

RADIOPROTECCION

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCION RADIOLOGICA



- ✓ **RADIOACTIVIDAD**
del agua superficial y los sedimentos en la CUENCA DEL EBRO
- ✓ **RESUSPENSIÓN EN SUELOS** *contaminados por el accidente de CHERNOBYL*
- ✓ *Personalización del* **CRITERIO DE ALTA** *del paciente en TRATAMIENTO ablativo de RESTOS TIROIDEOS con I-131*
- ✓ **RIESGO DE CÁNCER** *inducido por la radiación a BAJAS DOSIS y TASAS DE DOSIS con fines de PROTECCIÓN RADIOLÓGICA*
- ✓ **ENTREVISTA: ANNIE SUGIER**, *presidenta saliente de la SOCIEDAD FRANCESA de RADIOPROTECCIÓN*

Nº 15 • Vol. V • 1997

15 años al Servicio de la PROTECCION RADIOLOGICA



SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Y MEDIDA (SPM)

- Diseño para ubicación en Unidades Móviles.
- Información de Posición Geográfica incorporada:
 - * Latitud y Longitud.
 - * Altitud.
 - * Velocidad.
- Visualización en tiempo real sobre mapas.
- Conexión de:
 - * Sondas Radiológicas.
 - * Sistemas de Medida.
 - * Sondas Medioambientales.
- Comunicaciones digitales a un Control Central.

OTRAS APLICACIONES:

- Control de Flotas de Vehículos.



RADIOPROTECCION

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
PROTECCION RADIOLOGICA
Nº 15. Vol. V • 1997

Director: Emilio Iranzo

Comité de Redacción

Coordinadora: María Teresa Macías
M^ª Luisa España, Antonio López Romero, José
Pío Carmena y Alicia Martínez

Comité Científico

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

Edita

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
PROTECCION RADIOLOGICA
(S.E.P.R.)
C/ Apolonio Morales, 27 • 28036 Madrid

Junta Directiva de la S.E.P.R.

Presidente: Eduardo Sollet
Vicepresidente: Xavier Ortega
Vicepresidente (Congreso 1998):
Monserrat Ribas
Vicepresidente (Asuntos Especiales):
Leopoldo Arranz
Secretario: Manuel Fdez. Bordes
Tesorero: José Pío Carmena
Vocales:
Ignacio Amor
David Cancio
Antonio López
Cristina Nuñez
de Villavicencio

Realización y Publicidad

EDICOMPLET, S.A.
Apolonio Morales, 27 • 28036 Madrid
Tel: 91 - 350.49.17 • Fax: 91 - 350.76.52

Imprime

DGB

Distribuye

JARPA

Suscripción anual: 6.000 pts.
Número suelto: 2.000 pts.
Ejemplar gratuito para los miembros de la
Sociedad Española de Protección
Radiológica (SEPR)

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

Depósito Legal: 17158
ISSN: 1133-1747

SUMARIO

✓ Editorial	93
✓ Colaboraciones	95
• RADIATIVIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL	95
"Radiactividad del agua superficial y los sedimentos en la cuenca del Ebro. Utilización del tritio como radiotrazador en el tramo catalán"	
<i>L. Pujol Terés, J.A. Sánchez Cabeza</i>	
• RESUSPENSIÓN EN SUELOS CONTAMINADOS	104
"Resuspensión en suelos contaminados por el accidente de Chernobyl"	
<i>J. Martínez Serrano, A. Espinosa Canal, A. Aragón del Valle</i>	
• ALTA DEL PACIENTE TRATADO CON I-131	116
"Personalización del criterio de alta del paciente ingresado para tratamiento ablativo de restos tiroideos con I-131"	
<i>J.F. Martí Vidal, M.^ªC. Baños Capilla</i>	
✓ Contribución invitada	127
"El riesgo de cáncer inducido por la radiación a bajas dosis y tasas de dosis con fines de protección radiológica"	
<i>J.W. Stather</i>	
✓ Entrevista	147
"Annie Sugier. Presidenta Saliente de la Sociedad Francesa de Radioprotección"	
✓ Noticias S.E.P.R.	151
✓ Informaciones de interés	159
✓ Información del Grupo Iberoamericano	171
✓ Publicaciones	179
✓ Convocatorias	180

SOCIOS COLABORADORES SEPR

AGFA 



LAMSE, S.L.
LABORATORIO Y MANTENIMIENTO
DE SISTEMAS ESPECIALES



PHILIPS

IBERDROLA

enresa



ENUSA

INITEC

SGS Grupo SGS Ciat
TECNOS Garantía de Calidad, S. A.

GEOCISA
GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.



SIEMENS

H. Cornic, S.L.

INSTRUMENTOS CIENTIFICOS E INDUSTRIALES



Asociación Nuclear Ascó, A.I.E.

3M

CNA

CENTRAL NUCLEAR ALMARAZ



COFRENTES
CENTRAL NUCLEAR



UNION FENOSA

CENTRAL NUCLEAR "JOSE CABRERA"



CENTRAL NUCLEAR
VANDELLOS II A.I.E.

*Gracias a todos
por vuestro apoyo*

Reestructuración, desarrollo normativo y colaboración

Han transcurrido cuatro años desde la iniciación de nuestra revista **RADIO-PRO-TECCION**

con el formato y disposición actuales. En este tiempo se han superado las dificultades que el lanzamiento de una revista conlleva, se ha conseguido alcanzar una calidad científica indudable y se está en la línea de su completa consolidación tanto a nivel nacional como internacional. Todos estos logros han sido posibles gracias al esfuerzo y a la labor realizada por los miembros de sus Comités de Redacción, Científico y Dirección.

Finalizada esta fase de lanzamiento, la Junta Directiva de la SEPR ha considerado conveniente proceder a una renovación en los componentes de sus Comités, renovación que, por otra parte, se estaba produciendo de forma natural, y a una especial reestructuración de su Comité Científico, no sin antes reconocer la gran labor desarrollada y la importante aportación de sus miembros. La reestructuración y reducción consiguiente del Comité Científico pretende, a la luz de la experiencia adquirida, hacerlo más operativo, manteniendo, e incluso ampliando, su representatividad en todas las estructuras y actividades que se encuentran implicadas en los diversos campos de

actuación de la protección radiológica. Con esta reducción se potencia el contacto entre los miembros del Comité, para que puedan proporcionar información y asesoramiento continuado de las novedades científicas y técnicas de su área. Asimismo, se persigue que sean un cauce para conseguir un flujo continuo de artículos científicos, técnicos, de aplicaciones operativas, estado del arte, opiniones filosóficas u operacionales y noticias de actualidad para la revista, implicando a los socios de la SEPR del ámbito que representan y colaborando mediante su crítica constructiva y revisión científica de estos textos.

Al iniciarse la etapa de desarrollo de la nueva

legislación sobre protección radiológica, es de destacar el espíritu de colaboración y consulta abierto por el Ministerio de Industria y Energía y el Consejo de Seguridad Nuclear en el proceso iniciado de transposición de la Directiva 96/26 de la Unión Europea sobre las nuevas normas básicas de protección contra las radiaciones, para elaborar un reglamento que no presente ambigüedades ni interrogantes en su aplicación y que, logrando los fines máximos de protección, permita optimizar adecuadamente los medios a utilizar para ello.

Bajo este espíritu de colaboración, la SEPR organizó un Seminario con alta asistencia de socios y que contó con la participación de representantes de los ministerios implicados en el desarrollo de este nuevo reglamento de protección radiológica.

El Seminario puso de manifiesto que la nueva directiva va a afectar en

mayor o menor grado a todos los sectores y grupos implicados en la protección radiológica, como por ejemplo la minería del uranio, el personal de vuelo de las compañías aéreas, la situación de las mujeres embarazadas, etc. Se recalcó la importancia que tendrá el tratamiento que se dé a la exención y desclasificación de materiales con muy bajo contenido de radiactividad, al control de la exposición a la radiactividad natural y a la protección radiológica del paciente. A este respecto, la SEPR está siguiendo de forma muy directa el desarrollo de la nueva directiva de la UE sobre la protección al paciente, que esperamos sea sometida a idéntica consideración cuando haya de transponerse a la legislación nacional.

Desde estas páginas, la SEPR se ofrece a colaborar con la Administración cuando haya que dar a conocer a la opinión pública el significado de su contenido, justificando de forma razonable la reducción de los límites de dosis.

Con el espíritu de intercambio y colaboración que se ha venido manteniendo en los últimos años entre la Sociedad Nuclear Española y la Sociedad Española de Protección Radiológica, se ha procedido, en el pasado mes de mayo, a la firma de un acuerdo de colaboración entre ambas Sociedades para el establecimiento de una comunicación continuada que permita una colaboración institucionalizada en el ámbito de sus actividades, sin comprometer su independencia. El objeto de este acuerdo es facilitar el conocimiento de sus respectivas actividades y actuaciones, participar de forma conjunta en actos y temas de interés común y contribuir a la mejora de la comunicación hacia la opinión pública respecto a las actividades nucleares y radiactivas.



RADIOACTIVIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y LOS SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL EBRO. UTILIZACIÓN DEL TRITIO COMO RADIOTRAZADOR EN EL TRAMO CATALÁN



El río Ebro desemboca en el mar Mediterráneo después de atravesar ciudades importantes, zonas mineras, industriales y agrícolas. Durante la mayor parte de su historia, la radiactividad presente en sus aguas superficiales y sedimentos ha tenido su origen en fuentes naturales. Recientemente, el hombre ha provocado la aparición o el incremento de otros radionúclidos artificiales y naturales modificados por actividades humanas. En este estudio se ha realizado una caracterización radiológica completa de las aguas y sedimentos de la cuenca del Ebro para establecer la importancia relativa de las diferentes fuentes de radiación. Asimismo se ha utilizado el tritio como radiotrazador en el tramo catalán del Ebro para determinar la velocidad y el coeficiente de difusión del agua, lo que ha permitido elaborar programas para la predicción del transporte de sustancias conservativas por el agua del río.

The Ebro river discharges into the Mediterranean Sea after flowing through several large cities and agricultural, mining and industrial areas. During most of its history, radioactivity present in its surface waters and sediments was mostly due to natural sources. Recently, other artificial and technically enhanced natural radionuclides have appeared or increased due to man's activities. In the research reported on here, a full radiological characterisation of Ebro river waters and sediments was carried out to assess the relative importance of these sources of radioactivity. Also, tritium was used as a hydrological radiotracer in the Catalan section of the Ebro River to study the water speed and the diffusion coefficient in order to develop computer programs to predict the transport of conservative substances by river waters.

Lluís Pujol Terés
y Joan Albert
Sánchez Cabeza

Departamento de Física
Universidad Autónoma
de Barcelona
ES-08193 Bellaterra
(Barcelona)



INTRODUCCIÓN

El río Ebro es uno de los principales sistemas fluviales de la Península Ibérica. Su cauce atraviesa numerosas ciudades y áreas agrícolas, mineras e industriales. En particular, la industria nuclear está localizada en su orilla en dos complejos: Santa María de Garoña (Burgos) y Ascó I y Ascó II (Tarragona) (Figura 1). Por consiguiente, el conocimiento de los niveles, distribución y comportamiento geoquímico de la radiactividad presente en la cuenca hidrográfica del Ebro es importante.

Además de la radiactividad procedente de las centrales nucleares, la radiactividad presente en el agua y en sedimentos de la cuenca del Ebro puede proceder de (1,2):

- Rocas presentes en los estratos geológicos de la cuenca y rayos cósmicos (origen natural).
- Centrales térmicas, actividades agrícolas, grandes ciudades, etc (origen natural modificada por actividades humanas).
- Detonaciones nucleares atmosféricas, accidentes nucleares, etc (origen artificial).

En consecuencia, no tan sólo han de ser estudiados los entornos inmediatos de dichas centrales nucleares como fuentes de radiación, sino también otros puntos de interés de la cuenca: grandes ciudades, afluentes caudalosos, zonas mineras, zonas industriales, etc.

La presente investigación, que se enmarca dentro del campo de la Radiactividad Ambiental, presenta una caracterización radiológica del agua superficial y los sedimentos en la cuenca del Ebro. Asimismo, en coherencia con el carácter multidisciplinario de este campo, no se puede comprender correctamente el comportamiento y la distribución de la radiactividad de las aguas sin tener un conocimiento de su composición iónica y de otros parámetros físico-químicos. Con esta finalidad también se ha realizado una caracterización físico-química del agua superficial en la cuenca del Ebro. Los resultados de ésta, juntamente con la caracterización radiológica, han permitido estudiar la relación entre la radiactividad del agua y su composición iónica mediante técnicas del análisis multivariable.

La aproximación al estudio del transporte, distribución, concentración y efecto de los radionúclidos en el medio ambiente no difiere significativamente de la que se aplica a otros contaminantes no radiactivos. En nuestro caso, el transporte de los contaminantes se realiza principalmente por el agua del río, disueltos o en suspensión, como especies libres o complejas. En particular, la emisión rutinaria de tritio en los efluentes líquidos de la central nuclear de Ascó y la disposición en nuestro laboratorio de una técnica muy sensible para su detección, ha brindado la oportunidad de utilizar este radionúclido como radiotrazador hidrológico, permitiendo la calibración de la velocidad y el coeficiente de difusión del agua en el tramo catalán del río Ebro. Estos parámetros

han permitido la elaboración de programas predictivos del transporte del tritio y, en general, para cualquier sustancia soluble aguas abajo de la central nuclear de Ascó (3).

MÉTODOS ANALÍTICOS

En el proceso de la determinación de la calidad radiológica de las aguas de consumo es práctica habitual la realización de análisis de actividad alfa total y beta total. A pesar de que estos análisis proporcionan una información limitada, son necesarios para decidir la necesidad de análisis más detallados de radionúclidos específicos y permiten un control sistemático suficiente para el cumplimiento de las reglamentaciones en materia de protección radiológica (4). En esta investigación se ha desarrollado una técnica de detección simultánea de la actividad alfa total y beta total mediante el análisis de los pulsos de un sistema detector de centelleo líquido de bajo fondo (5-7).

En coherencia con las reglamentaciones en materia de protección radiológica y utilizando la técnica del centelleo líquido, se han desarrollado, además, otros métodos de análisis para algunos radionúclidos relevantes en el agua. En el caso de la actividad alfa total, la principal contribución en el agua de la cuenca del Ebro es debida a los radionúclidos de origen natural radio y uranio. En consecuencia, se ha desarrollado un método de análisis para la determinación de las actividades de ^{226}Ra y de uranio ($^{234}\text{U} + ^{238}\text{U}$) en aguas de río (8). En el caso de la actividad beta

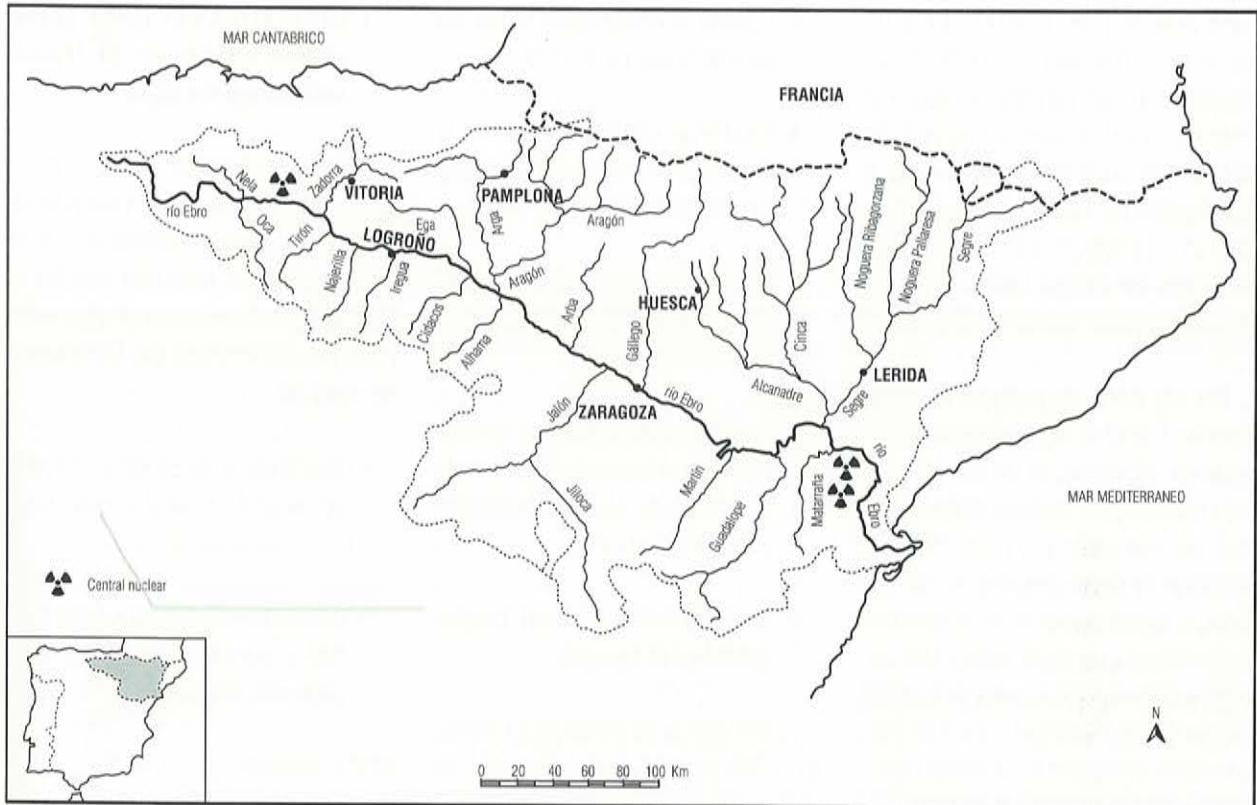


Figura 1. Cuenca hidrográfica del Ebro.

total, la mayor contribución es debida al radionúclido natural ^{40}K y en menor proporción a radionúclidos naturales de las cadenas del uranio y del torio y al radionúclido artificial ^{90}Sr . La determinación del ^{40}K se ha realizado indirectamente mediante espectrometría de absorción atómica. Por otra parte, la determinación del ^{90}Sr ha requerido la implementación de un método radioquímico de separación en agua para su contaje Cherenkov mediante el sistema detector de centelleo líquido Quantulus 1220 (9).

También se ha implementado un método para la medida de los niveles ambien-

tales de tritio en aguas superficiales, sin necesidad de procesos de concentración electrolítica, utilizando el mismo sistema detector de centelleo líquido de bajo fondo (5). El centelleo líquido es la técnica más apropiada para la medida de tritio debido a la baja energía de la emisión beta de este radionúclido (18.6 keV de energía máxima).

