lequerica fue el primer director técnico de Protección Radiológica, puesto creado por el Consejo anterior.

El Real Decreto de nombramiento se había publicado en el Boletín Oficial del Estado del sábado día 1 de febrero de 2003. De acuerdo con el Estatuto del Consejo, la designación corresponde al Gobierno a propuesta del vicepresidente segundo y ministro de Economía, previo el informe favorable del propio Consejo de Seguridad Nuclear.

En el acto de toma posesión estuvieron presentes la presidenta y los consejeros, así como numerosos miembros de los cuerpos técnico y laboral del Consejo y algunos invitados. En el acto de toma de posesión, la presidenta, María Teresa Esteban Bolea, destacó las cualidades que se acumulan en la persona nombrada y la importancia de la Protección Radiológica, especialmente en el campo hospitalario. Por su parte, Juan Carlos Lentijo destacó la importancia del trabajo en equipo, la gran preparación y eficacia del personal que va a dirigir y prometió dedicarse con atención y eficacia a la nueva tarea.

Radioprotección desea al nuevo director técnico de Protección Radiológica los mayores éxitos en su nueva misión.

Comité de Redacción

Nueva Junta Directiva de la Sociedad Nuclear Española

El pasado día 18 de febrero se celebró la Asamblea General de la Sociedad Nuclear Española (SNE) de la que, entre otros temas, surgió la nueva Junta Directiva que regirá los destinos de dicha Sociedad durante los próximos dos años. Esta Junta Directiva ha quedado constituida de la siguiente manera:

Presidente: Francisco Martínez Córcoles.
Vicepresidente: M^{ra} Teresa Domínguez Bautista.

Tesorero: Inés Gallego Cabezón.
Secretario General: Alfonso de la Torre Fernández del Pozo.

Vocales: Antonio Alonso Ramos.
Pedro González Arjona.
Rafael Herranz Crespo.
Fernando Legarda Ibáñez.
Fernando Micó Pérez de Diego.
Fernando Rey Moreno.
Mariano Rodríguez Aycart.
Eugeni Vives Laflor.



Por otra parte, la SNE ha reestablecido su acuerdo de colaboración con la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) cuyo resultado se plasmará en actividades conjuntas de trabajo para el periodo 2003/2005, y de las que ofreceremos información puntual en RADIOPROTECCIÓN.

Comité de Redacción

Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico

La segunda edición del Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico está disponible para to-

dos los socios en la página electrónica de la sociedad (www.sepr.es).



Este borrador ha sido elaborado con el patrocinio de la Sociedad Española de Física Médica (SEFM) y de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR).

Comité de Redacción

Centenario de las Reales Sociedades de Física y Química

Este año se celebra el Centenario de la creación de la Sociedad Española de Física y Química, distinguida en 1928 con el título de Real por el rey Alfonso XIII y escindida actualmente en dos sociedades que vuelven a confluir, para la celebración de este evento, en una serie de actividades conjuntas además de las correspondientes actividades de carácter individual de cada una de ellas, programadas en distintas Comunidades Autónomas.

Entre las primeras cabe destacar la ya celebrada el pasado 23 de enero en el Paraninfo de la Universidad Complutense de Madrid. En el acto, que fue presidido por el Excmo. y Magfco. Rector de la Universidad Complutense; Rafael Puyol Antolín, intervinieron también D. Gerardo Delgado Barrio; Presidente de la Real Sociedad Española de Física (RSEF) y D. Luis A. Oro Giral; Presidente de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ). El Sr Delgado, que comenzó con la lectura del acta de constitución de la SEFQ, el 23 de Enero de 1903 y en el mismo lugar rubricada por D José Echegaray, invitó cordialmente a la SEPR (representada oficialmente en el acto por su Vicepresidente), a incorporarse al Grupo de Sociedades Hermanas.



Finalizadas ambas intervenciones tuvo lugar la conferencia invitada, a cargo del Exco Sr. D. Federico Mayor Zaragoza, Presidente del consejo Científico de la Fundación Ramón Areces, con el título "Ciencia, Consciencia y Conciencia".

La RSEF quiso cerrar el día 23 con el nombramiento de Galileo como miembro honorario de la misma, mediante la entre-

ga del correspondiente diploma al protagonista de la obra de Bertold Brecht sobre el insigne científico, representada en el Círculo de Bellas Artes, que fue reservado expresamente para la ocasión.

Los actos conmemorativos culminarán con la XXIX Reunión Bienal-Centenario que tendrá lugar en Madrid del 7 al 11 de julio y que se compone de: Sesiones

plenarias sobre temas de interés general, a cargo de Premios Nobel y sesiones paralelas agrupadas por áreas temáticas.

Se invita a los socios de la SEPR a participar con sus trabajos científicos en este congreso.

Más información en:

www.centenario-bienales.com

IN MEMORIAM MORRIS ROSEN. UN GRAN AMIGO DE ESPAÑA

El pasado 19 de junio de 2002, tras una corta enfermedad, a la edad de setenta años, murió en Nueva York Morris Rosen, un gran experto internacional en seguridad nuclear y en protección radiológica, ex director del Departamento de Seguridad Nuclear del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y gran amigo de España, que visitó en muchas ocasiones relacionadas con la seguridad nuclear y la protección radiológica de nuestras centrales nucleares.

El Dr. Rosen se educó en el City College de Nueva York y en el Rensselaer Polytechnic Institute donde obtuvo el título de doctor en 1964. Al año siguiente se incorporó a la entonces Comisión de la Energía Atómica de los EE.UU. (AEC), donde ocupó puestos relevantes, todos ellos relacionados con la evaluación de la seguridad de las centrales nucleares del momento. En su calidad de asesor del director de Licenciamiento de Reactores (Reactor Licensing), tuvo una actuación destacada en las famosas audiencias que se celebraron en 1973 sobre los criterios de la refrigeración de emergencia del núcleo del reactor, todavía vigentes.

El Dr. Rosen abandonó pronto la AEC en busca de actividades internacionales de mayor interés. Se habló de su incorporación, que no se concretó, al Departamento de Seguridad Nuclear de la antigua Junta de Energía



Nuclear, involucrada en aquel momento en una intensa labor de evaluación de la seguridad de las centrales nucleares de la primera y de la segunda generación. En su lugar, estuvo algún tiempo en la República de Corea del Sur como asesor de las autoridades de dicho país en temas de seguridad nuclear, hasta que a mediados de 1974 se incorporó a la División de Seguridad Nuclear y Protección Ambiental del OIEA, donde pronto llegó a ser director adjunto.