En el análisis de los parámetros no radiactivos del agua se han utilizado diversas técnicas analíticas, como son: absorción atómica (potasio, sodio, calcio, magnesio y estroncio estable), fluorimetría (concentración de uranio), espectrofo-

tometría (nitratos, fosfatos y sulfatos), volumetría (cloruros, alcalinidad y dureza total) y combinación de electrodos (temperatura, pH y conductividad).

DESARROLLO

Los trabajos de caracterización radiológica de la cuenca hidrográfica del Ebro realizados hasta ahora se basan en la vigilancia radiológica de sus aguas llevada a cabo por diversos organismos oficiales, principalmente en los entornos inmediatos de las centrales nucleares de Santa María de Garoña y Ascó. Sin embargo, no existe ningún estudio que



vaya más allá del control rutinario, tenga como finalidad la caracterización completa de las fuentes de radiación naturales y artificiales del agua y los sedimentos superficiales de la cuenca hidrográfica del Ebro, y ponga su atención en el establecimiento de correlaciones entre los índices radiactivos y los parámetros físico-químicos del agua.

Por otra parte, las centrales nucleares generan durante su funcionamiento normal efluentes radiactivos, de los cuales los de más baja actividad, después de ser aplicados los criterios de seguridad marcados por las autoridades competentes, son vertidos al medio ambiente en condiciones controladas. En particular, el tritio está presente en los efluentes líquidos de la central nuclear de Ascó. Este hecho y el desarrollo en nuestro laboratorio de un método analítico sensible para la medida de la actividad de tritio en muestras de agua ha permitido el uso de dicho radionúclido para la determinación de parámetros hidrológicos del agua en el tramo catalán.

Estos aspectos han sido desarrollados mediante los siguientes estudios:

1. Radiactividad en la cuenca del Ebro.

Durante noviembre de 1994 se realizó una campaña intensiva de recogida de muestras de agua y sedimentos superficiales en setenta y cinco puntos de la cuenca del Ebro, con los siguientes objetivos:

- Caracterizar radiológicamente la cuenca del Ebro.

- Conocer la composición iónica del agua de la cuenca del Ebro.
- Establecer correlaciones entre la radiactividad presente en el agua y su composición iónica.
- Determinar y caracterizar las fuentes de radiación tanto artificiales como naturales de la cuenca.
- Plantear perspectivas para profundizar en el conocimiento de los fenómenos de interés determinados a raíz de este estudio.

2. Radiactividad en el tramo catalán del río Ebro.

Desde marzo de 1989 hasta marzo de 1993 se realizaron un total de treinta campañas de recogida de muestras de agua y sedimentos superficiales en el tramo catalán del río Ebro, con los siguientes objetivos:

- Caracterizar radiológicamente el tramo catalán del río Ebro.
- Determinar el impacto radiológico de la central nuclear de Ascó en el río Ebro.
- Determinar la posible existencia de otras fuentes de contaminación radiactiva artificiales o naturales a lo largo del tramo catalán del río Ebro, con especial atención en la industria química de la localidad de Flix.

3. Utilización del tritio como radiotrazador en el tramo catalán del río Ebro.

Durante los años 1991 y 1992 se realizaron ocho campañas de recogida de muestras de agua en coordinación con la central nuclear de Ascó para estudiar la dispersión de los vertidos de tritio realizados por dicha central, con los siguientes objetivos:

- Determinar la velocidad y el coeficiente de difusión del agua en el tramo catalán del río Ebro.
- Desarrollar programas predictivos de transporte utilizando el tritio como radiotrazador.

RESULTADOS

Los resultados de esta investigación han conducido a la elaboración de una Tesis Doctoral con el mismo título de este artículo (8). A continuación, de forma breve y simplificada, exponemos algunos resultados relevantes.

La mayor contribución a la radiactividad alfa total del agua en la cuenca del Ebro es debida al $^{234,238}\text{U}$ y al ^{226}Ra y a sus descendientes emisores alfa. La radiactividad beta total es debida al ^{40}K , a los descendientes beta del radio y a una pequeña contribución de ^{90}Sr (Tablas 1 y 2). Aunque el ^{232}Th es abundante en los sedimentos del lecho del río y en las rocas de los estratos geológicos que atraviesan las aguas de la cuenca, su contribución a la radiactivi-

dad del agua es muy pequeña debido a su insolubilidad.

El agua de la cuenca del Ebro no se ve significativamente afectada por la actividad nuclear desarrollada por las centrales de Santa María de Garoña y Ascó. El ⁹⁰Sr observado en las aguas del río Ebro es atribuible al poso radiactivo generalizado y no a las centrales nucleares, pues su presencia es generalizada y las actividades no difieren aguas arriba y abajo de dichas centrales. Se ha detectado en algunas ocasiones ¹³⁷Cs y ¹³⁴Cs aguas abajo de la central nuclear de Ascó, pero siempre en concentraciones de actividad 3 y 4 órdenes de magnitud inferiores a los niveles de investigación calculados a partir de los límites de incorporación anual establecidos por el *Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones ionizantes* (6 Bq·l⁻¹ para ¹³⁷Cs y 4 Bq·l⁻¹ para ¹³⁴Cs) (10,11) y, a los niveles guía de la OMS (10 Bq·l⁻¹ para ¹³⁷Cs y 7 Bq·l⁻¹ para ¹³⁴Cs) (4). Aunque en ocasiones puntuales se han superado los 100 Bq·l⁻¹ de tritio, este valor no representa ningún riesgo radiológico para la población. El tritio es un emisor beta de muy baja energía y, el valor de concentración de actividad correspondiente al nivel de investigación es de 4000 Bq·l⁻¹ (10,11) y el nivel guía recomendado por la OMS es de 7800 Bq·l⁻¹ (4).

Los sedimentos recogidos en los entornos inmediatos y apartados de la influencia de las centrales nucleares de Santa María de Garoña y Ascó muestran que el 99 % de la actividad total detectada es de origen natural, en su mayoría procedente de las cadenas del ²³⁸U y ²³²Th y del radio-

TABLA 1: Actividades medias y rango aguas abajo de la central nuclear de Ascó en el tramo catalán del río Ebro durante el período 1990-1993

Indice radiactivo	Número de muestras [†]	Media (Bq·l ⁻¹)	Rango (Bq·l ⁻¹)
Alfa total	7	0,11 ± 0,03	0,08 - 0,16
^{238,234} U	7	0,047 ± 0,016	<0,029 - 0,054
²²⁶ Ra	7	0,024 ± 0,003	0,021 - 0,028
Beta total	7	0,28 ± 0,08	0,16 - 0,38
⁹⁰ Sr	2	0,0071 ± 0,0012	0,0070 - 0,072
⁴⁰ K	9	0,14 ± 0,04	0,09 - 0,18
¹³⁷ Cs	18	0,005 ± 0,011	<0,00036 - 0,035
³ H	18	16 ± 32	<1,5 - 117

La incertidumbre es ± 1 σ.
[†]Muestras tomadas en la localidad de Ascó.

TABLA 2: Actividades medias y rango determinadas en el agua del río Ebro durante noviembre de 1994

Indice radiactivo	Número de muestras	Media (Bq·l ⁻¹)	Rango (Bq·l ⁻¹)
Alfa total	30	0,11 ± 0,04	0,07 - 0,20
^{238,234} U	30	0,032 ± 0,028	0,001 - 0,087
²²⁶ Ra	30	0,029 ± 0,005	0,019 - 0,042
Beta total	18	0,21 ± 0,05	<0,13 - 0,30
⁴⁰ K	30	0,13 ± 0,05	0,016 - 0,234
⁹⁰ Sr	5	(6,6 ± 0,8)10 ⁻³	0,0059 - 0,0076
¹³⁷ Cs	5	(*)	<0,64 · 10 ⁻³
³ H	30	(*)	<2,6 - 3,3

La incertidumbre es ± 1 σ.
 (*) No se calcula la media por estar sesgada.

núclido ⁴⁰K. La radiactividad artificial representa tan sólo un 1 % de la actividad total, en su mayoría procedente del ¹³⁷Cs (Tabla 3). La presencia de este radionúcli-

do tiene su origen, por una parte, en el poso radiactivo generalizado y en el accidente de Chernobil y, por otra, en la actividad de las propias centrales nucleares.



TABLA 3: Radiactividad en los sedimentos superficiales de la cuenca del Ebro en noviembre de 1994

Localidad	Concentración (Bq·Kg ⁻¹ , peso seco)			
	⁴⁰ K	²³² Th	²³⁸ U	¹³⁷ Cs
Frías	85 ± 4	6,0 ± 0,4	7,1 ± 0,4	0,34 ± 0,04
San Martín de Don	251 ± 13	21,5 ± 1,1	24,2 ± 1,5	2,17 ± 0,12
Pina	424 ± 13	29,8 ± 1,0	28,4 ± 0,9	2,56 ± 0,10
Ribarroja	192 ± 6	12,7 ± 0,5	18,4 ± 0,6	0,80 ± 0,05
Ascó	330 ± 10	25,4 ± 0,8	56,7 ± 1,8	2,47 ± 0,10
Mequinenza	498 ± 15	33,9 ± 1,1	37,2 ± 2,7	4,29 ± 0,16
Milagro	319 ± 10	23,9 ± 0,8	25,3 ± 0,8	2,50 ± 0,10

La incertidumbre es $\pm 1 \sigma$.

Se han establecido correlaciones entre los índices radiactivos y los parámetros físico-químicos analizados en el agua. En la Figura 2 se ha representado la actividad alfa total en función de los diez parámetros físico-químicos analizados del tramo catalán del río Ebro y del sistema Segre-Cinca utilizando las técnicas del análisis multivariante, en particular mediante un análisis de componentes principales (12,13). Se observa que las aguas con mayor mineralización tienden a presentar valores más elevados de actividad alfa total.

Los datos experimentales obtenidos en las campañas de recogida de muestras de

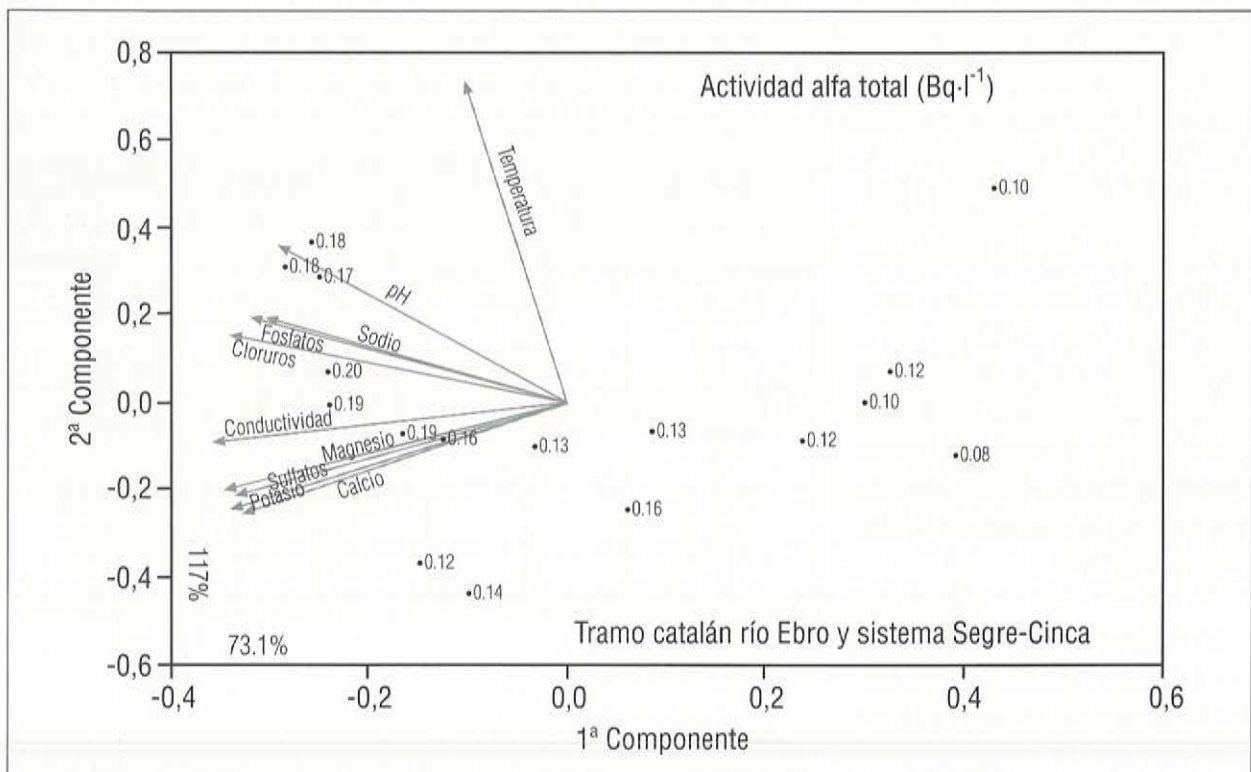


Figura 2. Actividad alfa total en función de los parámetros físico-químicos del agua a partir del análisis de componentes principales (ACP) en el tramo catalán del río Ebro y sistema Segre-Cinca en noviembre de 1994.

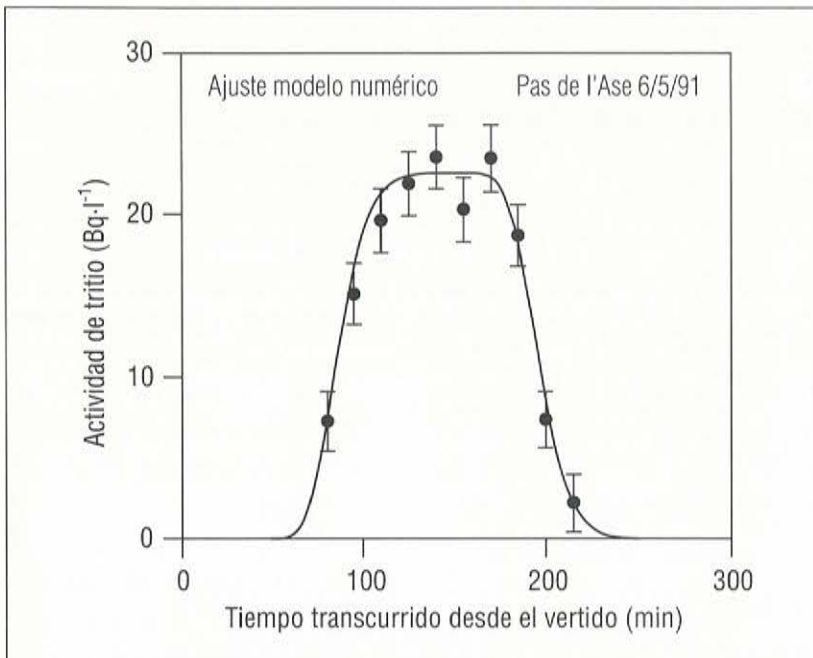


Figura 3. Ajuste de las concentraciones de tritio de los muestreos obtenidos durante la campaña realizada en el Pas de l'Ase (aguas abajo de la central nuclear de Ascó), el 6 de mayo de 1991, utilizando un modelo numérico de diferencias finitas.

borado el programa MODELVIS, código ejecutable que permite la visualización directa del movimiento de un pulso de tritio en un sistema unidimensional en el tramo catalán del río Ebro desde su emisión por la central nuclear de Ascó hasta su llegada a Tortosa. Dicho programa predice las actividades de tritio en cada tramo del río Ebro y los tiempos del paso del máximo del pulso de tritio por las diferentes localidades de interés aguas abajo de la central nuclear de Ascó para un amplio rango de caudales.

Los resultados de los índices radiactivos medidos han permitido realizar una estimación de la dosis recibida por la ingestión de agua del río Ebro por habitante y año en una población ribereña del tramo catalán (aguas abajo de Ascó) (Tabla 4). La expresión utilizada para

agua han sido ajustados mediante la prueba ji-cuadrado a diferentes modelos (gausiano, analítico, numérico y de cajas) (Figura 3) para estudiar la dispersión de los vertidos de tritio utilizando la ecuación de difusión-convección unidimensional (14):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \cdot \frac{\partial c}{\partial x}$$

donde c es la concentración del trazador.

D (m².s⁻¹) es el coeficiente de difusión.

v (m.s⁻¹) es la velocidad del medio en que se propaga el trazador.

Además de desarrollarse diferentes programas de cálculo, también se ha el-

TABLA 4: Estimación de la dosis recibida por la ingestión de agua del Ebro por habitante y año en una población ribereña del tramo catalán

Índice radiactivo	Actividad (Bq·m ⁻³)	Factor de conversión ¹ (Sv·Bq ⁻¹)	Dosis (µSv·año ⁻¹)
²²⁶ Ra [±]	27	2,8 · 10 ⁻⁷	5,5
²³⁸ U + ²³⁴ U	44	4,7 · 10 ⁻⁶	1,5
⁴⁰ K	140	6,2 · 10 ⁻⁹	0,63
Total natural			7,63
⁹⁰ Sr	6,7	2,8 · 10 ⁻⁶	0,14
³ H	4000	1,8 · 10 ⁻¹¹	0,05
¹³⁷ Cs	1,6	1,3 · 10 ⁻⁶	0,02
Total artificial			0,21
Total			7,84

¹ (15), Para ²³⁸U + ²³⁴U el FCD se ha promediado.

[±] Incluye los descendientes de vida corta.



estimar la dosis anual recibida para un radionúclido determinado ha sido la siguiente:

$$H_i = 10^6 \cdot A_i \cdot FCD \cdot I$$

donde H_i ($\mu\text{Sv}\cdot\text{año}^{-1}$) es la tasa de dosis debido al radionúclido i .

A_i ($\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$) es la concentración de actividad en el agua del radionúclido i .

FCD, ($\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$) es el factor de conversión de dosis del radionúclido i .

I ($\text{l}\cdot\text{año}^{-1}$) es el consumo de agua en un año. Asumiendo una ingestión de 2 litros por día, entonces $I = 730 \text{ l}\cdot\text{año}^{-1}$ (4).