Como sucedía en los países individualmente, el organigrama del OIEA no distinguía claramente las actividades de promoción de las de control de la energía nuclear. A instancias del Dr. Rosen, en 1981, se creó en el OIEA la División de Seguridad Nuclear, totalmente independiente de la promoción, que más tarde, en 1996, fue elevada al rango de Departamento de Seguridad Nuclear. El Dr. Rosen fue nombrado director de la División y jefe en funciones del nuevo Departamento hasta su retiro. En esta época la seguridad nuclear y la protección radiológica alcanzaron en el Organismo un auge inusitado destacando la creación de los programas NUSS, sobre la redacción de normas; PSA, sobre el análisis probabilista de la seguridad, y RAPAT, sobre protección radiológica, entre otros. El enorme esfuerzo desplegado por el Dr. Rosen como consecuencia del accidente de Chernobyl-4, – acompañó al Dr. Blix, director general del Organismo, en la primera visita al lugar realizada por expertos occidentales y contribuyó, con

eficacia y dedicación, al estudio radiológico de las consecuencias del accidente, así como al establecimiento de la Convención sobre Seguridad Nuclear y la Convención Conjunta sobre la gestión del combustible gastado y la seguridad de los residuos radiactivos, entre otras actividades-, le valió el título de director general asesor adjunto "en reconocimiento de su extraordinaria contribución al trabajo del Organismo y su aceptación de responsabilidades que exceden las normalmente atribuidas a los directores".

El Dr. Rosen estuvo en España, donde deja muchos amigos, en varias ocasiones; asesoró al Departamento de Seguridad Nuclear de la antigua Junta de Energía Nuclear, impartió charlas y conferencias en distintos foros y visitó la mayor parte de las centrales nucleares españolas, disfrutó de nuestra hospitalidad y hasta tuvo ocasión de practicar el esquí de fondo, uno de sus deportes favoritos, en el Pirineo aragonés. Después del ataque terrorista que destruyó los generadores de vapor de la central nuclear de Lemoniz, a instancia de las autoridades nacionales, lideró una revisión independiente, entre pares de reconocido prestigio internacional, y asesoró a las autoridades españolas sobre los aspectos de seguridad nuclear y protección radiológica de dicha central.

Radioprotección desea dejar constancia de la muy significativa labor internacional realizada por el Dr. Morris Rosen en el campo de la protección radiológica y por sus valiosas contribuciones y asesoramientos a las autoridades españolas. Descanse en paz.

*Agustín Alonso Santos
Ex Director del Departamento de
Seguridad Nuclear de la JEN*

NOTICIAS

d e l

MUNDO

Conferencia de la Unión Europea sobre gestión de la radiactividad medioambiental (Luxemburgo, 2/3 Diciembre 2002).

La Comisión de la Unión Europea ha organizado una Conferencia en Luxemburgo a primeros de diciembre para anunciar su intención de elaborar un Plan de Acción Medioambiental en el marco del Tratado de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Tratado EURATOM), cuyo objeto será definir las estrategias y las acciones a acometer en los años venideros en el contexto comunitario en relación con el impacto de las radiaciones ionizantes en el medio ambiente.

La motivación inicial para abordar un Plan de Acción de estas características viene dada por el hecho de que el marco regulador comunitario actual está dirigido esencialmente a proteger la salud de las personas, a pesar de contemplar actuaciones de vigilancia radiológica del medio ambiente, que en cualquier caso siempre tienen como objetivo primordial el velar por la salud del ser humano.

La razón de este enfoque antropocéntrico de la protección radiológica a nivel comunitario viene dada en principio porque históricamente las actuaciones de la Comisión Europea se han enmarcado a lo largo de los últimos 45 años en la base legal proporcionada por el Tratado EURATOM (Capítulo III del Título II, dedicado específicamente a la protección sanitaria) y su correspondiente legislación derivada (mención especial a la Directiva 96/29/EURATOM sobre protección de trabajadores expuestos y de la población frente a las radiaciones ionizantes y a la Directiva 97/43/EURATOM sobre exposiciones médicas). Las políticas comunitarias en materia de medio ambiente están circunscritas sin embargo al Tratado de la

Comunidad Europea, lo que ha dado lugar a una extraña y ambigua dicotomía en relación con la radiactividad y el medio ambiente.

Por otra parte, el Tratado EURATOM presenta dos singularidades que en los últimos tiempos han sido origen de múltiples críticas, en particular provenientes de organizaciones de tipo no gubernamental y otra índole social. Se trata en concreto de la importancia concedida exclusivamente a la base científica de las propuestas legislativas, y del escaso poder otorgado al Parlamento Europeo, como representante de una voluntad popular de los ciudadanos de la Unión, en la toma de decisiones.

El desarrollo legislativo previsto en el Tratado EURATOM se basa en una importante componente científico-técnica, contemplando la necesidad de contar con la opinión previa a cualquier propuesta de la Comisión en el ámbito de la protección radiológica, de un comité de expertos nacionales designados conforme al procedimiento establecido en el artículo 31.

El régimen decisional corresponde en exclusividad al Consejo de Ministros de la Unión Europea, teniendo el Parlamento Europeo una participación meramente testimonial. A pesar de que el Tratado EURATOM es coetáneo del antiguo Tratado de la Comunidad Económica Europea (CEE), no ha sido objeto de la misma evolución. El actual Tratado de la Comunidad Europea (CE) contempla desde hace tiempo un importante poder codecisorio del Parlamento Europeo y del Consejo de Ministros de la Unión Europea.

Estas singularidades han circunscrito las medidas comunitarias a instrumentos legislativos con exclusiva base científica y sin una participación social en la toma de decisiones, lo que ha llevado a frecuentes alusiones al denominado "déficit democrático" del Tratado EURATOM, aspecto no muy acorde con la

actual manera de pensar y la voluntad de diálogo previo con los "derechohabientes" para mejorar la comprensión mutua respecto de las iniciativas a desarrollar, evitando el tradicional recurso de las autoridades competentes a la imposición de medidas sin ningún tipo de diálogo previo.

En otro orden de cosas, la Comisión Europea también considera que en el momento actual es necesario proceder a una redefinición de las políticas comunitarias en el ámbito radiológico, debido fundamentalmente a dos importantes factores, la evolución del sistema internacional de protección radiológica y la ampliación de la Unión Europea.

La comunidad científica internacional se halla inmersa en un proceso de reflexión que parece dará lugar a una evolución del sistema y de los principios de protección radiológica, desde un sistema de naturaleza antropocéntrica a un sistema integrado de protección del hombre y del medio ambiente. La Comisión Internacional de Protección radiológica (ICRP) está trabajando arduamente para tomar en consideración las demandas sociales y de carácter ético, que abogan por un mayor respeto y consideración hacia el medio ambiente. Las nuevas recomendaciones de la ICRP, anunciadas para el año 2005, supondrán una consolidación, clarificación y simplificación de las diferentes recomendaciones publicadas desde 1990, e incluirán una filosofía coherente para las exposiciones a la radiación natural y una política explícita para la protección del medio ambiente.

En una Unión Europea ampliada a 25 Estados Miembros será necesario reforzar las políticas de armonización, en particular mediante la puesta en práctica y el desarrollo de las actuales normas básicas, a la vez que adquirirán una importancia creciente todas aquellas cuestiones con dimensión transfronteriza, como por ejemplo, las relacionadas con el comercio de alimentos y de bienes de consumo, las emergencias radiológicas, los traslados de residuos radiactivos, o la formación de expertos.

Existen asimismo otros elementos adicionales que abogan por una nueva política comunitaria en el ámbito radio-

lógico, entre los que cabe mencionar la necesidad de integración de los principios generales de protección del medio ambiente, de la propia legislación comunitaria emanada del Tratado CE, y de los compromisos adquiridos por la Comunidad en el seno de diversas Convenciones internacionales, por ejemplo la Convención OSPAR, por citar tan solo una de las más relevantes.

Sobre la base de todas las consideraciones efectuadas anteriormente la Comisión plantea la conveniencia de disponer de un marco de referencia que facilite la integración de las opiniones científicas y de las demandas sociales en relación con las radiaciones ionizantes y sus implicaciones en el ser humano y el medio ambiente. El Plan de Acción Medioambiental del Tratado EURATOM está llamado a jugar un papel esencial en la evolución de las políticas comunitarias en el ámbito radiológico, constituyendo la Conferencia de Luxemburgo el primer eslabón de un proceso que debe conducir a que en el año 2004 vea la luz esta importante iniciativa de la Comisión Europea.

La reunión celebrada a principios de diciembre ha permitido intercambiar opiniones entre los expertos científicos y del mundo industrial con representantes de organizaciones no gubernamentales y de diversa índole social, respecto a cuestiones consideradas por la Comisión Europea como de especial significación en el contexto de la próxima elaboración del Plan de Acción Medioambiental EURATOM, como son los principios generales de protección radiológica y del medio ambiente, la contaminación radiactiva de alimentos, la evaluación de las exposiciones de la población, la protección del medio ambiente natural, y la percepción del riesgo.

En definitiva, podríamos concluir diciendo que la Comisión Europea pretende dar un salto cualitativo y evolucionar desde la vigilancia actual a una verdadera protección del medio ambiente en un futuro cercano, propiciando una mayor integración de las políticas radiológicas, sanitaria y medioambiental.

Paloma Sendín de Cáceres
Consejera del CSN

El presidente Meserve abandonará la Comisión Reguladora Nuclear (NRC) de los EE.UU.



El pasado 12 de diciembre de 2002, el presidente Richard A. Meserve anunció que ha aceptado la Presidencia de la Institución Carnegie de Washington y que, por consiguiente, abandonará la Presidencia de la NRC a finales de Marzo del año actual. El presidente Meserve fue nombrado en octubre de 1999.

Al anunciar su decisión a los funcionarios de la NRC, el Dr. Meserve afirmó "que había sido para él una decisión muy difícil.", añadiendo que "había disfrutado mucho sirviendo a la NRC y por haber tenido la oportunidad de trabajar con el cuerpo de funcionarios", alabando su dedicación y su competencia.

En su discurso de despedida, el Dr. Meserve resumió los logros alcanzados durante su presidencia, de entre los que *Radioprotección* destaca: haber respondido de forma eficaz a la amenaza terrorista a las instalaciones nucleares después del ataque del 11 de septiembre; haber avanzado de forma sustancial en el establecimiento de la "regulación informada por el riesgo" y haberla ampliado al caso de la dosis a la piel en trabajadores profesionalmente expuestos (ver *Radioprotección* 34, 9:66, 2002); haber establecido el procedimiento de autorización de la instalación de almacenamiento de residuos de alta actividad en el emplazamiento de Yucca Mountain, y haber avanzado de forma considerable y positiva en la información a la sociedad acerca de las actividades de la Comisión.

La Institución Carnegie de Washington, en la que el Dr. Meserve había servido en el Consejo de Administración

durante diez años, se dedica a la investigación científica en temas de vanguardia que van desde la biología, la genética y la física de las altas presiones hasta la estructura del universo. *Radioprotección* desea al Dr. Meserve los mayores éxitos en su nueva gestión.

De acuerdo con el procedimiento establecido, se ha iniciado ya el proceso de nombramiento de un sustituto para el Dr. Meserve como miembro de la NRC, así como el nombramiento de un nuevo presidente. Este procedimiento, que inicia el presidente de la nación, pero ha de ser aprobado por el Congreso, es con frecuencia muy largo, por lo que cabe esperar que a partir de abril se nombre un presidente en funciones de entre los cuatro consejeros actualmente en servicio hasta la llegada del nuevo presidente.

Tomado del discurso de despedida del Dr. Meserve. NRC News Releases, December, 13, 2002.

Comité de Redacción

Embarazo y exposiciones médicas

Desde el día 16 de enero de 2003, en la página electrónica de nuestra sociedad, está incluida una interesante información extraída del documento nº 84 de ICRP, documento que en su totalidad está disponible en: www.icrp.org

En dicha información, se tratan aspectos relacionados con los riesgos asociados a la irradiación del feto, dependiendo estos, en naturaleza y magnitud, del valor de la dosis absorbida y del estadio del embarazo.

Se establecen también umbrales de dosis para la aparición de algunos de estos efectos, y se indica en qué tipo de procedimientos se pueden alcanzar estos valores de dosis.

Muy interesante la tabla en la cual se indica la probabilidad de tener un niño sano en función de la dosis de radiación absorbida por el feto.

Existe también información, en relación a cómo no se ha observado un

incremento de riesgo, para que los futuros hijos puedan presentar malformaciones o cáncer radioinducido, debido a la irradiación de las gónadas de cualquiera de los futuros padres.