La dosis se ha estimado en $7.84 \mu\text{Sv}$. La contribución a la dosis total debida a la radiactividad natural es de un 97.5 %, mientras que la debida a la radiactividad artificial representa un 2.5 % del total.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de esta investigación han sido:

- El 100 % y el 97 % de la actividad alfa total y beta total del agua superficial, respectivamente, y el 99 % de la actividad de los sedimentos de la cuenca del Ebro son de origen natural.
- La actividad alfa total procede, principalmente, del $^{234,238}\text{U}$, ^{226}Ra y de sus descendientes. La actividad beta total procede, principalmente, del ^{40}K , ^{226}Ra y descendientes y ^{90}Sr .

- La radiactividad natural en la cuenca del Ebro se ve incrementada por la presencia de diferentes fuentes: grandes ciudades, embalses y zonas mineras.

- En general, se han encontrado correlaciones significativas entre la actividad alfa total, beta total, $^{234,238}\text{U}$ y algunos de los parámetros físico-químicos del agua como la conductividad, magnesio, calcio y sulfatos. No se han encontrado correlaciones significativas entre el ^{226}Ra y los parámetros físico-químicos investigados.

- No se observa ningún incremento en las actividades alfa total y beta total en las aguas debido a las centrales nucleares situadas en la cuenca del Ebro. Se detecta una pequeña presencia (1 %) de radiactividad artificial en sedimentos aguas abajo de la central nuclear de Ascó.

- Se ha estimado la dosis recibida por la ingestión de agua del Ebro por habitante y año en un población ribereña del tramo catalán en $7.84 \mu\text{Sv}$. La contribución a la dosis total debida a la radiactividad natural es de un 97.5 %, mientras que la debida a la radiactividad artificial representa un 2.5 % del total.

AGRADECIMIENTOS

Señalamos nuestro agradecimiento a los compañeros del Laboratorio de Radiactividad Ambiental por su colaboración en las

campañas de muestreo y asistencia en el laboratorio. A la Junta de Sanejament del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya por el soporte económico durante 1990-1992 y a la Asociación Nuclear Ascó (A.N.A.) por su cooperación para la realización del estudio del tritio como radiotrazador.

REFERENCIAS

1. Eisenbud M. (1987). Environmental Radioactivity, Academic Press, Inc., New York.
2. UNSCEAR (1988). Ionizing Radiation Sources and Biological Effects, United Nations, New York.
3. Sánchez-Cabeza, J.A., Pujol, L.I., Molero, J., Merino, J., León, L., Vidal-Quadras, A., Schell, W.R., Trilla, J. y Mitchell, P.I. (1992). Estudio preliminar sobre el transporte de especies químicas solubles en el río Ebro utilizando el tritio como trazador. En: Actas de la XVIII Reunión de la Sociedad Nuclear Española, Madrid, Sección 2.05.
4. WHO (World Health Organization) (1993). Guidelines for drinking-water quality, Recommendations. Volumen 1, Ginebra, pp. 114-121.
5. Pujol, L.I. (1992). Estudi del Sistema Detector de Centelleig Líquid Quantulus 1220 per a la Mesura de l'Activitat de Triti, Alfa Global i Beta Global en Mostres d'Aigua. Trabajo de Investigación, Universidad Autónoma de Barcelona.

6. Sánchez-Cabeza, J.A., Pujol, Ll., Merino, J., León, L., Molero, J., Vidal-Quadras, A., Schell, W.R. y Mitchell, P.I. (1993). Optimisation and calibration of a low background liquid scintillation counter for the simultaneous determination of alpha and beta emitters in aqueous samples. En: International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry 1992, ed. J.E. Noakes, F. Schönhofer y H.A. Polach. Radiocarbon, Tucson, Arizona, pp. 43-50.
7. Sánchez-Cabeza J.A. y Pujol Ll. (1995). A rapid method for the simultaneous determination of gross alpha and beta activities in water samples using a low background liquid scintillation counter. Health Physics, 68, 674-682.
8. Pujol Ll. (1996). Radiactividad del agua superficial y los sedimentos en la cuenca del Ebro. Utilización del tritio como radiotrazador en el tramo catalán. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.
9. Bruach Menchén, J.M. (1996). 90Sr en Medis Aquàtics: el Llac Redó, el Riu Ebre i el Mar Catalano-Balear. Trabajo de Investigación, Universidad Autónoma de Barcelona.
10. BOE (Boletín Oficial del Estado) (1992). Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes. Boletín Oficial del Estado, 12 Febrero, Orden 3084, Madrid, pp. 4759-4848.
11. CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) (1994). Control radiológico del agua de bebida. Guía de Seguridad nº 7.7 (Rev. 1), CSN, Madrid.
12. Manly, Bryan F.J. (1986). Multivariate Statistical Methods: A Primer. Chapman and Hall Ltd, London.
13. Rawlings, J.O. (1988). Applied Regression Analysis: A Research Tool. Wadsworth, Inc., California.
14. IAEA (1985). Hydrological Dispersion of Radioactive Material in Relation to Nuclear Power Plant Siting. Safety Series No. 50-SG-S6, IAEA, Viena.
15. ICRP (International Commission on Radiological Protection) (1994). Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68. Annals of the ICRP, 24(4), Pergamon Press, Oxford.



RESUSPENSION EN SUELOS CONTAMINADOS POR EL ACCIDENTE DE CHERNOBYL

El artículo que se presenta está basado en la aportación CIEMAT al proyecto multinacional CHECIR-ECP 1 "Contamination of surfaces by resuspended material", en el que participaron diez centros de investigación, seis de ellos pertenecientes a países comunitarios. Dicho proyecto es uno de los dieciseis realizados bajo el Acuerdo de Colaboración Internacional sobre las Consecuencias del Accidente de Chernobyl, firmado en Junio de 1992 entre la Comisión Europea y representantes de las tres repúblicas afectadas, Bielorrusia, Ucrania y Rusia. El trabajo se centra en la obtención de datos experimentales, en diferentes escenarios del entorno del reactor accidentado y bajo diferentes condiciones, naturales y con actividades humanas, que permitan realizar una estimación de la dosis debida a la inhalación por resuspensión de material contaminado. Asimismo se obtienen valores de factores útiles para la modelización del proceso de resuspensión. Los radionucleidos estudiados son el Cs-137 y el Pu-239+240. La principal conclusión obtenida es que, en la época en que se realizó el proyecto, las dosis por esta vía son pequeñas, incluso para potenciales grupos de riesgo, como los trabajadores agrícolas, en comparación con las producidas por otras vías de exposición.

J. Martínez Serrano,
A. Espinosa Canal,
A. Aragón del Valle

CIEMAT.

Departamento de Impacto
Ambiental de la Energía.
Avda. Complutense 22,
28040 Madrid.

This paper presents a summary of the CIEMAT contribution to the multinational project CHECIR-ECP 1 "Contamination of surfaces by resuspended material". Ten researchs organisations participated in this study, six of them from european countries. The project is one of the sixteen projects carried out under an Agreement for International Collaboration on the Consequences of the Chernobyl Accident, signed in June 1992 by the EC and representatives of the three affected republics, Belarus, Ukraine and the Russian Federation. The work is addressed to the collection of experimental data in order to make dose estimations from the resuspension pathway. The experimental activities were carried out in several contaminated areas in the surrounding of the Chernobyl reactor site, under natural conditions (wind resuspension) and simulating human activities (agricultural and traffic). The main conclusion obtained was that, at the time of the project, the doses from resuspension are small, even for potential risk groups such as agricultural workers, in comparison with the doses from other exposure pathways.

INTRODUCCIÓN

El accidente de Chernobyl ha afectado a una gran cantidad de población a través de diversas vías de exposición. El análisis del comportamiento de los radionucleidos en el medio ambiente es, pues, una prioridad para poder predecir y evaluar la contribución de las diferentes vías al impacto radiológico global de la población. Con este objetivo, se ha tratado de avanzar en la significación de la resuspensión de radiactividad desde suelos contaminados, mediante la ejecución de un proyecto experimental que obtuviera información útil en la estimación de dosis por esta vía. En este contexto, determinados grupos de población, como los trabajadores agrícolas, entre otros, merecen especial atención, por lo que, en adición al estudio de la resuspensión natural, el análisis de la resuspensión durante la ejecución de trabajos agrícolas resulta ineludible. Por otra parte, la obtención de

factores que ayuden a la modelización del proceso de resuspensión es de gran utilidad para la predicción de consecuencias por esta vía, en el caso de un hipotético accidente, y en la evaluación de acciones de remedio aplicables en una potencial intervención.

ESCENARIOS Y CAMPAÑAS EXPERIMENTALES

En el transcurso del proyecto ECP1 se han realizado cinco campañas experimentales en siete localizaciones diferentes. En cada emplazamiento se tomaron muestras de aire y suelo, antes y durante la realización de actividades agrícolas, reales o simuladas, excepto en "Beach-Pripyat" donde, debido a los altos niveles de actividad, sólo se efectuaron medidas de fondo. Una descripción detallada de las campañas se encuentra en (1) y un resumen de las mismas se realiza a continuación.

La primera campaña experimental tuvo lugar en Julio y Agosto de 1992, en dos áreas distintas. La primera parte de la campaña se realizó en una zona de campo abierto, cerca de la aldea abandonada de Zapolye, situada a 7 Km al oeste de la población de Chernobyl y 8 Km al sur del reactor 4 de la central nuclear de Chernobyl. En esta zona se efectuaron varios experimentos de medida de fondo y un experimento de simulación de prácticas agrícolas. La segunda parte de esta primera campaña experimental se desarrolló en un terreno de arena artificial, de vegetación escasa ("Beach-Pripyat"). Este lugar se encuentra situado a 2 Km al oeste de la central nuclear de Chernobyl.

La segunda campaña experimental tuvo lugar en Mayo de 1993, en el mismo emplazamiento de la primera campaña (Zapolye). En nueve experimentos se simulaban trabajos de agricultura por medio de tractores que arrastraban



aparejos agrícolas. En otros cinco experimentos se simularon condiciones de tráfico de vehículos (camiones) por caminos no asfaltados.

Kopachi fue el emplazamiento elegido para la tercera campaña experimental, que tuvo lugar del 30 de Julio al 14 de Agosto de 1993. Este enclave se encuentra situado a 3 Km al sur de la central. En esta campaña se realizaron dos experimentos de simulación de trabajos de agricultura.

La cuarta campaña experimental tuvo lugar en Mayo de 1994, en una zona rural dedicada al cultivo de patatas y cerca del pueblo de Demenka (Novozybkov, Rusia). El suelo de Novozybkov presentaba una diferencia fundamental respecto al de las zonas anteriores ya que había sido perturbado previamente como consecuencia de actividades agrícolas. Se llevaron a cabo diez experimentos relacionados con la preparación del suelo de labor y el cultivo de la patata.

Mikulichi y Kovali, poblaciones al sur de Bielorrusia, fueron los escenarios elegidos para la quinta y última campaña de medidas (Julio-Agosto, 1994). En Kovali se efectuó un experimento en el transcurso de la recolección de un campo cultivado con cebada, y en Mikulichi, en la recolección de un campo cultivado con centeno, en la recogida y embalaje de paja, así como en el arado y grada del suelo de labor.

Los equipos de muestreo de aerosoles utilizados, de muy variado diseño, se pueden englobar en dos grupos: los que separan la muestra en varias fracciones

de tamaño de partícula y los que recogen toda la muestra en suspensión. Por otra parte, se utilizaron bandejas para la medida de depósito seco así como colectores de depósito seco y húmedo a varios niveles sobre el suelo.

En cada una de las campañas se dispuso de una estación micrometeorológica para conocer la velocidad de viento, temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y precipitaciones durante los experimentos.

Los equipos e instrumentación utilizados en las campañas por CIEMAT se detallan a continuación:

- Zapolye (Julio, 1992) y Beach-Pripyat (Julio-Agosto, 1992): Muestreador de alto volumen Andersen y cabezal PM10 con caudal de 1,13 m³/min. Impactador rectangular en cascada de seis etapas (10-7,2; 7,2-3,0; 3,0-1,5; 1,5-0,95; 0,95-0,49 y < 0,49 µm).
- Zapolye (Mayo, 1993) y Kopachi (Julio-Agosto, 1993): Dos muestreadores de alto volumen Andersen con cabezales PM10 a dos niveles de altura. Dos impactadores circulares en cascada de cinco etapas (10-4,9; 4,9-2,3; 2,3-1,4; 1,4-0,8 y < 0,8 µm). Mástil con bandejas a cuatro niveles sobre el suelo para recogida de depósito seco.
- Novozybkov (Mayo, 1994). Muestreador Andersen con cabezal PM10 e impactador circular en cascada.

- Mikulichi y Kovali (Julio-Agosto, 1994). Dos muestreadores Andersen con cabezales PM10 e impactadores circular en cascada a dos niveles de altura. Muestreador Andersen portátil para captación de muestra total. Mástil para recogida de depósito a cuatro niveles sobre el suelo.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Concentraciones de actividad en aire en condiciones de resuspensión natural

En todas las campañas experimentales se recogieron muestras de aerosoles en suspensión en ausencia de cualquier actividad que supusiera un movimiento de la capa superficial del suelo, salvo la producida por el viento y las personas que intervenían en los experimentos. En la tabla 1 se muestran las concentraciones de actividad (Cs-137 y Pu-239+240) de la fracción de partículas de diámetro menor de 10 µm, en cada emplazamiento experimental. Los valores indicados corresponden a la media aritmética de las diferentes medidas de fondo efectuadas en cada emplazamiento.

Las concentraciones de Cs-137 en la fracción inhalable oscilan entre 60 y 600 µBq/m³, según el emplazamiento. No existe, por otra parte, una relación clara entre los niveles de contaminación atmosféricos de Cs-137 y la distancia a la fuente contaminante (reactor 4 de Chernobyl). Así, por ejemplo, en Novozybkov, punto bastante alejado de la central nuclear (= 200 km), se han medido con-

TABLA 1. Concentraciones de actividad (Cs-137 y Pu-239+240) en aire en la fracción de 10 µm en cada uno de los escenarios experimentales. (El orden de aparición en la tabla corresponde al de distancias sucesivamente crecientes a la central nuclear de Chernobyl).

Localización	Cs-137 (Bq/m ³)	Pu-239+240 (Bq/m ³)
Beach-Pripyat	507 ± 200	3,1 ± 0,6
Kopachi	80 ± 10	0,4 ± 0,2
Zapolye (1992)	65 ± 30	—
Zapolye (1993)	105 ± 40	1,1 ± 0,4
Kovali	120 ± 13	0,15 ± 0,07
Mikulichi	60 ± 37	0,19 ± 0,07
Novozybkov	600 ± 400	< LID

centraciones de Cs-137 en aire comparables a las halladas en Beach-Pripyat, zona situada tan sólo a 2 ó 3 Km de la central. En cuanto a las concentraciones de Pu-239+240, se observa que en las zonas más alejadas del reactor (Novozybkov, Mikulichi y Kovali) las concentraciones en la fracción inhalable son menores que en las zonas más próximas al reactor.

Respecto a la distribución de actividad de Cs-137 en función del tamaño del aerosol en suspensión, la figura 1 muestra la concentración de actividad de Cs-137 en función del diámetro aerodinámico de partícula en cuatro experimentos distintos en el área experimental de Beach-Pripyat. En dos de los experimentos, realizados consecutivamente del 13 al 24 de Julio, la mayor concentración de Cs-137 se alcanza en la fracción de 3 a

7,2 µm, mientras que en los que tuvieron lugar del 24 de Julio al 1 de Agosto la fracción que contiene la máxima acti-

vidad de cesio es la de menor tamaño (< 0,5 µm). Una posible explicación se puede encontrar en las diferentes condiciones meteorológicas observadas en estos dos periodos de tiempo, si bien no se dispone de suficientes datos meteorológicos documentados, en estos periodos, para confirmarlo.

En la figura 2 se ha representado, en escala de probabilidad semilogarítmica, el porcentaje de actividad acumulada de Cs-137 en función del diámetro de partícula. Los datos obtenidos de la distribución de actividad siguen una distribución log-normal. Esto es aplicable a cada uno de los experimentos realizados en las diferentes campañas.

En cuanto a la distribución de actividad de Pu-239+240, en la figura 3 se ha representado la actividad de Pu-239+240

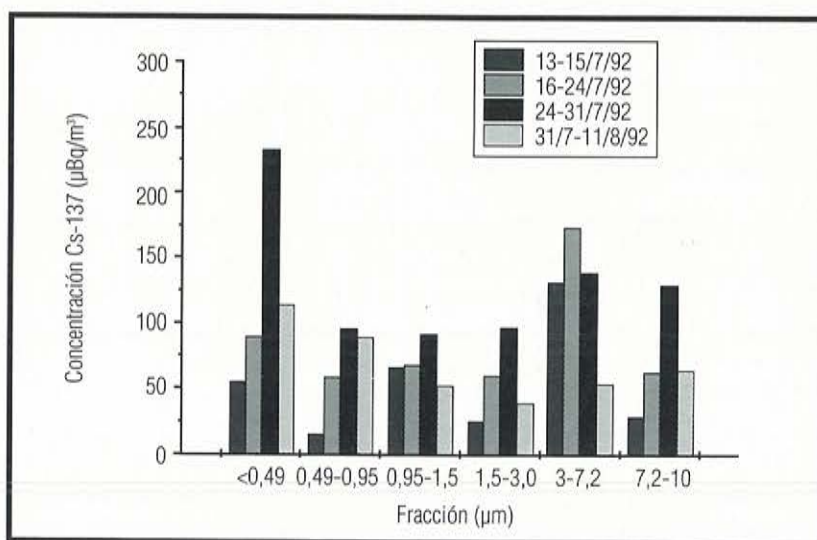


Figura 1. Concentración de Cs-137 en aire, en la fracción inhalable, en experimentos de resuspensión natural en Beach-Pripyat (Julio-Agosto 1992).

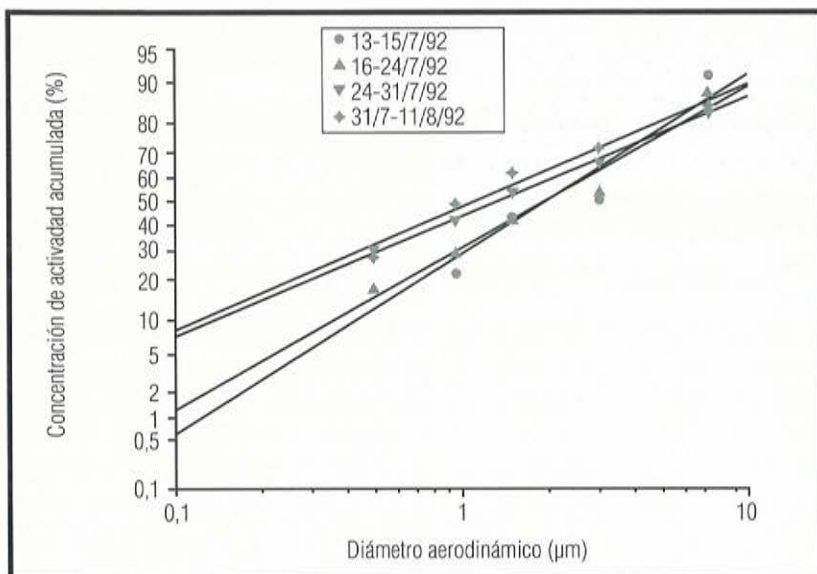


Figura 2. Concentración acumulada de Cs-137 en aire en función del diámetro aerodinámico en experimentos de resuspensión natural en Beach-Pripyat (Julio-Agosto, 1992).

de la fracción inhalable ($<10 \mu\text{m}$), en función del tamaño de partícula, en dos de los experimentos de medida de fondo (fondo 2 y fondo 4) en "Beach-Pripyat". Las distribuciones en los otros dos experimentos no se han podido representar porque la actividad en algunas fracciones se encuentran por debajo del límite de detección.

Como se puede ver en la figura 3, la máxima concentración en ambos casos se encuentra en la fracción de 3 a $7,2 \mu\text{m}$. De igual forma que en el caso de Cs-137, la distribución de actividad se ajusta de forma bastante aproximada a una distribución log-normal.

En la tabla 2 se muestran los parámetros de las distribuciones log-normal (diámetro aerodinámico medio y desvia-

ción geométrica estándar) en los experimentos de medida de fondo. En todos los

experimentos en los que se dispone de datos de plutonio se puede observar que los diámetros aerodinámicos medios asociados a las distribuciones de Pu-239+240 son mayores que los de las distribuciones de Cs-137, lo que indica que el plutonio está asociado a partículas de mayor tamaño que el cesio.

Concentraciones de actividad en aire en condiciones de resuspensión por actividades humanas

Las medidas de concentración de actividad en aire en los distintos escenarios experimentales, descritas en el apartado anterior, nos muestran que puede haber una variación considerable en las concentraciones de radionucleidos en una escala espacial de varias decenas de kilómetros. Por otro lado, las actividades

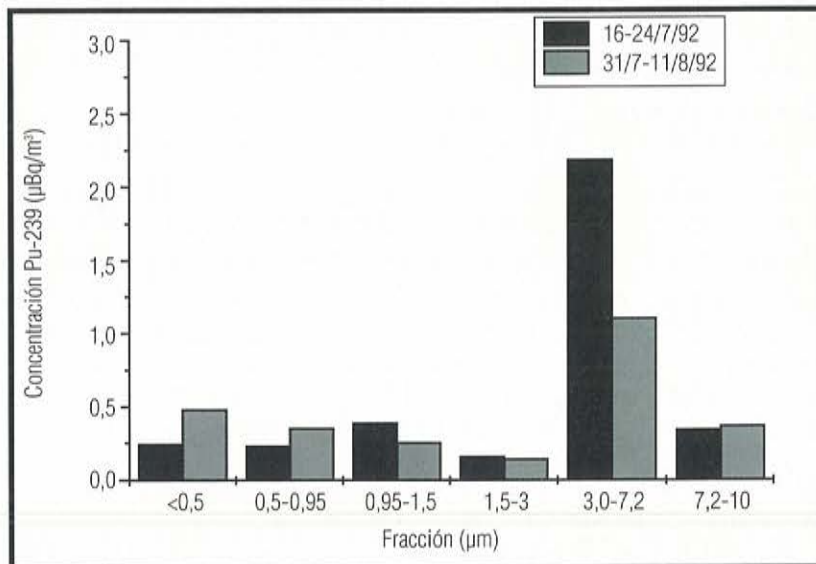


Figura 3. Concentración de Pu-239+240/240 en función del tamaño de partículas en el rango inhalable en dos experimentos de resuspensión natural en Beach-Pripyat.

TABLA 2. Diámetros aerodinámicos medios y desviaciones geométricas estándar de las distribuciones log-normales de actividad de Cs-137 y Pu-239+240 según el tamaño de partícula (los huecos en la tabla de Pu se deben a la falta de datos –concentraciones por debajo del límite de detección– necesarios para determinar las distribuciones de actividad).

Emplazamiento	Experimento	Fecha	Cs-137		Pu-239+240	
			AMAD (μm)	σg	AMAD (μm)	σg
Zapolye	Fondo	4-9/7/92	2,3	6,7	–	–
Beach-Pripyat	Fondo 1	13-15/7/92	2,0	6,4	–	–
	Fondo 2	16-24/7/92	1,9	4,8	2,8	4,3
	Fondo 3	24-31/7/92	1,3	5,5	–	–
	Fondo 4	31/7-11/8/92	1,1	5,2	2,0	5,4
Zapolye	Fondo 1	8-11/5/93	2,0	2,9	–	–
	Fondo 2	14-20/5/93	1,8	10,9	5,4	6,6
Kopachi	Fondo	30/7-3/8/93	1,8	2,4	3	4,7
Novozybkov	Fondo 1	18-19/5/94	1,4	9,8	–	–
Mikulichi	Fondo 1	7-22/7/94	1,7	3,5	–	–
	Fondo 2	2-26/7/94	1,9	3,3	–	–
	Fondo 3	6-30/7/94	3,7	3,1	–	–
Kovali	Fondo	4-6/8/94	1,5	2,7	2	3,6

antropogénicas sobre una superficie contaminada constituyen una fuente de aerosoles en la capa superficial de la atmósfera y pueden tener una influencia considerable en la resuspensión de material contaminado a escala local. En el proyecto ECP1 se ha estudiado la influencia que tienen en la resuspensión local actividades como el paso de vehículos por caminos sin asfaltar o trabajos de agricultura (arado, cultivo del suelo o recolección de cosechas).

En Mayo de 1993, en Zapolye, se simulaban actividades de agricultura y

tráfico de vehículos con varios tipos de tractores y un camión de gran peso. Las concentraciones de actividad en aire en ocho de los experimentos fueron medidas con muestreadores de alto volumen Andersen. La tabla 3 muestra las concentraciones de actividad de Cs-137 en la fracción inhalable.

En trabajos de agricultura, con uso de tractor, las concentraciones de Cs-137 en aire alcanzan valores de hasta 14 mBq/m³, lo que supone un incremento de unos dos órdenes de magnitud respecto a los valores hallados en los expe-

rimentos de resuspensión natural por viento. La concentración media de Cs-137 en aire durante trabajos de enterramiento de semilla de patatas en Novozykov es de 5 mBq/m³, casi 10 veces el valor de fondo en esta zona. En Mikulichi, en los trabajos de recolección de centeno, se alcanzan concentraciones que van de 1 a 7,6 mBq/m³, es decir de hasta unas 130 veces el valor de fondo. En experimentos de simulación de tráfico de vehículos por caminos de tierra se alcanzan concentraciones que van de 11 a 64 mBq/m³, lo que supone un incremento de hasta 600 veces los valores de fondo en la zona.

Como se hizo en los experimentos de resuspensión natural por viento, se analizaron las distribuciones de actividad de Cs-137 por tamaño de partícula. Las distribuciones obtenidas son log-normales; los diámetros aerodinámicos medios, para cada experimento, de las distribuciones se muestran en la tabla 3 y son, generalmente, mayores que los encontrados en medidas de resuspensión natural. Ello se debe a que el movimiento del suelo por actividades humanas incrementa considerablemente la concentración de partículas de mayor tamaño en aire y aumenta, por tanto, la contribución de estas partículas a la concentración de actividad.

De lo expuesto se concluye que las actividades humanas que impliquen un movimiento de la superficie del suelo dan lugar a un aumento significativo de la concentración de actividad en aire y, como consecuencia, a un aumento de la



TABLA 3. Concentraciones de Cs-137 asociada a la fracción menor de 10 μm en aire y diámetros aerodinámicos medios de la distribución log-normal de actividad en diversos experimentos.

Emplazamiento	Descripción del experimento	Fecha	Cs-137 (mBq/m ³)	AMAD (μm)
Zapolye	Tractor pequeño arrastrando arado	11/5/93	<1,2	–
	Tractor pequeño arrastrando arado	12/5/93	<1,7	–
	Tractor grande arrastrando arado	13/5/93 a.m.	13,4 \pm 4,6	3,5
	Tractor grande arrastrando arado	13/5/93 p.m.	13,6 \pm 3,0	2,7
	Movimiento de camión	22/5/93	11,1 \pm 2,1	2,2
	Tractor pequeño arrastrando arado	23/5/93	3,4 \pm 1,6	2,5
	Movimiento de dos camiones	24/5/93	63,9 \pm 4,5	2,6
	Movimiento de tractor y camión	25/5/93	13,8 \pm 2,0	2,7
Kopachi	Tractor grande arrastrando arado	3/8/93	8,1 \pm 1,6	3,0
	Tractor grande arrastrando arado	4/8/93	7,7 \pm 1,8	3,0
Novozybkov	Plantación de patatas	19/5/94	5,0 \pm 0,6	1,9
	Plantación de patatas	20/5/94	4,9 \pm 0,4	1,7
	Enterramiento de semilla de patata	20/5/94	5,4 \pm 0,5	2,6
Mikulichi	Recolección de centeno	30/7/94	1,0 \pm 0,1	1,9
	Embalaje de paja	31/7/94	2,0 \pm 0,2	1,7
	Grada del suelo de labor	1/8/94	7,6 \pm 0,9	2,0
	Arado del suelo de labor	2/8/94	5,3 \pm 0,6	2,9
Kovali	Recolección de cebada	6/8/94	1,5 \pm 0,2	1,8

dosis interna, que es preciso evaluar, de las personas que participan en estos trabajos debido, fundamentalmente, a su incorporación interna vía inhalación.

Parámetros de resuspensión

Factor de transferencia suelo-aire

Se define el factor de transferencia suelo-aire (T_{sa}) de un radionucleido como el cociente entre la actividad específica en aire y la actividad específica en la capa superficial del suelo (2, 3).

En la tabla 4 se muestran los valores de T_{sa} en cada escenario experimental para Cs-137 asociado a la fracción menor de 10 μm , donde el orden de aparición en la tabla es el de distancias crecientes al reactor 4 de Chernobyl. Merece la pena resaltar el hecho de que T_{sa} manifiesta una fuerte dependencia con la distancia del área experimental al reactor, origen de la contaminación radiactiva. En las zonas más cercanas a la central (Beach-Pripyat y Kopachi), dentro del área de exclusión de 10 Km, el cociente de las actividades específicas en aire y en

suelo toman valores menores que 1. En la zona de 30 Km (Zapolye), este cociente aumenta pero sigue siendo inferior a 1. Es en las regiones más alejadas del reactor donde este cociente sobrepasa la unidad, tomando el valor máximo en el punto más lejano (Novozybkov).

Con respecto al plutonio, en la tabla 5 se muestran las actividades específicas en aire y en suelo de la fracción de partículas de diámetro inferior a 10 μm en aquellos lugares donde se dispone a la vez de datos de plutonio en suelo y en aire. La

TABLA 4. Actividades específicas de Cs-137 en aire y en suelo (capa superficial de suelo, de 0 a 5 cm) de la fracción de partículas de diámetro inferior a 10 µm y factor de transferencia suelo-aire.

Localización	Actividad específica, A_A Cs-137 en aire (Bq/g)	Actividad específica, A_S Cs-137 en suelo (Bq/g)	$T_{SA}=A_A/A_S$
Beach-Pripyat	4,9	150,7	0,032
Kopachi	5,9	275,0	0,021
Zapolye (1992)	7,5	47,3	0,16
Zapolye (1993)	4,7	47,3	0,10
Kovali	5,0	2,7	1,8
Mikulichi	4,8	3,5	1,4
Novozybkov	42,5	13,3	3,2

densidades de contaminación superficiales de Cs-137 son muy distintas en cada área experimental, siendo mayores en las zonas más próximas al reactor de Chernobyl. Como consecuencia de esto se encuentran factores de resuspensión de valores crecientes con la distancia al reactor. Este resultado es coherente con lo visto en el apartado anterior para el factor de transferencia suelo-aire. Es lógico encontrar un comportamiento parecido en los dos factores ya que, tanto el factor de resuspensión como el factor de transferencia suelo-aire, son parámetros que dan cuenta de la transferencia local de actividad de la superficie del suelo al aire.

variación de T_{SA} con la distancia es cualitativamente similar al encontrado para el Cs-137. En los lugares más cercanos a Chernobyl (Kovali, Zapolye) se obtienen valores menores que uno mientras que en lugares bastante más alejados se alcanzan valores superiores a la unidad.

Como se dijo anteriormente, en los lugares más próximos a Chernobyl las concentraciones de Cs-137 en aire no difieren mucho de las medidas en lugares bastante más alejados (Mikulichi, Kovali y Novozybkov). En cambio las

Medidas efectuadas en Zapolye (Mayo, 1993) durante resuspensión natural revelaron la existencia de una correlación lineal del factor de resuspensión con el tamaño de partícula. En la figura 4 se ha representado el factor de resuspensión en función del diámetro de partícula (las

Factor de resuspensión

El factor de resuspensión (4) se define como el cociente entre la concentración de actividad a una cierta altura de referencia y la densidad de contaminación en la capa más superficial del suelo (1-2 cm del suelo). Los factores de resuspensión obtenidos con los valores medios de concentración de Cs-137 en aire y con los valores medios de densidades de contaminación en suelo se muestran en la tabla 6, tomando valores que van de $6,9 \times 10^{-11}$ a $3,0 \times 10^{-9}$ m⁻¹.

TABLA 5. Actividades específicas de Pu-239+240/240 en aire y en suelo (capa superficial de suelo, de 0 a 5 cm) de la fracción de partículas de diámetro inferior a 10 µm y factor de transferencia suelo-aire.

Localización	Actividad específica, A_A Pu-239+240/240 en aire (Bq/g)	Actividad específica, A_S Pu-239+240/240 en suelo (Bq/g)	$T_{SA}=A_A/A_S$
Kopachi	0,032	2,4	0,013
Zapolye (1993)	0,079	0,16	0,49
Kovali	0,013	0,003	4,1



TABLA 6. Concentración de actividad (Cs-137) de la fracción total resuspendible en aire, densidad de contaminación de la capa superficial al suelo (0-2cm) y factor de resuspensión en las zonas experimentales.

Area Experimental	Concentración actividad Cs-137 (mBq/m ³)	Densidad de contaminación Cs-137 (Bq/m ²)	Factor de resuspensión (m ⁻¹)
Beach-Pripyat	0,86	1,8x10 ⁶	4,9x10 ⁻¹⁰
Kopachi	0,18	2,6x10 ⁶	6,9x10 ⁻¹¹
Zapolye (1992)	0,08	4,6x10 ⁵	1,7x10 ⁻¹⁰
Zapolye (1993)	0,17	5,3x10 ⁵	3,2x10 ⁻¹⁰
Mikulichi	0,076	7,4x10 ⁴	1,0x10 ⁻⁹
Kovali	0,14	1,4x10 ⁵	1,0x10 ⁻⁹
Novozybkov	0,75	2,5x10 ⁵	3,0x10 ⁻⁹

medidas de concentración de actividad en aire proceden de muestras tomadas mediante el impactador PK de la Ukrainian Agricultural Academy of Sciences).

De la figura 4, se deduce que la variación del factor de resuspensión con el diámetro de partícula es aproximadamente lineal en el rango de 0 a 20 µm, con un factor de regresión del 90 %.

DOSIS POR INHALACIÓN DE ACTIVIDAD RESUSPENDIDA

Las partículas en suspensión y los radionucleidos asociados a estas partículas pueden ser inhalados y depositados en el tracto respiratorio, lo que conlleva un aporte de dosis por incorporación interna. El depósito de estas partículas en las distintas regiones del tracto respiratorio depende exclusivamente de su tamaño

y de las características fisiológicas del individuo. Así, las más pequeñas se depositan en la parte más baja del pulmón mientras que las mayores se deposi-

tan en las vías altas del sistema respiratorio. Por tanto, para una exacta evaluación de la dosis por inhalación, es necesario conocer la distribución de actividad en función del diámetro de partícula.

En el cálculo de los factores de dosis (función, principalmente, del diámetro aerodinámico de las partículas y de la clase de solubilidad) se hizo uso del código LUDEP 1,0, que implementa el nuevo modelo pulmonar de la ICRP. En el cálculo de dosis se utilizaron valores estándar para un varón adulto, con una tasa de ventilación pulmonar de 1,2 m³/h y se supuso una densidad del aerosol de 3,0 g/cm³. Debido al desconocimiento de las muestras de aerosoles, en cuanto a solubilidad biológica, se supuso clase S para todos los isótopos de Pu y clase F para el Cs-137.

La tabla 7 muestra la dosis equivalente comprometida al pulmón y la dosis efectiva

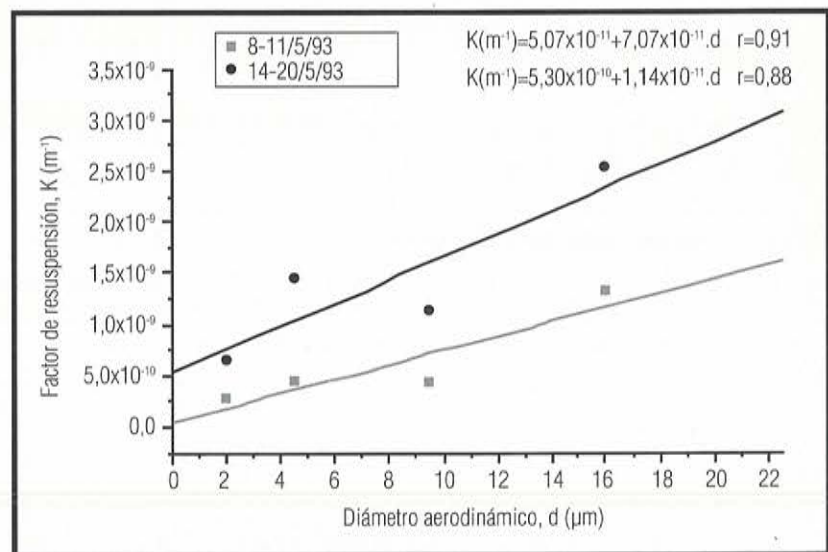


Figura 4. Factor de resuspensión en función del diámetro aerodinámico del aerosol en experimentos efectuados en Zapolye (Mayo 1993).