Se hacen también algunas referencias a las trabajadoras expuestas a radiaciones ionizantes, a la necesidad de preguntar a la paciente de su posible embarazo antes de someterla procedimientos diagnósticos o terapéuticos con radiaciones ionizantes. Finalmente se destacan algunos aspectos de interés para la protección radiológica del feto en el área de la Medicina Nuclear.

Comité de Redacción

Reunión de la Comisión Principal de ICRP. Enero 2003

Profesor R. H. Clarke,
Presidente de ICRP.

La Comisión Principal de ICRP se reunió los días 24-26 del pasado enero en Viena. Hay tres informes aprobados para su publicación en los *Annals of ICRP* y para cada una de ellas la Comisión ha aprobado un comentario sobre sus implicaciones en protección radiológica, para que sean publicados como una Editorial al principio de cada informe.

La Comisión espera con ello ayudar a los lectores en cuanto a como se pretende que el informe sea utilizado, y la Comisión puede proporcionar indicaciones de sus intenciones de futuro.

Informes aprobados

1. Efectos Biológicos de la irradiación prenatal.

La Comisión adoptó el informe elaborado por un grupo de trabajo del Comité 1, que evalúa los riesgos para la salud tras irradiación prenatal. El informe considera:

- Efectos de la irradiación durante la pre-implantación
- El periodo de mayor riesgo de malformaciones
- El riesgo de inducir pérdida de coeficiente intelectual y el establecimiento de un umbral para cam-

bios clínicamente reconocibles del coeficiente intelectual.

- El riesgo de inducción de cáncer in útero.

La editorial del informe da una visión de las implicaciones del informe bajo el título "Cómo de radio sensible es un embrión o feto en desarrollo". Las principales conclusiones son que no hay justificación para establecer factores de ponderación específicos para el embrión o feto y que las actuales recomendaciones para proteger a las trabajadoras embarazadas siguen estando bien fundadas.

2. Protección de especies no humanas de la radiación ionizante.

La política actual de la ICRP respecto a la protección del medio ambiente ha sido que los estándares necesarios para proteger al hombre asegurarían que otras especies no están en riesgo. La Comisión creó un grupo de trabajo para que se encargara de estos temas y ha adoptado sus recomendaciones que son que la ICRP debería liderar el proceso para establecer una política en esta área.

ICRP pretende desarrollar un marco que sea diseñado en armonía con la aproximación propuesta para la protección de las personas. El sistema propuesto no intenta fijar estándares reguladores. Por el contrario pretende que sea una herramienta práctica para ayudar a los reguladores y operadores a establecer conformidad con la legislación.

En la editorial la Comisión Principal enfatiza que el informe es únicamente el primer paso de un camino que llevará a diversas publicaciones en los próximos años. Así, el informe es aclaratorio más que de consulta y las recomendaciones actuales serán consideradas en informes posteriores. Se enfatiza que el marco para la protección radiológica del medio ambiente debe ser práctico y simple. Con objeto de progresar en el trabajo se ha creado un nuevo grupo que será presidido por el Dr Lars-Eric Hall, el Vicepresidente de la Comisión. El grupo incluirá especialistas con conocimientos en las áreas relevantes, que tendrán la misión de definir los efectos

de interés, organismos de referencia y dosis de referencia así como modelos para determinar y manejar exposiciones a radiación en especies no humanas.

3. Eficacia Biológica Relativa (RBE), Factores de Ponderación de la Radiación (w_R), y Factor de Calidad (Q).

Este informe fue elaborado por un grupo de trabajo del Comité 1 y es una revisión de la información radiológica y dosimétrica a partir de la cual se desarrollan propuestas sobre como deben establecerse valores de w_R en el futuro.

El informe cubre el concepto de RBE, su cuantificación y su aplicación en los factores de ponderación de la radiación. También trata el tema de RBE para efectos deterministas, para los que los factores de ponderación de la radiación no son aplicables. Los mayores cambios son una reducción del valor de w_R para protones de alta energía desde 5 a 1 y una reducción de un factor próximo a 2 en los valores de w_R para neutrones de energía baja intermedia. Para este último cambio se ha tenido en cuenta los cambios en los componentes gamma y neutrónico de la dosis absorbida a través del cuerpo en campos neutrónicos externos.

La editorial discute las implicaciones del informe en protección radiológica. También sugiere que los factores de ponderación de la radiación deberían revisarse. Sin embargo, esto no debería llevarse a cabo en este momento ya que la Comisión todavía tiene que considerar las bases utilizadas para establecer los factores de ponderación de los tejidos. Mientras tanto, la Editorial recomienda que los cálculos de dosis equivalente o dosis efectiva sigan sin cambiarse.

Discusión de las Nuevas Recomendaciones

La Comisión continúa sus discusiones sobre como expresar la política para protección en sus próximas recomendaciones. La Comisión aprobó, para su publicación, un artículo que describe como estaba evolucionando la protección y

como eso conducía a la justificación para unas recomendaciones nuevas. El trabajo revisa todas las recomendaciones hechas en ICRP 60 y en nueve informes posteriores realizados en los últimos 12 años. Este análisis es utilizado para proponer un camino avanzado para producir un sistema más simple, que podría ser más coherente a la hora de explicarlo y de aplicarlo.

Posteriormente, la Comisión producirá un borrador de recomendaciones, que estará a disposición de todo el mundo a finales de 2003 para discusión y consulta.

Comité de Redacción

Reuniones de Información organizadas por la UE sobre el VI Programa Marco (Euratom)

El sexto Programa Marco fue lanzado formalmente el 17 de diciembre de 2002. El nuevo programa representa un cambio radical en relación a anteriores programas, en particular por su mayor concentración y enfoque, por la incorporación de nuevos instrumentos más apropiados para alcanzar los objetivos de investigación en Europa, y por el aumento sustancial en el alcance, nivel de ambición y nivel medio de financiación de proyectos individuales (cuando se implementen mediante el uso de los nuevos instrumentos).

A pesar de que la Comisión ha informado a la comunidad científica en muchos foros y a través de distintas vías, sigue existiendo mucha confusión en particular sobre los nuevos instrumentos y como deben éstos ser aplicados en la práctica. Para mejorar esta situación, los Servicios de la Comisión están dispuestos a organizar, en función del grado de interés mostrado por la comunidad científica, una serie de reuniones informativas por temas, con los siguientes objetivos: (a) Promover un entendimiento completo y compartido del VI Programa Marco, las nuevas oportunidades que ofrece, los nuevos instrumentos y su aplicación en la práctica. (b) Proporcionar un foro en el que aquellos

que estén interesados en participar en un área determinada puedan informar a otras personas de sus objetivos, capacidades y contribuciones potenciales que podrían hacer para alcanzar los objetivos del Programa.