TABLA 7. Dosis equivalente comprometida al pulmón (HT) y dosis efectiva comprometida (E) debida a inhalación de Cs-137 y Pu-239+240 suponiendo una exposición de 800 horas al año en condiciones idénticas a las existentes en cada experimento. Los cálculos proceden de medidas realizadas en muestras recogidas por muestreadores de alto volumen Andersen PM10 (CIEMAT).

Emplazamiento	Descripción del experimento	Fecha	Cs-137		Pu-239+240	
			H _r (Sv)	E (Sv)	H _r (Sv)	E (Sv)
Zapolye	Tractor grande arrastrando arado	13/5/93	0,078	0,086	45,0	8,5
Kopachi	Tractor grande arrastrando arado	4/8/93	0,044	0,05	3,1	0,5
Novozybkov	Plantación de patatas	19/5/94	0,026	0,029	1,2	0,2
Mikulichi	Recolección de centeno	30/7/94	0,005	0,006	0,16	0,03
Mikulichi	Arado del suelo de labor	2/8/94	0,031	0,035	1,2	0,23

comprometida que recibiría una persona, trabajando en condiciones idénticas a las experimentales durante un año (suponiendo un tiempo de exposición de 800 horas), por inhalación de Cs-137 y Pu-239+240.

El aporte a la dosis efectiva comprometida debido a inhalación de Pu-239+240 es dos órdenes de magnitud superior que la debida a inhalación de Cs-137. La dosis equivalente comprometida al pulmón es del orden de microsievets en condiciones de trabajos reales de agricultura, llegando hasta 45 μ Sv en condiciones extremas de generación de polvo. La dosis efectiva comprometida es del orden de décimas de microsievvert durante prácticas reales de agricultura. En Zapolye, en simulación de prácticas de arado de un terreno cultivable se han encontrado valores de dosis efectiva comprometida del orden de 8,5 μ Sv. Para evaluar las dosis por inhalación que recibirían los conductores de tractores u otros tipos de maquinaria

agrícola se tomaron muestras de aire del interior de cabinas, por medio de muestreadores portátiles IBP del Ukrainian

Institute of Agricultural Radiology, en el transcurso de prácticas reales de agricultura en Novozybkov, Mikulichi y

TABLA 8. Estimación de dosis equivalente comprometida al pulmón y dosis efectiva comprometida para conductores de maquinaria agrícola durante trabajos de agricultura reales en Novozybkov (Rusia) y Mikulichi (Bielorrusia), suponiendo una dedicación de 800 horas de trabajo en un año.

Emplazamiento	Descripción del experimento	Cs-137		Pu-238+239+240	
		H _r (Sv)	E (Sv)	H _r (Sv)	E (Sv)
Novozybkov	Arado del suelo de labor	2,8	3,1	37,9	8,1
	Enterramiento de semilla de patata	4,4	4,9	73,5	17,7
	Aplicación de fertilizante	2,1	2,3	—	—
	Plantación de patatas	1,8	1,9	76,7	16,3
	Plantación de patatas (ventana abierta)	23,3	26,1	—	—
Mikulichi	Recolección de centeno	0,2	0,2	10,2	3,0
	Embalaje de paja	0,1	0,1	6,8	1,5
	Grada del suelo de labor	1,4	1,5	5,1	1,3
	Arado del suelo de labor	0,6	0,6	35,9	11,1



Kovali. Los resultados del cálculo de dosis equivalente comprometida al pulmón y dosis efectiva comprometida, suponiendo una exposición anual de 800 horas, se muestran en la tabla 8. Se han encontrado valores máximos de dosis por inhalación en el interior de tractores durante trabajos de enterramiento de semilla de patatas en Novozybkov, con valores del orden de 23 μSv en la dosis efectiva comprometida y 78 μSv en la dosis equivalente comprometida al pulmón. Es importante señalar el aumento de la dosis en el interior de las cabinas, con las ventanas abiertas, en más de un orden de magnitud, al incrementarse considerablemente la concentración de aerosoles en la cabina (de 20-50 mg/m^3 a 300 mg/m^3).

Los valores de la dosis efectiva comprometida por inhalación de Pu-239+240 en condiciones de resuspensión natural se calcularon en cada uno de los emplazamientos experimentales. Los valores estimados por año de exposición se hallan entre 0,06 y 0,6 μSv .

CONCLUSIONES

- Las concentraciones de Cs-137 en aire, en muestras recogidas durante experimentos realizados durante resuspensión natural (viento), en zonas contaminadas por el accidente de Chernobyl oscilan entre 60 y 600 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Las concentraciones de Pu-239+240 medidas se encuentran entre 0,19 a 3,1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Las distribuciones de Cs-137 y Pu-239+240 en función del diámetro del aerosol son log-normales. Los valores superiores de los diámetros aerodinámicos medios de las distribuciones de plutonio respecto a los cesio indican que el Pu se encuentra asociado a partículas de mayor tamaño.
- Las concentraciones de Cs-137 durante trabajos reales y simulados de agricultura aumenta en dos órdenes de magnitud, mientras que en experimentos de tránsito de vehículos por caminos no asfaltados se alcanzan valores de hasta 600 veces el fondo. Los diámetros aerodinámicos medios de las distribuciones de actividad son mayores que los encontrados en ausencia de actividades antropogénicas, debido al incremento notable de partículas de gran tamaño en aire por los movimientos en la superficie del suelo.
- El factor de transferencia suelo-aire para la fracción inhalable (fracción menor de 10 μm) manifiesta una dependencia con la distancia al reactor 4 de Chernobyl para los dos radionucleidos analizados (Cs-137 y Pu-239+240). Este factor alcanza valores mínimos en las zonas más cercanas al reactor ($\approx 10^{-2}$), y aumenta en las zonas más alejadas, donde se alcanzan valores superiores a uno (entre 1,4 y 4,1).
- Los factores de resuspensión en las zonas experimentales a partir de medidas efectuadas durante resuspensión natural se encuentran en el rango de $6,9 \times 10^{-11}$ a $3,0 \times 10^{-9}$ m^{-1} . Los valores más altos del factor de resuspensión se alcanzan en los lugares más alejados del foco origen de la contaminación (Novozybkov, Mikulich y Kovali). Los valores más pequeños se hallan en las zonas cercanas al reactor accidentado. Por otra parte, experimentos efectuados en Zapolye, en Mayo de 1993, han mostrado la existencia de una dependencia lineal del factor de resuspensión respecto al diámetro aerodinámico de aerosol en suspensión.
- Las dosis equivalente comprometida al pulmón más alta de las calculadas, por año de trabajo, en condiciones de máxima generación de polvo no sobrepasan los 50 μSv y la dosis efectiva comprometida no supera los 10 μSv (Zapolye). En el interior de cabinas de tractores estas dosis se pueden ver incrementadas hasta valores cercanos a 80 μSv y 26 μSv respectivamente (Novozybkov). La dosis externa anual existente, en las fechas de los experimentos, en estas zonas varía entre 2 y 8 mSv . Por consiguiente, la dosis por inhalación de Cs-137 y Pu-239+240, calculada a partir de las medidas experimentales de concentración de actividad en aire, en zonas contaminadas por el accidente de Chernobyl, en el marco del proyecto ECP1, es muy pequeña frente a otras contribuciones debidas al depósito radiactivo resultante del accidente de Chernobyl.

REFERENCIAS

- (1) ECP1 Contamination of Surfaces by Resuspended Material. Final Report. EUR 16527 EN. 1996.
- (2) J.H. Shinn. Enhancement Factors for Resuspension Aerosol Radioactivity: Effects of Top Soil Disturbance. Proc. Fifth International Conference on Precipitation Scavenging and Atmospheric-Surface Exchange Processes. Vol.3, p1183-1193 (1992).
- (3) ECP1 Contamination of Surfaces by Resuspended Material. Technical Report 1992/93, Fh-ITA contribution. February 1994.
- (4) K.W. Nicholson. A Review of Particle Resuspension. Atmospheric Environment. Vol.22, N12, pp2639-2651.



PERSONALIZACIÓN DEL CRITERIO DE ALTA DEL PACIENTE INGRESADO PARA TRATAMIENTO ABLATIVO DE RESTOS TIROIDEOS CON I-131

E

l objetivo de este estudio es presentar un método capaz de establecer la fecha de alta y dar unas medidas restrictivas del comportamiento del paciente tratado de cáncer de tiroides con I-131, una vez fuera del hospital. Estos criterios de alta serán personalizados según las características del paciente y de tal forma que no se superen las nuevas recomendaciones de la ICRP-60 de los límites anuales de dosis para las personas que forman el entorno familiar y laboral del paciente. Además, se divide el período en el que el paciente es radiactivo

en dos: uno restrictivo, para el que se fijan unas medidas de seguridad para él y para las personas de su entorno, y otro sin restricciones, que representa la vuelta a la vida normal. Ambos períodos contribuyen en el cómputo de la Dosis Total recibida por las personas cercanas al paciente.

José Francisco Martí
Vidal, M.^a Carmen
Baños Capilla
Servicio de Medicina
Nuclear. Hospital
Universitario "La Fe".
Avda. Campanar, 21.
46009 Valencia.

The aim of this document was to develop a method for establishing the accurate date that patient can leave hospital and radiation safety considerations for post Iodine-131 thyroid cancer treatment. Individualized restrictions are made regarding the ICRP-60's dose limits recommendations and taking into account patients' personal circumstances. The time interval, when patient is viewed as a source of external radiation, was divided into two periods: a first of restricting contact, when precautions are necessary to limit the radiation dose to family members and colleagues; and a second time interval, when return to normal contact with family could be permitted. Total dose received was calculated adding doses estimated for both periods.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años, la Unidad de Terapia Metabólica de nuestro Servicio ha tratado a un elevado número de pacientes diagnosticados de neoplasia diferenciada de tiroides de origen folicular, para someterlos a un tratamiento de ablación de restos tiroideos tras intervención quirúrgica. Estos pacientes son hospitalizados el lunes y, a continuación, se les administra el I-131 en modo de cápsula y en la actividad determinada por el responsable médico.

Ante la falta de una normativa española que defina el criterio de hospitalización (o lo que es lo mismo, de alta del paciente tratado con I-131), nuestros pacientes son ingresados hasta el siguiente viernes, día en el que son dados de alta. Este criterio de alta nos parece excesivamente conservador y, además de incrementar las molestias al propio paciente, está

penalizando el rendimiento de la Unidad de Terapia Metabólica.

En este trabajo, intentamos elaborar un criterio de alta del paciente tratado con I-131, de tal manera que ayude al médico a determinar una fecha de alta más temprana que la actual, apoyándose en las correspondientes medidas restrictivas sobre el comportamiento del paciente una vez fuera del Hospital, de tal manera que no se superen los límites anuales de dosis para las personas que forman el entorno familiar o laboral del paciente. Este aspecto es especialmente importante dado el inminente cambio en los valores de los citados límites anuales que, de acuerdo con las recientes directrices del ICRP 60, se va a realizar en la correspondiente normativa europea.

Para elaborar dicho criterio de alta, nos hemos basado en un sencillo razonamiento matemático y hemos revisado la literatura asociada a este problema,

con la intención de valorar los siguientes parámetros que serán los determinantes del resultado final:

- Criterios de alta en otros países.
- Tasa de dosis a 1m de distancia, en la fecha del alta.
- Vida media efectiva de la Tasa de Dosis.
- Límites anuales de dosis. Actualización europea.
- Modelos de convivencia "restrictiva" o "normal" con un paciente tratado con I-131, tanto en su entorno familiar como laboral.

DESARROLLO MATEMÁTICO

Cuando el paciente deja el Hospital, presenta una cierta Tasa de dosis a 1 m. de distancia :



\dot{D}_0 expresada por ejemplo en $\mu\text{Sv/h}$

Podemos aceptar que esta Tasa de dosis tendrá un decaimiento aproximadamente monoexponencial, por lo que podremos expresar su valor, para un tiempo posterior t , como :

$$\dot{D}(t) = \dot{D}_0 \cdot \exp(-t/\bar{T}_{ef}) \quad (1)$$

en donde \bar{T}_{ef} representa a la vida media efectiva en horas deducida de la relación con el semiperíodo efectivo $\tau_{1/2}$:

$$\bar{T}_{ef} = 1,44 \cdot \tau_{1/2}$$

Un punto situado continuamente a una distancia de 1 m. del paciente, habrá recibido, al cabo de t horas, una Dosis Acumulada igual a la integral definida entre 0 y t de la expresión (1) :

$$D(t) = \int_0^t \dot{D}(t) \cdot dt = \dot{D}_0 \cdot \bar{T}_{ef} \cdot (1 - FD(t)) \quad (2)$$

en donde $FD(t)$ representa el factor de decaimiento correspondiente a un período de t horas :

$$FD(t) = \exp(-t/\bar{T}_{ef}) \quad (3)$$

En este caso, si una persona hubiera permanecido n horas al día (24 horas) a una distancia de 1 m., habría recibido una dosis que se puede estimar por el producto de la expresión (2) por el factor $(n/24)$:

$$D(t) = (n/24) \cdot \dot{D}_0 \cdot \bar{T}_{ef} \cdot (1 - FD(t)) \quad (4)$$

Si extrapolamos esta expresión para $t \rightarrow \infty$ (infinito) obtenemos :

$$D(t) = (n/24) \cdot \dot{D}_0 \cdot \bar{T}_{ef} \quad (5)$$

Si además, expresamos la vida media efectiva en días :

$$\bar{T}_{efd} = \bar{T}_{ef} / 24 \quad (6)$$

podemos expresar la dosis acumulada a 1 m. de distancia del paciente, con exposiciones parciales de n horas al día, durante todo el decaimiento de la Tasa de dosis procedente del paciente, como :

$$D_{total} = n \cdot \dot{D}_0 \cdot \bar{T}_{efd} \quad (7)$$

y, si tenemos en cuenta la existencia de un Límite Anual de Dosis para un determinado tipo de personal (LAD), podemos exigir que, en una primera aproximación, se cumpla que :

$$D_{total} = LAD \quad (8)$$

Esta condición permite a muchos responsables médicos obtener una estimación del número n de horas al día que un familiar puede estar a una distancia de 1 metro del paciente tratado con I-131. En efecto, si tenemos en cuenta la expresión (7), podemos deducir que :

$$n \text{ (horas)} = LAD / (\dot{D}_0 \cdot \bar{T}_{efd}) \quad (9)$$

Esta sencilla solución puede ser útil para limitar los tiempos de permanencia de los familiares en el entorno de un paciente tratado con I-131, pero tiene el inconveniente de que no determina la

duración total del período temporal en el que deben observarse las citadas restricciones de tiempo y distancia.

Nosotros pensamos que el conocimiento, en el momento del alta, de los valores correspondientes a la Tasa de dosis y a la vida media efectiva en días, junto a la descripción de las características de los respectivos períodos "restrictivo" (tiempos y distancias mínimas para atender adecuadamente al paciente) y "normal" (reanudación de la vida normal), nos permitirá determinar la duración temporal del período "restrictivo", personalizándolo a cada caso y evitando incomodidades y molestias innecesarias, tanto al paciente como a su entorno familiar o laboral.

Nuestro planteamiento consiste en considerar que la duración del período "con restricciones" debe ser aquel que determine que la dosis acumulada durante dicho período D_{Cr} , añadida a la dosis recibida cuando finaliza dicho período y se reanuda la vida normal "sin restricciones" D_{Sr} , no supere al límite anual de dosis que corresponde al tipo de personal que tiene el riesgo de recibir una irradiación procedente del paciente radiactivo :

$$D_{Cr} + D_{Sr} = LAD \quad (10)$$

De acuerdo con este planteamiento, el tiempo de permanencia del paciente en su ambiente familiar o laboral, con posterioridad al alta hospitalaria, se dividirá en dos períodos :

1) Período 1 ("con restricciones"): caracterizado por unos límites

definidos por una permanencia máxima de n_1 horas al día a una distancia mínima de d_1 metros, por parte de la persona de mayor riesgo de irradiación que, generalmente, corresponde con la responsable del cuidado del paciente radiactivo.

2) Período 2 ("sin restricciones"): que deberá ser definido igualmente por una permanencia máxima de n_2 horas al día a una distancia mínima de d_2 metros, por parte de la misma persona que se cita en el párrafo anterior.

Durante el período 1, la dosis recibida, desde el inicio hasta un cierto tiempo t , se puede evaluar mediante la siguiente expresión :

$$D_{Cr} = n_1 \cdot (1 - FD(t)) \cdot \dot{D}_1 \cdot \bar{T}_{efd} \quad (11)$$

en donde :

$$\dot{D}_1 = f(d_1) \cdot \dot{D}_0 \quad (12)$$

representa la Tasa de dosis a una distancia de d_1 metros, obtenida a partir de la medida a 1 metro modificada por el correspondiente factor de distancia.

$$f(d_1) = \frac{1}{(d_1)^2} \quad (13)$$

Este factor de corrección, aunque está definido para fuentes puntuales, proporciona una buena aproximación para el caso de fuentes extensas como las que representan los pacientes tratados con I-131.

Análogamente, y para el período 2, la dosis recibida, desde el tiempo t hasta el infinito, puede estimarse mediante la expresión siguiente :

$$D_{Sr} = n_2 \cdot FD(t) \cdot \dot{D}_2 \cdot \bar{T}_{efd} \quad (14)$$

en donde :

$$\dot{D}_2 = f(d_2) \cdot \dot{D}_0 \quad (15)$$

representa la Tasa de dosis a una distancia de d_2 metros.

La dosis total que recibirá la persona más expuesta será la suma de las expresiones (11) y (14), es decir :

$$\dot{D}_0 \cdot \bar{T}_{efd} \cdot [(1-FD(t)) \cdot f(d_1) \cdot n_1 + FD(t) \cdot f(d_2) \cdot n_2] \quad (16)$$

expresión que, si se incluye en la condición (10), permite calcular el factor de decaimiento que cumple la limitación de la dosis total al valor definido por el LAD :

$$FD(t) = \frac{\frac{LAD}{\bar{T}_{efd} \cdot \dot{D}_0} - n_1 \cdot f(d_1)}{[n_2 \cdot f(d_2) - n_1 \cdot f(d_1)]} \quad (17)$$

Una vez calculado el valor de $FD(t)$ para los diferentes valores de las variables :

$$\dot{D}_0, \bar{T}_{efd}, n_1, d_1, n_2, d_2, LAD \quad (18)$$

se puede utilizar la definición dada por (3), y así obtener el valor del tiempo t_{Cr}

que determina la duración en días del período 1, de tal manera que se cumpla la condición (10) :

$$t_{Cr} = - \bar{T}_{efd} \cdot \ln[FD(t)] \quad (19)$$

Este tiempo nos permite fijar un período de restricciones personalizado para cada paciente, siempre que seamos capaces de definir los valores del conjunto de variables (18). Una vez transcurrido este período, la persona más expuesta podrá reanudar el comportamiento habitual, con la seguridad de que la dosis total recibida no superará los límites anuales de dosis prefijados.