Las reuniones permitirán: aumentar la calidad y relevancia de las propuestas; y mejorar el grado de información de los asistentes sobre los intereses y capacidades de un área de conocimiento determinada.

Para evitar cualquier malentendido, la naturaleza de las reuniones informativas y el papel de la Comisión en dichas reuniones debe ser reconocido. El papel de la Comisión estará **limitado de forma estricta** a: Organizar los aspectos prácticos para que se celebre la reunión; Moderar las discusiones entre los participantes; Responder y clarificar cuestiones sobre los nuevos instrumentos y su aplicación práctica; Responder y clarificar cuestiones relacionadas con el alcance y contenido

del programa de trabajo en el área de relevancia. La Comisión **no** participará en discusiones sobre los méritos o cualquier otro aspecto de ninguna propuesta, en concreto en lo relativo a su contenido técnico, su estructura, organización, etc. excepto en aspectos generales.

Las reuniones de información serán, en general, organizadas para que tengan lugar en un día. El contenido de los puntos a tratar reflejará los intereses de los participantes. La reunión contará con los siguientes elementos: presentación por parte de la Comisión de los instrumentos relevantes para el tema tratado y el alcance y objetivos de dicho tema; sesión de preguntas y respuestas para clarificar dudas de los asistentes; presentación informal de los asistentes sobre sus intereses y capacidades para abordar los objetivos del tema tratado; discusión general moderada por los representantes de la Comisión.

Comité de Redacción

PUBLICACIONES

CONTROLE- Revista del Organismo Regulador en materia de seguridad nuclear- Francia

El Organismo Regulador en materia de seguridad nuclear francés dispone de una página de correo electrónico de información cuya dirección es: www.asn.gouv.fr. Así mismo dispone de una publicación denominada **Controle**, editada con una periodicidad mensual.

El dossier monográfico de la mencionada revista correspondiente al mes de noviembre de 2002, es el relativo a la **Vigilancia radiológica del medio ambiente**. En el mismo se realiza una revisión de gran interés sobre todos los aspectos relacionados con el control radiológico del medio ambiente en Francia, en otros países de la

unión europea y analiza su aplicación en las recomendaciones de la CE en el tratado EURATOM. El sumario es el siguiente:

- Introducción. André-Claude Lacoste, director general de la seguridad nuclear y la protección radiológica - DGGSNR.
- La vigilancia del medio ambiente en Francia.
- Control de la radiactividad ambiental en el marco del tratado del Euratom.
- La vigilancia de la radiactividad en Alemania.
- El programa de vigilancia radiológica del territorio en Bélgica.
- La vigilancia radiológica del medio ambiente en Suiza.
- Los nuevos sistemas de autorización de laboratorios y organismos encargados de los análisis radiológicos del medio ambiente, entre ellos los



- destinados al consumo humano y al radón.
- Control de la radiactividad de los alimentos.
- La vigilancia del medio ambiente en el espacio de la Hogue: ¿qué estrategia a seguir?
- La vigilancia del medio ambiente ejercido por una asociación independiente: la ACRO.
- La necesidad de información al público sobre la vigilancia del medio ambiente.
- La vigilancia de la radiactividad en el seno de una AASQA*: Aire ligero * (Asociación autorizada para la vigilancia de la calidad del aire).
- El proyecto CITRAME- Circulación y tratamiento de los resultados de medidas en el medio ambiente.

En el número de la revista mencionado se realiza un anuncio sobre el próximo dossier o monográfico que versará sobre la articulación entre las limitaciones de competitividad y las exigencias de seguridad en la explotación de las centrales nucleares.

Todos los interesados en los monográficos que han ido apareciendo en la revista (a partir del núm.105), pueden solicitarlos a la siguiente dirección: Direction Générale de la Sûreté Nucleaire et de la radioprotection.6 place du Colonel Bourgoïn.75572 Paris cedex 12. Francia.

Comité de Redacción

Publicación de la guía nº 118 por el Ministerio de Sanidad y Consumo

La Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral de la Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo ha reeditado la **Guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen** (Protección Radiológica 118). El número de ejemplares de esta reedición ha sido de 10.000, que serán distribuidos, de forma gratuita, por las Consejerías de Sanidad de las Comunidades Autónomas que lo soliciten.

La Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral tiene pensado que si fuera necesario, a la vista del número de solicitudes, reali-

zar una segunda reedición.

Mercedes Bezares González
Ministerio de Sanidad y Consumo.

Radiological Protection of the Environment: The Path Forward to a New Policy?

Resúmenes del Congreso celebrado del 12 al 14 de febrero de 2002 en Taormina (Italia). El libro se ha publicado en enero de 2003 por la NEA (NEA#03629, ISBN 92-64-09969-7). El número de referencia para hacer los pedidos a la OECD es 662003011P1.

El sistema internacional de protección radiológica está siendo revisado en la actualidad con el objetivo de hacerlo más coherente y conciso. Durante el proceso de revisión, se está prestando una atención especial al desarrollo de un sistema explícito para la protección radiológica del medio ambiente, además del ya existente para los seres humanos.

Con objeto de apoyar las discusiones mantenidas por la comunidad internacional de expertos en protección radiológica, este documento trata de responder las cuestiones: ¿Existe una razón internacional para desejar la protección del medio ambiente de la radiación? ¿Tenemos suficiente información científica para desarrollar y definir un sistema ampliamente aceptado? ¿Cuáles son las características del proceso para desarrollar un sistema de protección radiológica para el medio ambiente?

Este documento incluye los puntos de vista de un amplio grupo de oradores invitados, incluyendo políticos, reguladores, profesionales de la protección radiológica y de la protección medioambiental, industria, sociólogos y representantes de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. www.nea.fr/html/pub/ret.cgi?id=new#3629

Comité de Redacción

Solid state dosimetry

Número especial de Radiation Protection Dosimetry (Vol. nº 100 Nos. 1-4 2002.- Parte I, y Vol. 101 Nos. 1-4 2002.- Parte II).

Editores: Y.S. Horowitz y L. Oster.
Editores Asociados: D.T. Bartlett, A.J. J. Bos, L. Botter-Jensen, A. Delgado, M. Moscovitch y P. Olko.