VALORES DE LAS VARIABLES

1. Tasa de dosis : \dot{D}_0

La Tasa de dosis es una variable que se mide con una determinada periodicidad, a lo largo de todo el proceso de hospitalización, generalmente para determinar los tiempos de permanencia del personal de enfermería en el entorno del paciente tratado con I-131. No presenta, por lo tanto, ninguna dificultad el conocimiento de la Tasa de dosis en la fecha del alta.

En EE.UU. se utiliza la Tasa de dosis como uno de los parámetros que determinan el alta del paciente hospitalizado, [01, 02]. En este país, se considera que una Tasa de dosis inferior a 50 μ Sv/h a 1m. de distancia, permite dar de alta al paciente, de tal manera que continúe el tratamiento de forma ambulatoria, aunque imponiendo restricciones de permanencia



nencia a las personas que forman su entorno familiar o laboral. Por otra parte, algunos autores sugieren que el paciente no reanude el contacto habitual con niños, cónyuges y compañeros de trabajo, hasta que la Tasa de dosis a la distancia de permanencia habitual, no sea inferior a 20 $\mu\text{Sv/h}$, [01, 03].

2. Vida media efectiva : \bar{T}_{efd}

La variación temporal de la Tasa de dosis durante las primeras 72 horas, presenta un carácter claramente biexponencial, con una componente rápida y otra lenta [04, 05, 06]. Generalmente, a partir del momento en que el paciente es dado de alta, la vida media efectiva de la Tasa de dosis estará únicamente determinada por la componente lenta.

Lo ideal sería tener una estimación de la vida media efectiva para cada paciente, pero esta situación no siempre será posible. En este caso, se pueden utilizar valores estimativos tomados de los datos bibliográficos. Nosotros hemos realizado una revisión, encontrando los siguientes valores para la vida media efectiva de la Tasa de dosis a 1m. de distancia del paciente tratado con I-131, para el caso de neoplasias diferenciadas de tiroides:

Referencia	\bar{T}_{efd} (días)
[04]	3,6
[02]	0,7 — 1,3
[05]	1,1 — 6,2
[06]	1,3 — 2,1

En caso de no disponer de los valores

propios del paciente, aconsejamos que se tomen los siguientes valores para la vida media efectiva : 3 días para el caso de ablación de restos tiroideos exclusivamente (sin presencia de metástasis), y 5 días para el caso de existencia de metástasis.

3. Modelos de convivencia : n_1, d_1, n_2, d_2

La determinación de los valores para estos parámetros debe pasar necesariamente por un completo análisis de las condiciones sociales del paciente. Entre otros, el médico debe informarse de los siguientes aspectos :

- Características del paciente : sexo, edad, nivel cultural, estado civil, grado de colaboración y autosuficiencia, etc.

- Características de la vivienda : superficie total, n° de habitaciones, posibilidad de disponer temporalmente de un baño para uso exclusivo del paciente, etc.

- Características del núcleo familiar : persona responsable del cuidado del paciente, nivel cultural, número y edad de los hijos, presencia de mujeres embarazadas, convivencia de varias generaciones, etc.

- Características del entorno laboral : medio de transporte, duración del trayecto habitual, ubicación y radiosensibilidad del puesto de trabajo, etc.

- Situación estacional del tratamiento :

climatología, vacaciones escolares, días festivos, etc.

Una vez conocidas las circunstancias específicas del paciente, debemos definir los valores de las distancias (d_1, d_2) y tiempos de permanencia (n_1, n_2) asociados a cada una de las situaciones particulares que deseemos estudiar.

4. Límite anual de dosis : LAD

Según el ICRP-60 [07], el límite de dosis recomendado para la exposición del público es de 1 mSv/año. Por otra parte, también se afirma en el mismo documento que las exposiciones que puedan recibir aquellas personas que, de manera consciente y voluntaria, participen en el apoyo y cuidado de pacientes sometidos a diagnóstico o tratamiento, sean consideradas de carácter médico y no estén sujetas a ningún límite.

Considerando que el tratamiento con I-131 de un miembro del núcleo familiar es un hecho excepcional que, generalmente, no se repetirá a lo largo del mismo año, podemos aceptar los límites anuales de dosis como factores limitantes de las dosis totales recibidas por el entorno familiar del paciente. Bajo esta premisa, y de acuerdo con otros autores [03, 08], sugerimos que se acepten los siguientes valores para la variable LAD : para la persona responsable del cuidado directo del paciente radiactivo 5 mSv/año, y para el resto de las personas 1 mSv/año.

RESULTADOS

Caso I: Por ejemplo, definamos las anteriores variables para el caso de un paciente que, tras el alta, esté atendido únicamente por su cónyuge :

\dot{D}_0 : Los pacientes sometidos a un tratamiento de ablación de restos tiroideos presentan una Tasa de dosis dependiente del tiempo de hospitalización Según su mayor o menor duración, las Tasas de dosis observadas en el momento del alta, pueden variar entre 5.0 y 50.0 $\mu\text{Sv/h}$ a 1m. de distancia del paciente.

\bar{T}_{efd} : De acuerdo con los valores encontrados en nuestra revisión bibliográfica, realizaremos los cálculos tomando unos valores de la vida media efectiva comprendidos entre 1 y 6 días.

LAD: En coherencia con lo expresado en el párrafo anterior, tomaremos 5 mSv como la dosis máxima recibida por el cónyuge, a lo largo del citado tratamiento.

n_1, d_1 : El cónyuge únicamente podrá acercarse a una distancia mínima de $d_1 = 0,5$ m. del paciente, durante un tiempo máximo de $n_1 = 3,0$ horas al día, con lo cual se limita su presencia a las comidas y necesidades básicas del paciente. Durante todo este período, tanto el paciente como su familia, deberán seguir las normas básicas de protección radiológica que se les ha indicado en el momento del alta hospitalaria.

n_2, d_2 : Al finalizar el período de restricciones y reanudar la vida normal, el

Tabla 1: Duración del período con restricciones para el caso del cónyuge, aceptando un LAD = 5 mSv

Tasa	Vida media efectiva (días)					
$\mu\text{Sv/h}$	1	2	3	4	5	6
5	0	0	0	0	0	1
10	0	0	1	2	4	6
20	0	1	3	5	8	11
30	0	2	4	7	11	15
40	1	3	6	9	13	18
50	1	3	7	11	16	22
60	1	4	7	12	18	28

mayor riesgo de irradiación para el cónyuge se presenta a la hora de dormir. Durante este período, permanecerá un promedio de $n_2 = 8,0$ horas al día a una distancia media de $d_2 = 0,2$ m.

CONYUGE

- Tabla 1:
LAD = 5 mSv
 $n_1 = 3,0$ h $d_1 = 0,5$ m
 $n_2 = 8,0$ h $d_2 = 0,2$ m

A continuación se repiten los cálculos para un LAD de 1 mSv.

- Tabla 2:
LAD = 1 mSv
 $n_1 = 3,0$ h $d_1 = 0,5$ m
 $n_2 = 8,0$ h $d_2 = 0,2$ m

Observamos que, en este caso, se supera el límite anual en la mayoría de las situaciones (SUP). Esto nos induce a pensar que, para el caso particular del cónyuge, debemos aceptar un LAD de 5 mSv.

EJEMPLOS DE REPARTO DE DOSIS

Veamos a continuación para dos vidas

Tabla 2: Duración del período con restricciones para el caso del cónyuge, aceptando un LAD = 1 mSv

Tasa	Vida media efectiva (días)					
$\mu\text{Sv/h}$	1	2	3	4	5	6
5	0	2	4	6	10	13
10	1	3	7	11	16	22
20	2	5	11	24	SUP	SUP
30	2	7	SUP	SUP	SUP	SUP
40	3	12	SUP	SUP	SUP	SUP
50	3	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP
60	4	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP



Tabla 3: Duración del período con restricciones, y reparto del LAD entre los dos períodos, para el caso del cónyuge, con un LAD = 5 mSv y una Vida media efectiva igual a 3 días

Tasa ($\mu\text{Sv/h}$)	tcr (días)	Dcr (mSv)	Dsr (mSv)
5	0	0,0	5,0
10	1	0,1	4,9
20	3	0,4	4,6
30	4	0,8	4,2
40	6	1,2	3,8
50	7	1,6	3,4
60	7	2,0	3,0

medias efectivas diferentes y para el caso del cónyuge, como se reparte la dosis total entre los dos períodos posteriores al alta : D_{CR} y D_{SR}

LAD = 5 mSv

$n_1 = 3,0 \text{ h}$ $d_1 = 0,5 \text{ m}$

$n_2 = 8,0 \text{ h}$ $d_2 = 0,2 \text{ m}$

Tabla 3: $T_{efd} = 3$ días (Ver Fig. 1)

Tabla 4 : $T_{efd} = 5$ días (Ver Fig. 2)

Caso II: Veamos los resultados que se pueden obtener para el caso de fami-

Tabla 4: Duración del período con restricciones, y reparto del LAD entre los dos períodos, para el caso del cónyuge, con un LAD = 5 mSv y una Vida media efectiva igual a 5 días

Tasa ($\mu\text{Sv/h}$)	tcr (días)	Dcr (mSv)	Dsr (mSv)
5	0	0,0	5,0
10	4	0,3	4,7
20	8	1,0	4,0
30	11	1,6	3,4
40	13	2,2	2,8
50	16	2,9	2,1
60	18	3,5	1,5

liares y otras personas cercanas que también conviven con el paciente :

Tabla 5:

LAD = 1 mSv

$n_1 = 3,0 \text{ h}$ $d_1 = 1,0 \text{ m}$

$n_2 = 6,0 \text{ h}$ $d_2 = 0,5 \text{ m}$

Caso III: Resultados para el entorno laboral :

Tabla 6:

LAD = 1 mSv

$n_1 = 8,0 \text{ h}$ $d_1 = 2,0 \text{ m}$

$n_2 = 8,0 \text{ h}$ $d_2 = 1,0 \text{ m}$

Tabla 5: Duración del período con restricciones para el caso de los familiares y otras personas cercanas, aceptando un LAD = 1 mSv

Tasa $\mu\text{Sv/h}$	Vida media efectiva (días)					
	1	2	3	4	5	6
5	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1	3
20	0	0	1	3	5	8
30	0	1	3	5	9	13
40	0	2	4	7	12	17
50	0	2	5	9	15	25
60	1	3	6	12	21	SUP

Caso IV: Finalmente, mostramos los resultados obtenidos al aplicar nuestro método al caso de niños, previamente clasificados según su edad, en tres grupos diferentes :

NIÑOS < 2 años

Tabla 7:

LAD = 1 mSv

$n_1 = 1,0 \text{ h}$ $d_1 = 0,5 \text{ m}$

$n_2 = 5,0 \text{ h}$ $d_2 = 0,1 \text{ m}$

Tabla 6: Duración del período con restricciones para el caso del entorno laboral, aceptando un LAD = 1mSv

Tasa	Vida media efectiva (días)					
$\mu\text{Sv/h}$	1	2	3	4	5	6
5	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	1	3
40	0	0	0	1	3	6
50	0	0	1	3	5	9
60	0	1	2	4	8	12

Tabla 7: Duración del período con restricciones para el caso de aplicación a niños de edad < 2 años, aceptando un LAD = 1 mSv

Tasa	Vida media efectiva (días)					
$\mu\text{Sv/h}$	1	2	3	4	5	6
5	1	3	6	10	13	17
10	2	5	8	13	17	22
20	2	6	11	16	22	28
30	3	7	13	19	26	35
40	3	8	14	22	31	48
50	4	9	16	25	SUP	SUP
60	4	9	17	32	SUP	SUP

Tabla 8: Duración del período con restricciones para el caso de aplicación a niños de edad entre 2 y 5 años, aceptando un LAD = 1 mSv

Tasa	Vida media efectiva (días)					
$\mu\text{Sv/h}$	1	2	3	4	5	6
5	1	3	5	8	12	15
10	1	4	8	11	15	20
20	2	6	10	15	20	25
30	3	7	11	17	22	28
40	3	7	12	18	24	31
50	3	8	13	20	26	34
60	3	8	14	21	28	37

NIÑOS ENTRE 2 Y 5 AÑOS

Tabla 8 :

LAD = 1 mSv

 $n_1 = 2,0 \text{ h}$ $d_1 = 1,0 \text{ m}$ $n_2 = 4,0 \text{ h}$ $d_2 = 0,1 \text{ m}$

NIÑOS ENTRE 5 Y 11 AÑOS (Escolarizados)

Tabla 9 :

LAD = 1 mSv

 $n_1 = 3,0 \text{ h}$ $d_1 = 0,5 \text{ m}$ $n_2 = 3,0 \text{ h}$ $d_2 = 0,1 \text{ m}$

DISCUSIÓN

En la actualidad existe una gran ambigüedad respecto a los criterios para dar el alta hospitalaria a los pacientes que han sido ingresados para recibir un tratamiento de ablación de restos tiroideos con I-131. Los criterios existentes en otros países son muy diversos, tal como mostramos a continuación [01, 03-05, 09-13]:

País Actividad residual

Alemania	75 MBq
Austria	185 MBq
EE.UU.	1110 MBq
Suiza	185 MBq
U.K. (transporte privado)	800 MBq
U.K. (transporte público)	400 MBq
U.K. (trabajo radiosensible)	30 MBq

En nuestro país no existe una normativa al respecto, únicamente se puede aplicar



Tabla 9: Duración del período con restricciones para el caso de aplicación a niños de edad entre 5 y 11 años, aceptando un LAD = 1 mSv

Tasa	Vida media efectiva (días)					
$\mu\text{Sv/h}$	1	2	3	4	5	6
5	0	2	5	7	10	14
10	1	4	7	10	14	18
20	2	5	9	14	19	24
30	2	6	11	16	22	29
40	3	7	12	18	25	33
50	3	7	13	20	28	41
60	3	8	14	22	34	SUP

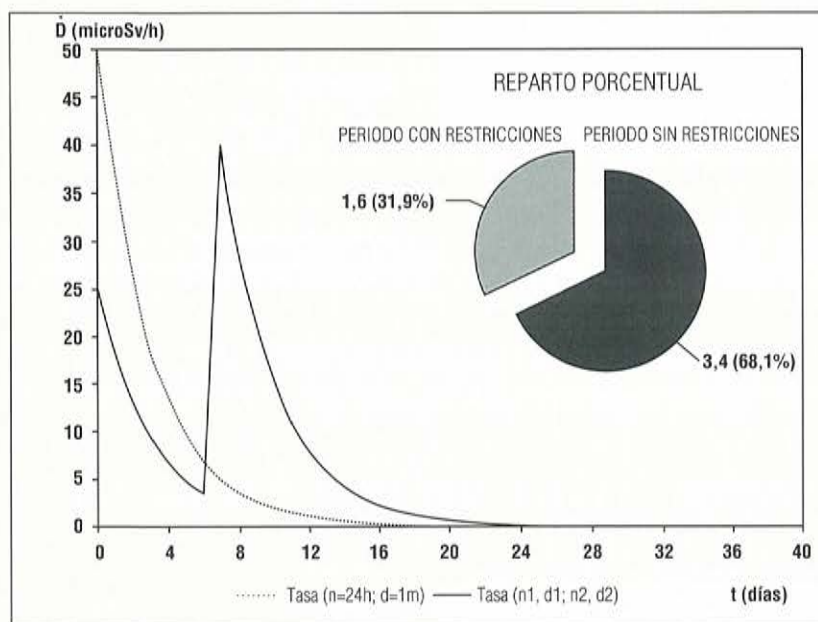


Figura 1. Visualización del reparto de la dosis correspondiente a los períodos 1 y 2 (con restricciones y sin restricciones, respectivamente), para el CASO I (cónyuge), una vida media efectiva de 3 días, una tasa inicial medida a 1 m. de $50 \mu\text{Sv/h}$ y LAD de 5 mSv. Destacamos que la mayor parte de la dosis impartida en el entorno del paciente se va a acumular en el período sin restricciones. Asimismo se ve claramente que el retorno a la normalidad provoca un aumento considerable en la tasa de dosis que afecta al núcleo familiar.

el siguiente comentario, que suele incluirse en los Permisos de Puesta en Marcha concedidos por el Consejo de Seguridad

Nuclear, a las diferentes Unidades de Terapia Metabólica: **“La tasa de dosis en contacto debe ser tal que no se**

supere el límite anual de dosis a los miembros del público”.

Aunque este comentario es muy genérico y de difícil aplicación, ha sido utilizado por algunos grupos de trabajo de nuestro país para intentar establecer un criterio de alta, generalmente basado en el valor de la Tasa de dosis residual a una cierta distancia del paciente, por ejemplo [14]: $60 \mu\text{Sv/h}$ a 0,5 m.

En nuestro trabajo hemos desarrollado un método que se caracteriza por su gran adaptabilidad a las circunstancias específicas de cada paciente y que, además, tiene en cuenta los nuevos valores propuestos por la ICRP-60, [07], para los LAD de los diferentes tipos de población expuesta. Este método proporciona un valor variable, pero personalizado, del criterio de alta, en función de la Tasa de dosis residual que genera el paciente, de la vida media efectiva del I-131 en el mismo, y de las condiciones restrictivas que el paciente y su entorno sean capaces de aceptar. Desde un punto de vista práctico, este trabajo incluye algunas Tablas que se obtienen al aplicar nuestro método para aquellos valores de las variables (18) que parecen más apropiados.