ISSBN 1 870965 73 6

Esta publicación recoge los trabajos presentados en la Decimotercera Conferencia Internacional de Dosimetría de Estado Sólido, celebrada en Atenas (Grecia) del 9 al 13 de julio de 2001 y que fue



precedida, por primera vez, de una Escuela Satélite sobre "tópicos avanzados".

Tras dos editoriales de Y.S. Horowitz, Presidente de la Conferencia y

de H.W. Julius Presidente de la International Solid State Dosimetry Organisation (ISSD), se abordan los siguientes temas, en un total de 560 páginas en el Tomo I y 624 en el Tomo II, bases físicas (35 trabajos), características de los materiales (66), dosimetría del espacio y de viajes por avión (11), instrumentación y técnicas (28), dosimetría personal y ambiental (30), dosimetría de datación y retrospectiva (17), dosimetría clínica (27) y temas varios: ESR, EPR, radón y semiconductores (21).

Y.S. Horowitz indica, en su conferencia de bienvenida, que los trabajos de la Escuela Satélite arriba indicada se publicarán en "Nuclear Instruments and Methods B. En lo que atañe a temas de interés creciente en la dosimetría de estado sólido, destaca la dosimetría del espacio, la micro y la nanodosimetría, así como la importancia que la dosimetría de partículas pesadas y neutrones tiene en la actualidad, en relación con múltiples aspectos de la vida en la tierra y en el espacio, que son objeto de los trabajos de esta publicación.

El tomo II termina con la conferencia de A. Brodsky, quien hace una historia de los grandes avances en las medidas de la radiación desde 1950 hasta 2000.

Más información y pedidos en : sales@ntp.org.uk y www.ntp.org.uk

Comité de Redacción

Radiation Protection 131: Effects of in utero exposure to ionising radiation during the early phases of pregnancy

Bajo los términos del Tratado que estableció la Comunidad Europea de Energía Atómica, la Comunidad, entre otras cosas, establece estándares de seguridad uniformes para proteger la salud de los trabajadores y del público en general contra los peligros derivados de las radiaciones ionizantes. Los estándares son aprobados por el Concilio, siendo propuestos por la Comisión, teniendo en cuenta la opinión del Grupo de expertos referido en el Artículo 31 del Tratado. La versión más reciente de dichos estándares está contenida en la Directiva 96/29/Euratom del 13 de mayo de 1996 asentando los estándares de seguridad básicos para la protección de la salud de los trabajadores y del público en general contra los peligros de la radiación ionizante.

La Comisión Europea organiza cada año, en colaboración con el Grupo de expertos del Artículo 31 de Euratom, un seminario científico para discutir en profundidad un tema particular de protección radiológica sugerido por el Grupo.

A pesar de los más de cien años de investigación sobre los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, sigue siendo necesario conocer mejor las consecuencias exactas de la exposición a radiación en los estadios tempranos del embarazo humano. La principal razón es, por supuesto, el problema para obtener información directa en humanos. Con frecuencia, no se detecta el embarazo hasta la fase de organogénesis temprana e incluso tras su detección es difícil de identificar el tiempo exacto de cada etapa del desarrollo de forma retrospectiva. Así, la información obtenida de experimentos en animales tiene que ser extrapolada a la situación humana.

El objetivo del presente seminario era resumir la información reciente disponible sobre riesgo de la radiación en estadios tempranos de la gestación (el primer trimestre) y ver hasta que punto la Directiva mencionada antes continua asegurando un nivel adecuado de pro-

tección para los ciudadanos de la Unión Europea. Los mejores expertos en el tema presentaron la más reciente información disponible. En el seminario también se trataron los efectos mentales de la exposición a radiación durante la niñez.

El documento puede obtenerse de forma gratuita en la dirección:

<http://europa.eu.int/comm/environment/radprot/131/131.htm>

Comité de Redacción

Radiation Protection 132: MARINA II - Update of the MARINA Project on the radiological exposure of the European Community from radioactivity in North European marine waters

El estudio MARINA II proporciona información sobre descargas radioactivas en el Atlántico Noreste, sobre concentraciones de radionucleidos en diferentes medio ambientes marinos y una evaluación de su impacto en humanos y en el biota marino.

Comparado con mediados de la década de los 60, a finales de 1990 el total de descargas nucleares civiles o de otras descargas antropogénicas en el Atlántico Noreste han disminuido en varios órdenes de magnitud para emisores alfa y beta y para tritio. Los mayores niveles se alcanzaron a finales de los 60 y principios de los 70. Durante el mismo periodo de tiempo se han reducido las concentraciones de radionucleidos en el medio ambiente marino y como consecuencia de ello se han reducido las dosis individuales a miembros de grupos críticos y la dosis colectiva al público.

Desde mediados de los años 80, la principal contribución de descargas de emisores beta en la región OSPAR ha sido de plantas nucleares de reprocesamiento (Sellafield y Cap en La Haya) mientras que las descargas de emisores alfa han estado dominadas por la industria del fosfato y por la producción de petróleo y gas. Como resultado de las actividades descargadas y de la mayor eficacia biológica de la radiación alfa,

la producción de fosfatos y petróleo son en la actualidad las actividades industriales que más contribuyen a la dosis colectiva a la población de la Unión Europea. Otras fuentes (por ejemplo la producción y aplicación de radiofármacos o vertidos históricos de residuos al mar) son comparativamente despreciables.

Durante el periodo entre 1988 y 1999 las dosis efectivas a grupos críticos en el área de Sellafield no muestran una tendencia descendente en parte debido al impacto de remover los isótopos de plutonio de las descargas históricas, que están contenidos en los sedimentos del Mar de Irlanda, rindiendo concentraciones de plutonio relativamente estables en el agua del y en los productos del mar. Además, desde 1994 el tratamiento de residuos líquidos históricos llevó a un aumento de descargas de tecnecio 99, que se sumaban a la exposición. Para el área de Cap en La Haya hay una tendencia a la disminución en la dosis efectiva desde 1988. Para la región OSPAR en general las dosis a grupos críticos sigue la misma tendencia descendente que las concentraciones de radionucleidos en el medio ambiente.

Las dosis a biota no humano debidas a actividades industriales son bajas (órdenes de magnitud menores que los niveles de radioactividad natural). En base al conocimiento actual no se esperan efectos perjudiciales en las poblaciones marinas.

El texto completo y los anexos pueden obtenerse de forma gratuita en la dirección: <http://europa.eu.int/comm/environment/radprot/marina/marina.htm>

Comité de Redacción

IAEA Safety Standards series: Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation

(IAEA, PAHO, WHO), Safety Guide nº RS-G-1.5, STI/PUB/1117.- ISBN 92-0-111302-1 Impreso por OIEA, Austria, Marzo 2002.

Guía perteneciente a la serie Estándares, que contiene acciones recomendadas y

condiciones o procedimientos de medidas de seguridad, bajo la forma "should", para llevar a la práctica el apéndice II (Exposiciones Médicas) de los Estándares Básicos de Seguridad. Proporciona estrategias para involucrar a organizaciones de profesionales implicados e incluye: Niveles de referencia para exploraciones de diagnóstico, indicaciones sobre aceptación de equipos, calibración de unidades de radioterapia e informe sobre incidentes, en cinco capítulos y cuatro anexos que se resumen a continuación:

1. Introducción. Se hace referencia al elevado nº anual de exposiciones médicas con tendencia al aumento en CT e imagen digital así como en países en vías desarrollo.

Es una guía para reguladores usuarios, pacientes y personas que colaboran en su bienestar, que tiene su base en otras publicaciones del OIEA, la IAEA-TECDOC-1067 principalmente, y que debe ser leída conjuntamente con la parte correspondiente de los Estándares Básicos.

2. Programa Regulador para Protección Radiológica en Exposiciones Médicas. Contiene indicaciones sobre justificación y alude a la responsabilidad de: Titulares autorizados, Directores de Centros Médicos, Organismos Gubernamentales y profesionales implicados. Habla de regulaciones flexibles y adaptables a cambios tecnológicos de técnicas y procedimientos, de acuerdo con referencias nacionales e internacionales.

Dentro del apartado Control Regulador se habla sobre: Autorización de prácticas, inspección, vigilancia e información periódica por parte de la autoridad, a fabricantes, suministradores y otros profesionales relacionados con la seguridad, sin olvidar incidentes y hallazgos relativos a la experiencia de autorizaciones e inspecciones, invitando a un intercambio fluido de noticias.

Otros temas del capítulo son: Responsabilidades específicas de los autorizados, incluyendo aspectos de calibración, garantía de calidad, registros, accidentes e incidentes y exposiciones médicas de voluntarios en proyectos de investigación.

Se citan también las responsabilidades específicas de: Médicos especialistas, expertos cualificados, fabricantes y suministradores. Se habla de justificación y optimización en exposiciones médicas con especial alusión a: Calibración de fuentes, dosimetría clínica, garantía de calidad, restricciones de dosis y niveles de referencia, para terminar con un apartado sobre educación, entrenamiento y experiencia.

3. Aspectos Específicos de Protección Radiológica para Exposición Médica en Diagnóstico y Radiología Intervencionista: En este apartado se trata de forma específica lo indicado anteriormente incluyendo también: Equipos, aspectos operacionales, restricciones de dosis para personas que sujetan pacientes durante los procedimientos e investigación de exposiciones accidentales.

4. Aspectos Específicos de Protec-

ción Radiológica para Exposición Médica en Medicina Nuclear: Este apartado se dedica, de forma análoga, a la utilización de radiofármacos, e incluye lo relativo a medidas de actividad prescrita y a la actividad máxima para el alta del paciente en tratamiento.

5. Aspectos Específicos de Protección Radiológica para Exposiciones Médicas en Radioterapia: Trata de forma similar los aspectos específicos, incluyendo un párrafo sobre planificación de tratamientos.

Los anexos I, II, III y IV reproducen lo indicado en los Estándares Básicos de Seguridad, bajo los respectivos títulos: Requerimientos Generales, Exposiciones Médicas, Límites de Dosis, Limitación de dosis para visitantes y personas que colaboran en el confort de los pacientes.

CONVOCATORIAS

ABRIL:

• **2nd NEA/ICRP Forum: "The Future Policy for Radiological Protection - a Stakeholder Dialogue on the Implications of ICRP Proposals"**.

- Lanzarote, Islas Canarias, España.
- 2-4 de abril de 2003.
- mundigl@nea.fr

MAYO:

• **Biological Basis of Sensitivity to Ionizing Radiation. International Workshop.**

- Heidelberg, Alemania.
- 9-10 de mayo de 2003.
- Organizado por el German Cancer Research Center de Heidelberg.
- www.dkfz.de/tox/bbsir 2003.html.

• **International Symposium on Practical Implementation of Clinical Audit for Medical Exposures.**

- Tampere, Finlandia.
- 24-27 de mayo de 2003.
- Organizado por el Ministry of Health

and Social Affairs, Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), Qualisan Oy de Finlandia, en cooperación con Radiological Society of Finland, The Society of Radiographers in Finland, Finnish Society of Nuclear Medicine, Finnish Society of Oncology, Finnish Cardiac Society, Patrocinado por la Unión Europea.

JUNIO:

• **Radiation Protection Symposium of the North West European RP Societies.**

- Utrecht, Holanda.
- 2-5 de junio 2003.
- www.nvs-straling.nl

• **International Conference on Storage of Spent Fuel from Power Reactors.**

- Viena, Austria.
- 2-6 de junio 2003.
- www.iaea.org/worldatom/Meetings/2003/

- **International Conference on Isotopic and Nuclear Analytical Techniques for Health and Environment.**

- Viena, Austria.
- 10-13 de junio 2003.
- www.iaea.org/worldatom/Meetings/2003/

- **The 16th International Conference on Ion Beam Analysis. IBA2003.**

- Albuquerque, NM, EEUU.
- Del 29 de junio al 4 de julio 2003.
- iba2003.sandia.gov/a1/

JULIO:

- **Centenario de las Reales Sociedades de Física y Química.**

- Madrid, España.
- 7-11 de julio 2003. - Palacio de Congresos de Madrid.
- www.ucm.es/info/rsef

- **International Conference on the Safety of Transport of Radioactive Material.**

- Viena, Austria. 7-11 de julio 2003.
- www.iaea.org/worldatom/Meetings/2003/

- **Workshop On Intercomparison on the Usage of Computational Codes in Radiation Dosimetry.**

- Bologna, Italia,
- 14 - 16 de julio de 2003.
- www.eurados.org/pages/news.htm

SEPTIEMBRE:

- **Environmental Radioactivity and Low-Background Radioactivity Monitoring in Service to the Society.**

- Nueva York, EEUU.
- 7-11 de septiembre de 2003.
- Organizado por la American Chemistry Society.
- www.cofc.edu/~nuclear/FutureMeetings.htm

- **International Conference on National Infrastructures for Radiation Safety: Towards Effective and Sustainable Systems.**