CONCLUSIONES

El método que presentamos introduce una serie de ventajas en relación a los procedimientos habituales respecto a los criterios de alta del paciente tratado con I-131:

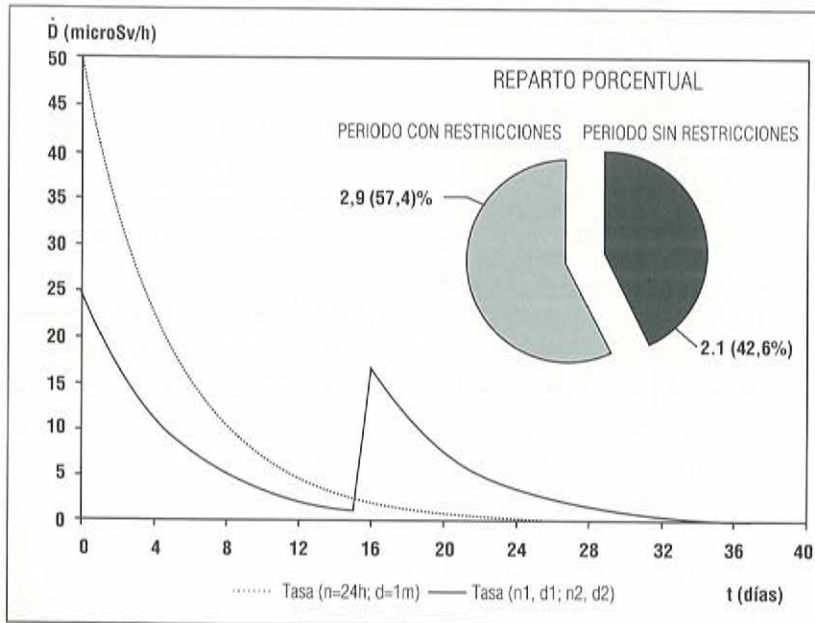


Figura 2. Visualización del reparto de la dosis correspondiente a los períodos 1 y 2 (con restricciones y sin restricciones, respectivamente), para el CASO I (cónyuge), una vida media efectiva de 5 días, una tasa inicial medida a 1 m. de $50 \mu\text{Sv/h}$ y LAD de 5 mSv. Como se observa, una gran parte de la dosis se sigue acumulando en el entorno del paciente durante el período sin restricciones.

1.- La adecuación al entorno familiar de unas determinadas condiciones restrictivas permite elegir la Tasa de dosis en el momento del alta y, por consiguiente, acortar el tiempo de hospitalización del paciente, evitándole las molestias que acompañan a un período excesivo de aislamiento. Todo ello implicaría un significativo aumento del rendimiento de la Unidad de Terapia Metabólica.

2.- Por otro lado, la determinación de la vida media efectiva y de la Tasa de dosis en el momento del alta, permite adaptar la duración y las características del período de restricciones, en

su entorno familiar o laboral, a las circunstancias específicas de cada paciente.

3.- La distribución de la dosis total recibida en dos componentes, $D_{cr}+D_{sr}$, determina que no se superen los límites anuales de dosis, a lo largo de todo el período posterior al alta hospitalaria. Este método muestra que una parte significativa de la dosis en el entorno del paciente, se recibirá cuando finalice el período de restricciones y se reanude la vida normal, disminuyendo al mínimo la duración del primer período. Este hecho se observa claramente en las figuras 1 y 2, en donde se aprecia la

variación del reparto de la dosis total, en sus dos componentes, en función de la vida media efectiva correspondiente a cada paciente.

BIBLIOGRAFIA

01. CULVER C.M. and DWORKIN H.J. Radiation Safety Considerations for Post-Iodine-131 Thyroid Cancer Therapy. J. Nucl. Med. 1992; 33:1402-1405.
02. SEABOLD J.E., BEN-HAIM S., PETTIT W.A. et al. Diuretic-enhanced I-131 Clearance after Ablation Therapy for Differentiated Thyroid Cancer. Radiology 1993; 187:839-842.
03. MOUNTFORD P.J., O'DOHERTY M.J. Restrictions Following Iodine-131 Treatment - a Time for Change or More Data Required?. Eur. J. Nucl. Med. 1991; 21:903-905.
04. STEPHEN R.T., HARRY R.M., KENNETH M.F., et al. A Comparison of Methods for Assessing Patient Body Burden Following 131I Therapy for Thyroid Cancer. Radiology 1980; 137:839-842.
05. BARRINGTON S.F., KETTLE A.G., O'DOHERTY M.J. et al. Radiation Dose Rates from Patients Receiving Iodine-131 Therapy for Carcinoma of the Thyroid. Eur. J. Nucl. Med. 1996; 23:123-130.
06. MARTI VIDAL J.F., RIVAS SANCHEZ A., ALONSO MONFORT J. El paciente



- tratado con I-131 como fuente radiactiva variable. X Congreso de la SEFM. Salamanca, 27-30 Sep 95.
07. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION 1990. Recommendations of the ICRP. Annals of the ICRP 21 no 1-3. ICRP publication 60. Oxford: Pergamon Press, 1991.
08. BUCHAN R.C.T., BRINDLE J.M. Radioiodine Therapy to Out-Patients - the Contamination Hazard. Br. J. Radiology 1970; 43(51):479-82.
09. HARBERT J.C., WELLS S.N. Radiation Exposure to the Family of Radioactive Patients. J. Nucl. Med. 1974; 15:887-88.
10. GOLDSTONE K.E. JACKSON P.C., MYERS M.J., SIMPSON A.E. Radiation Protection in Nuclear Medicine and Pathology. Report No. 63. The Institute of Physical Sciences in Medicine 1991:27-29.
11. HILDITCH T.E., CONNELL J.M.C., ALEXANDER W.D. Patient guidance after 131I therapy: time for change?. The Lancet, 1992; 340:912-913.
12. BIERWALTES W.H., WIDMAN J. How Harmful to Others Are Iodine-131 Treated Patients. J. Nucl. Med. 1992; 33(12):2116-7.
13. SHAPIRO B. Optimization fo Radioiodine Therapy of Thyrotoxicosis: What Have We Learned After 50 Years?. J. Nucl. Med. 1993; 34(10):1638-9.
14. TOBARRA GONZALEZ B. La Protección Radiológica en los Tratamientos de Cáncer de Tiroides con 131I. Congreso Medicina Nuclear Sevilla, 1989:177-186.



EL RIESGO DE CÁNCER INDUCIDO POR LA RADIACIÓN A BAJAS DOSIS Y TASAS DE DOSIS CON FINES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



Con el desarrollo de los conocimientos sobre los efectos de la radiación ionizante, el interés se ha centrado de manera creciente en los efectos de las dosis bajas, y en cómo puede utilizarse la información referente a la relación dosis-respuesta para establecer unos límites de exposición, tanto para las personas que están ocupacionalmente expuestas a radiaciones como para los miembros del público. En la actualidad se cree que cualquier dosis de radiación es capaz de inducir cáncer en las personas que a ella están expuestas, y que la probabilidad de su aparición, pero no así su gravedad, depende de la dosis de radiación recibida.

La principal fuente de información cuantitativa sobre los riesgos del cáncer inducido por radiación provienen del seguimiento a largo plazo que se ha hecho a los supervivientes de las bombas atómicas lanzadas en Hiroshima y Nagasaki. Esta base de datos ofrece información sobre una población de más de 90.000 personas que han sido seguidas desde 1950, con individuos de todas las edades, cuya totalidad del organismo fue expuesto a la radiación. La información de este seguimiento está complementada con estudios realizados en personas expuestas a radiación por motivos médicos, ya sea debido a una radiación externa o a radionúclidos incorporados, y en personas expuestas de manera ocupacional, en particular mineros expuestos al radón y sus productos de desintegración, y trabajadores con pinturas luminiscentes que estuvieron expuestos al radio.

John W. Stather
Senior Assistant Director,
National Radiological
Protection Board.

En sus recomendaciones más recientes de 1990, editadas en su Publicación 60 (ICRP, 1991a), la Comisión Internacional sobre



Protección Radiológica (ICRP) reevaluó los datos epidemiológicos y esto dio como resultado un incremento de las estimaciones de riesgo correspondientes a los cánceres inducidos por radiación. Este incremento de los valores se debió en parte a una revisión de la dosimetría de los supervivientes de la bomba atómica, y en parte también a un seguimiento más largo de la población, pero se atribuyó principalmente a los cambios realizados en el modelo que ahora se utiliza para proyectar los riesgos que ocurrirán a lo largo de la vida.

En este artículo se describe el desarrollo de los coeficientes de riesgo para el cáncer inducido por radiación, tanto para la población trabajadora como para los miembros del público, que aparecen en la Publicación 60, haciendo particular énfasis en la evaluación de los riesgos para dosis bajas. También se incluyen datos más recientes.

With developing knowledge of the effects of ionising radiation, interest has increasingly focused on the effects of low doses and how information on dose response relationships can be used for setting limits on exposure both for persons who are occupationally exposed and for members of the public. It is now believed that any radiation dose is capable of inducing cancer in exposed persons and that the probability of its occurrence, but not its severity, depends on the radiation dose.

The main source of quantitative information on the risks of radiation-induced cancer comes from the long-term follow-up of the survivors of the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki. This database provides information on a population of more than 90,000 people followed up since 1950 with individuals of different ages exposed to whole body radiation. Information from this follow-up is supplemented by studies on persons exposed for medical reasons, either to external radiation or incorporated radionuclides, and people who have been exposed occupationally, in particular, miners exposed to radon and its decay products and luminisers exposed to radium.

In its most recent 1990 recommendations, the International Commission on Radiological Protection in Publication 60 (ICRP, 1991 a), re-assessed the epidemiological data and this resulted in an increase in estimates of the risks of radiation-induced cancer. Partly this arose as a result of revised dosimetry for the A-bomb survivors and a longer follow-up of the population, but mainly it was attributed to a change in the model now used to project lifetime risks.

The development of the risk coefficients for radiation-induced cancer both for the working population and for members of the public, given in Publication 60 are described in this paper, with particular emphasis on the assessment of risks at low doses. More recent data are also included.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del cáncer es el principal efecto tardío provocado por la exposición a la radiación. En general, se cree que el cáncer se desarrolla en una serie de estadios. Esto quiere decir que para que los tumores puedan manifestarse, deben ocurrir una serie de eventos en las células, y se cree que la velocidad a la que dichos eventos ocurren se refleja en la manera en la que el cáncer aparece en la población a lo largo del tiempo.

La neoplasia de los tejidos se describe hoy en día como un proceso complejo, de múltiples etapas, que puede subdividirse en cuatro fases: iniciación neoplásica, promoción, conversión y progresión.

Estas subdivisiones son, forzosamente, simplificaciones del proceso global, el cual es, en cualquier evento, algo diferente según el tipo de tumor. Sin embargo, ofrecen una base con la que interpretar los cambios celulares y moleculares implicados (UNSCEAR, 1993)

La iniciación neoplásica incluye la lesión celular, esencialmente irreversible, que aunque no se haya manifestado de inmediato proporciona el potencial para el desarrollo neoplásico de las células. Existe una buena evidencia acerca de que este proceso de iniciación es el resultado de una lesión en el ADN, que promueve una mutación genética en las células blanco individuales de los tejidos. La lesión crítica probablemente dañe a la vez los dos filamentos de ADN (roturas

dobles en los filamentos del ADN). Aunque una proporción del daño en ambos filamentos será reparada, no se espera que se produzca una reparación de la lesión libre de errores, incluso con dosis bajas. La promoción neoplásica puede describirse como un proceso en el que las células ya iniciadas reciben un estímulo de crecimiento anómalo, y empiezan a proliferar de una manera semiindependiente. La conversión de estas células preneoplásicas en una forma en la que estén sujetas a convertirse en totalmente malignas es un aspecto central del proceso de desarrollo neoplásico. Se cree que este tipo de cambios están generados por mutaciones genéticas adicionales, acumuladas dentro de la creciente población de células preneoplásicas.

Una vez que se ha establecido el potencial de malignidad total, la consecutiva progresión de la enfermedad puede depender de posteriores cambios celulares que permitan la invasión de los tejidos normales adyacentes, así como de la circulación de células neoplásicas en la sangre y los sistemas linfáticos, y del establecimiento de metástasis (crecimiento secundario de los tumores) en otros lugares del organismo. Estos procesos invasores constituyen la causa principal de los efectos letales de los tumores más comunes en los humanos. En base a esto, un solo evento mutacional en un gen crítico de una célula blanco única in vivo, puede crear el potencial para el desarrollo neoplásico. Por tanto, una única trayectoria de radiación que atraviese el núcleo de una célula blanco apropiada posee una probabilidad limita-

da, aunque muy baja, de generar el daño específico en el ADN, que dé por resultado la mutación inicial de un tumor. Estas células iniciadas pueden entonces desarrollarse por procesos de múltiples etapas y convertirse en una malignidad patente. En consecuencia y a nivel del daño en el ADN, no hay una base sobre la que asumir que existe probablemente un umbral de dosis, bajo el cual el riesgo de inducción de tumores sería igual a cero. Con fines de protección contra las radiaciones, se asume, por tanto, un aumento progresivo del riesgo con el aumento de la dosis y sin umbral (ICRP, 1991a; Cox et al, 1995).

La radiación es capaz de causar tumores en casi todos los tejidos del organismo, aunque la frecuencia de aparición tras la administración de una dosis puede variar marcadamente entre un tejido y otro. La información sobre la frecuencia de inducción de tumores por la radiación, en relación con la dosis, se obtiene a través del seguimiento de grupos de personas expuestas a la misma. La frecuencia de tumores observada puede, entonces, compararse con un grupo control de características similares en cuanto a la edad y el sexo, que no haya sido expuesto a la radiación, para poder así determinar el aumento en la frecuencia de la exposición debida a la radiación.

Los tumores inducidos por radiación son, en general, indistinguibles de los que aparecen de manera espontánea, y puesto que el cáncer es una enfermedad común (aproximadamente uno por cada



cinco individuos muere por esta causa), determinar un exceso relativamente bajo debido a la radiación, es un problema difícil. En general, se necesitan grandes poblaciones expuestas para obtener unos resultados estadísticamente significativos.

Las principales fuentes de información sobre los riesgos del cáncer inducido por radiación son los supervivientes de las bombas atómicas que sufrieron una irradiación en la totalidad del organismo en Hiroshima y Nagasaki, los pacientes con espondilitis anquilosante y otros pacientes que fueron expuestos a una irradiación parcial de su organismo por motivos terapéuticos, bien por medio de radiación externa o por medio de radionúclidos incorporados internamente, y varias poblaciones ocupacionalmente expuestas, como los mineros que trabajan en las minas de uranio y los pintores de esferas de reloj que utilizaron radio.

2. RELACIONES DOSIS-RESPUESTA

Siempre existe un período de tiempo mínimo entre la irradiación y la aparición de un tumor inducido por la misma. Este período se denomina período de latencia y su duración varía con la edad y el tipo de tumor. Algunos tipos de leucemia y cáncer óseo tienen unos períodos de latencia de sólo unos pocos años, pero muchos tumores sólidos tienen períodos de latencia de diez años o más. Respecto a la leucemia y el cáncer de huesos existe una fuerte evidencia que sugiere que el riesgo se manifiesta en su totalidad en un plazo de unos veinticinco años tras la

exposición. Para los tumores de mayor latencia, como los del tracto GI y el hígado, todavía no está claro si la incidencia de estos tumores pasa por un máximo, y luego desciende con el tiempo tras la exposición, o si los niveles de riesgo aumentan de manera indefinida durante el resto de la vida del paciente.

Para proyectar el riesgo global de cáncer para una población expuesta, es por tanto necesario utilizar modelos que extrapolen a lo largo del tiempo los datos basados sólo en un período limitado de las vidas de los individuos. En general, se han utilizado dos modelos de este tipo de proyecciones:

- a) el modelo de riesgo aditivo (absoluto) postula que la radiación inducirá cáncer, independientemente de la tasa de espontaneidad, después de un período de latencia; pueden aparecer variaciones respecto al riesgo según el sexo y la edad en el momento de la exposición.
- b) el modelo de riesgo multiplicativo (relativo) en el que el exceso (tras la latencia) viene dado por un factor constante aplicado a la incidencia, dependiente de la edad, de los cánceres naturales en la población.

En la mayoría de los casos, el riesgo espontáneo aumenta con la edad y, por tanto, el modelo multiplicativo predecirá un aumento de la incidencia del cáncer inducido por la radiación con la edad. El modelo de riesgo relativo también implica diferentes riesgos de cáncer en dife-

rentes poblaciones, dependiente de la incidencia nacional de cáncer. Los datos provenientes de los supervivientes de las bombas atómicas en Japón (Tabla 1) y de otros estudios realizados con mineros de uranio, sugirieron a finales de los años 80 que el modelo de proyección multiplicativo ofrecía una mejor explicación de los datos, al menos respecto a algunos de los tipos más comunes de cáncer. A pesar de todo esto, existen indicaciones, provenientes de un número de grupos expuestos, según las cuales el riesgo de cáncer podría empezar a descender muchos años después de la exposición. Este hecho ha quedado bien documentado respecto a la leucemia, pero también se ha observado en los casos de cáncer de hueso, en pacientes tratados con ^{224}Ra (Spiess, 1995), en los cánceres tiroideos considerados en el estudio de seguimiento realizado en los Estados Unidos en las personas tratadas por hipertrofia del timo (Shore y col, 1995), en los cánceres sólidos por espondilitis anquilosante en el Reino Unido (Muirhead y Darby, 1989), y posiblemente también en los cánceres de pulmón de los mineros que trabajan con uranio (BEIR IV, 1988). Estos resultados sugieren que para la población japonesa el riesgo de exceso puede, a la larga, reducirse con el tiempo, y por esta razón los modelos de proyección multiplicativa aplicados a lo largo de la vida podrían dar lugar a una sobreestimación del riesgo de cáncer.

Tanto la dosis como la tasa de dosis influyen sobre la inducción del cáncer y están ligadas a la forma de la relación

TABLA 1. Muertes producidas por cánceres distintos a la leucemia entre los supervivientes japoneses a la bomba atómica con una dosis de DE86 igual o superior a 0,75 Gy (Preston y Pierce, 1987).

Edad en la exposición		Tiempo desde la exposición (años)		
		5-25	25-40	5-40
<20	O ^a	14	44	58
	E ^b	4,03	17,8	21,8
	O/E ^c	3,47	2,47	2,66
20-34	O	26	58	74
	E	13,0	24,4	37,4
	O/E	2,01	1,96	1,98
≥35	O	119	99	218
	E	86,7	68,9	155,6
	O/E	1,37	1,44	1,4
A11	O	159	191	350
	E	103,7	111	215
	O/E	1,53	1,72	1,63

^aO: Muertes observadas.

^bE: Muertes esperadas en una población no irradiada, en base a tasas entre los que tienen una dosis DE86 < 0,1 GY.