- Rabat, Marruecos.
- 1-5 de septiembre de 2003.
- www.iaea.org/worldatom/Meetings/2003/

- **II Conferencia Internacional de Formación en Protección Radiológica. Estrategias de futuro.**

- CIEMAT (Madrid).
- 17-19 de septiembre de 2003.
- Organizada por CIEMAT, ENRESA, CSN, SEPR, SNE y SEFM.
- www.ciemat.es/convocatorias/eventos/ind_eventos.html

- **Conference on Radiation Safety: Transportation Of Radioactive Materials (Atomtrans-2003) and the III International Exhibition "Nuclear Industry.**

- St. Petersburg, Rusia.
- 22-25 de septiembre de 2003.
- Organizada por el Ministry for Atomic Energy of the Russian Federation, St. Petersburg City Administration and Government of Leningrad Region, Nuclear Society of Russia, SREC, NUCLIDE, GI VNIPIET, Radium Institute named after V.G. Khlopin Research and Production Association, MOST, RESTEC.
- www.graph.runnet.ru/alpha/ap.html

- **IRPA Regional Congress. Clearance Levels and Materials Release. Environmental Impact Assessment of Workplaces or Facilities with Radiation Sources.**

- Bratislava, Eslovaquia.
- 22-26 de septiembre de 2003.
- Organizado por Slovak Society of Nuclear Medicine and Radiation Hygiene en colaboración con Austrian Association for Radiation Protection, Croatian Radiation Protection Association, Czech Society for Radiation Protection, German-Swiss Radiation Protection Association, Health Physics Section of the Roland Eötvös Physical Society of Hungary, Italian Radiation Protection Association, Polish Radiation Protection Association, Romanian Society for Radiological Protection, Radiation Protection Association of Slovenia.
- www.upkm.sk/ipcm/indexe.html

- **9th Neutron Dosimetry Symposium- Advances in Nuclear Particle Dosimetry for Radiation Protection.**

- Delf, Holanda.
- Del 28 de septiembre al 3 de octubre

de 2003.

- Organizado por Delft University of Technology, Interfaculty Reactor Institute, European Radiation Dosimetry Group, en colaboración con Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, USA, Department of Energy y European Commission.
- <http://iriexp.iri.tudelft.nl/~neudos9/>

OCTUBRE:

- **International Conference On Emergency Services Personnel: Responding To Radiation Accidents.**

- Gatlinburg, Tennessee, EE.UU.
- 2-3 de octubre de 2003.
- www.orau.gov/reacts/conf2003/geninfo.htm

- **International Conference on the Protection of the Environment from the Effects of Ionizing Radiation.**

- Estocolmo, Suecia.
- 6-10 de octubre de 2003.
- Organizado por la IAEA, en colaboración con UNSCEAR, European Commission and IUR.
- www.iaea.org/worldatom/Meetings/2003

- **First International Meeting on Applied Physics 2003.**

- Badajoz, España.
- 15-18 de octubre de 2003.
- Organizado por la Universidad de Extremadura, Innovatex y Formatex.
- www.formatex.org/aphys2003/aphys2003.htm

NOVIEMBRE:

- **VI Congreso Regional sobre Seguridad Radiológica y Nuclear. Congreso Regional IRPA. III Congreso Iberoamericano de Sociedades de Protección Radiológica. Lima (Perú), 9-13 de noviembre de 2003**

- El 9 de abril finalizará el plazo para el envío de resúmenes de los trabajos que se presentarán en el VI Congreso Regional sobre Seguridad Radiológica y Nuclear. Congreso Regional IRPA.
- III Congreso Iberoamericano de Sociedades de Protección Radiológica, que se celebrará del 9 al 13 de noviembre de 2003. La aceptación de los trabajos se

notificará el 9 de junio de 2003, finalizando el 9 de agosto el plazo para el envío definitivo de las ponencias.

- Las instrucciones para la elaboración de los resúmenes y el envío de los mismos se pueden consultar en la página web:

www.radioproteccion.org.pe

• **Curso sobre Dosimetría Interna.**

- Madrid, España.

- Noviembre de 2003.

- Organizado por el CIEMAT.

- Duración: 28 horas.

- ana.calle@ciemat.es

• **Curso sobre Metrología y Calibración de Radiaciones Ionizantes en el área de Radiofísica Hospitalaria.**

- Madrid, España.

- 3-7 noviembre 2003.

- Organizado por la SEFM.

- Duración: 28 horas.

- www.sefm.es/

• **VI Congreso Regional sobre**

• **Seguridad Radiológica y Nuclear (Congreso Regional IRPA).**

- Lima, Perú.

- 9-13 de noviembre de 2003.

- Organizado por la Sociedad Peruana de Radioprotección (SPR) con la colaboración del Instituto Peruano de Energía Nuclear y de las Sociedades de Protección Radiológica integrantes de la Federación de Radioprotección de América Latina y el Caribe (FRALC), España y Portugal (GRIAPRA).

- Secretaría del Congreso Casilla Postal 18 – 0260. Lima, Perú.

- medina@ipen.gob.pe.

- www.radioproteccion.org.pe

• **Training Course on Internal Exposure Monitoring Programmes.**

- Paris, Francia.

- Fechas provisionales: 24-25 noviembre 2003.

- www.eurados.org/pages/news.htm

PREMIOS FUNDACIÓN LILLY DE INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA PRECLÍNICA Y CLÍNICA

PLAZO DE PRESENTACIÓN: Marzo 2003

LUGAR: MADRID

INFORMACIÓN: www.fundacionlilly.com

La Fundación LILLY en su vocación de contribuir a un mejor desarrollo de la Sanidad Española, contempla entre sus actividades los Premios Fundación Lilly de Investigación Biomédica Preclínica y Clínica, que pretenden dar reconocimiento a trayectorias científicas de investigadores que desarrollen su actividad en institucionales o centros españoles.

Para el año 2003 el premio de Biomédica Preclínica consiste en 195.000 € de los que el premiado recibirá la cantidad de 50.000 € y el resto se destinara a dar apoyo a su actividad investigadora. El de Biomédica Clínica asciende a 150.000 € de los que el premiado recibirá 50.000 € y el resto se destinara a dar apoyo a su actividad investigadora.

Las bases de la convocatoria y sus condiciones pueden ser solicitadas a:

Fundación LILLY - C/ Velázquez, 94- 6º - 28006 Madrid

○ bien conectarse con la dirección: www.fundacionlilly.com



www.sepr.es

!!! Nueva WEB de la SEPR !!!



La Protección Radiológica en la red

visítala