^cO/E: Riesgo relativo.

entre la dosis y la respuesta. Con fines de protección radiológica, generalmente se supone que la inducción de tumores se incrementa con el aumento de las dosis, sin umbral, tal como ya se ha descrito anteriormente. Sin embargo, los estudios realizados con células en cultivo revelan que para muchos efectos, incluyendo la mutación, la respuesta a la dosis no es lineal pero que la eficacia de la radiación, por unidad de dosis, aumenta a medida que aumenta la dosis. Para dosis muy bajas, donde la probabilidad de más de un impacto de radiación sobre el núcleo de las células es muy

baja, se podría esperar que el efecto fuera lineal con la dosis. Para dosis más elevadas, donde se producen múltiples eventos ionizantes en una única célula, la lesión producida por la interacción de dos o más eventos es más probable.

El enfoque convencional para describir la eficacia biológica absoluta y relativa de una radiación determinada, está basado en la presunción de que la inducción de un efecto podría expresarse aproximadamente con la siguiente fórmula:

$$I(D) = (\alpha_1 D + \alpha_2 D^2) e^{-(\beta_1 D + \beta_2 D^2)/1}$$

en donde α_1 y α_2 son los coeficientes para los términos lineal y cuadrático para la inducción de efectos estocásticos, y β_1 y β_2 son términos lineales y cuadráticos para la muerte celular. Se ha demostrado que esta ecuación explica mucho de lo ya publicado acerca de los efectos de la radiación sobre las células y los tejidos como resultado de la lesión en el ADN de las células (inducción de aberraciones cromosómicas, mutaciones en las células somáticas y germinales, transformación celular).

La dificultad para evaluar los riesgos de cáncer tras la exposición a radiación de baja TLE en bajas dosis y tasas de dosis, se ilustra en la Figura 1. Esta ofrece, esquemáticamente, puntos y posibles curvas de dosis-respuesta para la inducción del cáncer. Con frecuencia, como en este ejemplo, la información sólo está disponible para las dosis relativamente elevadas. Una aproximación frecuentemente utilizada para la evaluación del riesgo es mediante el ajuste de una relación lineal dosis-respuesta a los datos (curva B), procedimiento que normalmente se considera da un límite superior del riesgo para las dosis bajas. Este será el caso a menos que se haya producido una significativa muerte celular. Si esta relación lineal se debe a trayectorias únicas que actúan independientemente, entonces, se esperaría que el efecto por unidad de dosis fuera independiente de la magnitud de la dosis y de la tasa de dosis. Sin embargo, en la práctica, esto no es lo que se observa en general, y la relación cuadrática lineal (curva A) suele dar un mejor ajuste de los datos para dosis entre bajas e intermedias, lo que implica que para

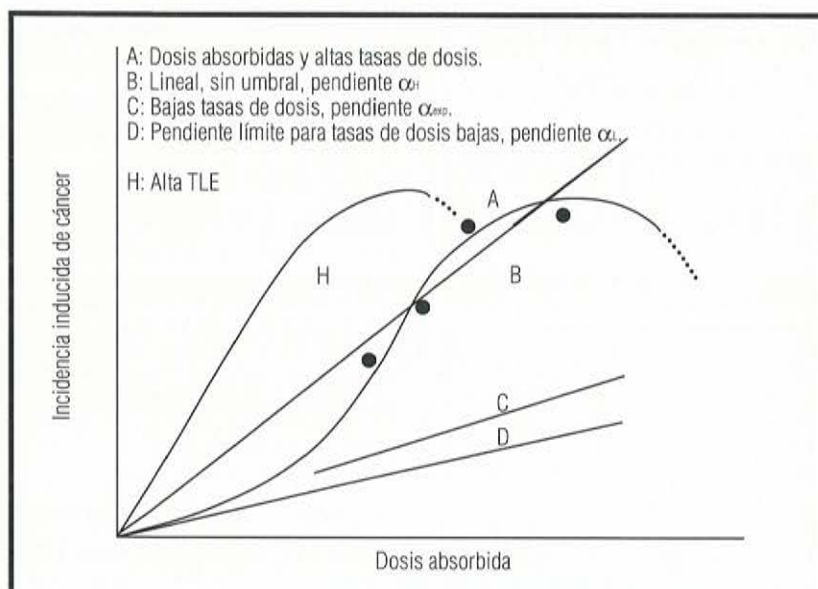


Figura 1. Curvas de dosis-respuesta para cáncer radioinducido. Se presentan posibles inferencias al extrapolar los datos para altas dosis y tasas de dosis a la respuesta a bajas dosis y tasas de dosis para radiación de baja TLE.

dosis más elevadas el daño sea el resultado de trayectorias tanto simples como múltiples. Para dosis aún más elevadas, la muerte de las células se hace significativa con la consiguiente reducción del número de tumores.

Con una reducción progresiva de la dosis y de la tasa de dosis, que conlleva una mayor posibilidad de reparación del daño, se puede a la larga alcanzar un punto en el cual los eventos de trayectorias múltiples representan una contribución insignificante sobre la incidencia de tumores, y el daño se produce únicamente como resultado de las trayectorias simples que actúan solas y producen una respuesta lineal (curva D), siendo el efecto proporcional a la dosis (pendiente α_1 , el coeficiente de riesgo). Se podría obtener una respuesta similar reduciendo solamente la tasa de dosis,

ya que incluso con dosis totales elevadas, la tasa de desarrollo de lesiones sería más lenta, y la oportunidad de que aparezcan eventos de trayectorias múltiples disminuiría. Por tanto, en el límite, la curva D podría obtenerse o reduciendo la dosis a valores muy bajos para que los efectos sean independientes de la tasa de dosis, o reduciendo la tasa de dosis a valores muy bajos. El enfoque utilizado para evaluar los riesgos a dosis bajas y tasas de dosis bajas, de radiación de baja TLE, se describe en las secciones 5 y 6. Respecto a la radiación de alta TLE se asume que no hay un efecto de la tasa de dosis y la respuesta es proporcional a la dosis para las dosis situadas por debajo de aquellas en las que se produce muerte celular.

También se han propuesto funciones alternativas de la relación dosis-

respuesta (UNSCEAR, 1994; Académie de Sciences, 1995). Los modelos que incluyen un umbral suponen que no existe ninguna respuesta hasta que se alcanza un nivel de exposición, y que a partir de entonces, la respuesta aumenta con la dosis. Los modelos de dosis-respuesta que incorporan un efecto hormogénico han generado cierto interés. Estos modelos consideran la posibilidad de que la estimulación de la reparación del daño causado por la radiación como resultado del efecto de un agente tóxico, incluyendo la radiación, a dosis bajas, reduciría la influencia de posteriores dosis más elevadas. Mucha de la evidencia disponible en la actualidad sobre la hormesis de radiación, proviene de observaciones de efectos a corto plazo tanto en plantas como en animales, y no de observaciones directas sobre la inducción de tumores (UNSCEAR, 1994).

La información sobre la inducción de tumores, proveniente tanto de los estudios epidemiológicos como de las investigaciones experimentales en animales, es insuficiente por sí misma para poder ofrecer una información directa relativa a la forma de la curva de respuesta a la dosis para valores bajos, y no es probable que esta posición cambie dadas las dificultades para detectar aumentos significativos del riesgo con dosis bajas. Será necesario obtener información sobre los mecanismos implicados en la inducción de tumores para obtener clarificación adicional sobre los efectos a

TABLA 2. Grupos de población para la estimación del riesgo.

Bombas atómicas	Supervivientes japoneses Habitantes de las Islas Marshall ^a
Diagnóstico médico	Fluoroscopias múltiples (mama) Irradiación prenatal Inyecciones de Thorotrast ^b
Terapia médica	Radioterapia pélvica (cervix) Radioterapia espinal (espondilitis anquilosante) Radioterapia de cuello y tórax (tiroides) Radioterapia del cuero cabelludo Tratamiento con radio ^b
Exposición ocupacional	Mineros de uranio Ingestión de radio (pintores de esferas luminosas) ^b

a: Exposición a radiación externa y a radionucleidos emisores β/γ .
b: Exposición a radionucleidos emisores α .

dosis bajas. En la actualidad, la base para las normativas sobre la protección contra las radiaciones, soportada por la comprensión actual de los mecanismos implicados en las lesiones ocasionadas por radiación, es que cualquier trayectoria de radiación tiene el potencial de causar una lesión al material nuclear (ADN) del núcleo de la célula que podría, a la larga, convertirse en un cáncer. El desarrollo de los coeficientes de riesgo de cáncer se hace sobre esta base.

Los datos sobre los supervivientes de la bomba atómica ofrecen información sobre los riesgos de cáncer en una

serie de tejidos, aunque hasta la fecha no se dispone de información basada en la nueva dosimetría relativa a los cánceres de hígado, células de la superficie ósea, tiroides y piel, inducidos por radiación.

Sin embargo, sí se dispone de información sobre cáncer de estos tejidos inducido por radiación, proveniente de otros estudios epidemiológicos que se resumen en la Tabla 2. Los principales estudios utilizados para cuantificar los efectos tanto de la radiación externa como de los radionúclidos incorporados internamente se resumen a continuación.

3. EXPOSICIONES A RADIACIONES EXTERNAS

3.1. Supervivientes de la bomba atómica en Japón

La experiencia sobre la mortalidad de los supervivientes de las bombas atómicas lanzadas en Hiroshima y Nagasaki ha sido la fuente específica más importante de información sobre el riesgo del cáncer inducido por radiaciones. Existe información sobre la exposición de la totalidad del organismo de los individuos a la radiación en un rango de edades. Nuevos datos obtenidos a finales de los años 80 sobre esta población, de más de 90.000 personas, en el estudio Life Span Study (LSS), cuyo seguimiento se inició en 1950, requirieron una revisión de los valores del riesgo que previamente habían sido estimados (Preston y Pierce, 1987; Shimizu *et al*, 1990). Un cierto número de componentes provocó este cambio. El primero fue la revisión de la dosimetría (DS86) que, entre otros factores, toma en consideración la elevada humedad del aire sobre las ciudades, lo que ha reducido considerablemente la dosis de neutrones en Hiroshima desde las estimaciones iniciales de 1965 (T65), las cuales estaban basadas en mediciones realizadas en la árida atmósfera del desierto de Nevada. También se han mejorado las estimaciones sobre el rendimiento de la bomba de Hiroshima (aumentados desde 12,5 hasta 15 ktoneladas), el blindaje ofrecido por los edificios y las dosis en tejidos y órganos. El segundo es que el exceso de cánceres mortales en la población aumentó debido a la mayor duración del período



de seguimiento (hasta 1985), y también se ha realizado una estimación sobre los cánceres aparecidos durante el período 1945-1950. El tercer cambio, y el más significativo, es que el modelo de riesgo multiplicativo parece ofrecer una mejor base para la evaluación del riesgo de la mayoría de los cánceres sólidos, a lo largo de la vida, que los modelos aditivos.

UNSCEAR (1988) en un informe a la Asamblea General, ofreció la primera información sobre los riesgos de cáncer inducido por radiación para un número de tejidos en la población japonesa, basado en modelos de proyección multiplicativa. El riesgo total de cáncer para dosis elevadas y altas tasas de dosis fue estimado en $7-11 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (*), utilizando los modelos de riesgo relativo constante específico de la edad y de la media de edad (Sección 6). Este se comparó con la evaluación del Comité realizada en 1977, basada en el modelo aditivo, que mostraba un resultado de $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ para tasas de dosis elevadas. Debido a que los niños y los jóvenes son más sensibles a la radiación que los adultos, la aplicación de los coeficientes de riesgo específicos de la edad aumenta el número previsto de cánceres inducidos por radiación.

Estas estimaciones del riesgo para la exposición de la totalidad del organismo

(*) Un riesgo de $1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ corresponde a un riesgo de cáncer de 1 entre 100 por Sv o 1 entre 100.000 por mSv.

a la radiación están basados en una extrapolación para el futuro algo incierta respecto a los cánceres sólidos, ya que las dos terceras partes de los supervivientes japoneses todavía están vivos, y dos terceras partes del riesgo de cáncer todavía queda por manifestarse. Hasta 1985, cerca de 80 leucemias por exceso y 260 cánceres sólidos por exceso habían aparecido en un total de cerca de 6000 muertes por cáncer en la población del LSS (76.000 personas) para quienes se dispone de dosis DS86 (Preston y Pierce, 1987; Schimizu et al, 1990). Sin embargo, el riesgo de leucemia inducida por radiación es más fiable que el riesgo de cánceres sólidos, ya que en la actualidad se esperan muy pocos casos de cáncer adicionales. También existen incertidumbres al extrapolar los riesgos de cáncer, basados en la población japonesa expuesta a la radiación a altas tasas de dosis, a dosis y tasas de dosis bajas, relevantes con fines de protección radiológica (ver Sección 5 y 6).

En un informe más reciente sobre el LSS, Pierce *et al* (1996) informaron acerca de cinco años más de seguimiento (1986-1990). Su análisis incluye 10.500 nuevos supervivientes (86.572 en total). Durante 1950-1990 ha habido 8.827 muertes por cáncer, de las cuales se ha estimado que un exceso de 85 son debidas a leucemias y 335 a tumores sólidos. La curva de mortalidad para todos los cánceres sólidos combinados muestra, esencialmente, una dosis-respuesta lineal en el rango 0-3 Sv, mientras que para la leucemia, la tendencia de la dosis no es lineal con una curvatura hacia arri-

ba. En la actualidad se puede observar un aumento significativo del riesgo de cánceres sólidos en dosis hasta 50 mSv.

3.2. Cáncer de tiroides

Grupos de niños y jóvenes que habían recibido irradiaciones en el tiroides, y que pueden utilizarse para derivar los coeficientes de riesgo para cáncer de tiroides, incluyen a niños que habían recibido tratamiento con rayos X por hipertrofia del timo, pacientes tratados en hospitales estadounidenses por tirotoxicosis y otras lesiones benignas del cuello, y pacientes que habían sido tratados con rayos X por enfermedad tiroidea (NCRP, 1985; Shore y col, 1985). En la mayoría de los casos, en particular en los jóvenes, el cáncer de tiroides no es mortal. La mortalidad del cáncer de tiroides inducido por radiación se espera que se aproxime al 10% de la incidencia total. También existe evidencia de que el riesgo en los adultos es la mitad que en los niños, y que el riesgo en las mujeres es aproximadamente el doble que en los hombres.

Shore y colaboradores informaron en 1993 acerca del cáncer de tiroides en una cohorte de 2.657 niños del Estado de Nueva York que habían sido tratados con rayos X por una supuesta hipertrofia del timo y seguidos durante un período medio de 37 años. Las dosis estimadas en tiroides se situaron en un rango desde 0,03 hasta más de 10 Gy, con un 62% recibiendo menos de 0,5 Gy. La relación dosis-respuesta para el cáncer de tiroides se estableció mediante una dosis-

respuesta lineal, sin evidencia de un componente cuadrático de la dosis. Un análisis restringido a un rango de 0-0,3 Gy mostró una tendencia estadísticamente significativa con la dosis ($p=0,002$), aunque basada sólo en cuatro casos de cáncer de tiroides con dosis no cero (Ron y col, 1989).

Ron y colaboradores (1995) realizaron un análisis combinado a partir de los datos provenientes de siete estudios sobre cáncer de tiroides provocado por la exposición a radiaciones externas. El rango de las dosis varió considerablemente entre los diferentes estudios. Respecto a la exposición antes de la edad de 15 años, se consideró que la linealidad era la que mejor describía la respuesta de la dosis, incluso hasta en el nivel de 0,1 Gy. El exceso de riesgo relativo estimado por Gy, de 7,7 (95% CI: 2,1-28,7) es uno de los valores más elevados hallados para ningún órgano.

Para una población uniformemente expuesta a radiación externa, el riesgo de cáncer mortal de tiroides se estima en $8,0 \cdot 10^{-4} \text{ Gy}^{-1}$ (baja TLE) asumiendo un periodo de latencia de 5 años (ICRP, 1991a). En poblaciones humanas a las que se ha suministrado ^{131}I por razones no terapéuticas, y que han recibido dosis muy inferiores a 2 Gy, no se ha observado un exceso significativo de cánceres de tiroides. Esto sugiere un coeficiente de riesgo 3 ó 4 veces menor que el obtenido a partir de radiación externa a altas tasas de dosis (NCRP, 1985). Los datos de la incidencia de cáncer en niños, en áreas de la antigua Unión Soviética que se

contaminaron por el accidente de Chernobyl, indican un incremento del cáncer de tiroides en algunas zonas. Hasta la fecha, los datos son insuficientes para proporcionar estimaciones cuantitativas del riesgo.

3.3. Cáncer de piel

Un Grupo de Trabajo de la ICRP (ICRP, 1991b) ha revisado los datos sobre los riesgos de cáncer de piel. La mayor parte de los datos provienen de grupos cuyos participantes habían sido sometidos a irradiaciones parciales del cuerpo, durante el curso de un tratamiento médico, aunque algunos datos provienen de los grupos expuestos por su ocupación laboral, en particular radiólogos, técnicos de radiología, y los mineros que trabajan en las minas de uranio. Se dispone de poca información acerca de los supervivientes de las bombas atómicas. En base a un modelo de riesgo relativo, el Grupo de Trabajo calculó el riesgo de cáncer mortal de piel, debido a la exposición a bajas dosis en una población general, en $2 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}^{-1}$, asumiendo que el 0,2% de los casos serían casos mortales. Resaltaron la incertidumbre existente para estimar el modelo temporal de cánceres de piel inducidos por radiación.

3.4. Cáncer de mama

Los datos disponibles relativos al cáncer de mama inducido por radiación provienen de estudios de seguimiento realizados sobre los supervivientes de la bomba atómica, y de estudios llevados a cabo en pacientes de América del Norte

que habían sido examinados por fluoroscopia para detectar la tuberculosis, o que habían sido tratados debido a una mastitis posparto aguda. Los riesgos calculados para cada población difieren muy poco, y estuvieron basados en modelos de proyección aditiva. La ICRP basó su estimación de $2,10^{-3} \text{ Sv}^{-1}$ en una población mixta de hombres y mujeres, a partir de los datos de los supervivientes de la bomba atómica. El riesgo de cáncer de mama también varía considerablemente con la edad en el momento de la exposición. Por lo tanto, en relación con la exposición en la primera década de la vida, el riesgo representa aproximadamente 4 veces el correspondiente a edades comprendidas entre los 40 y los 50 años (Muirhead y col, 1993)

4. EXPOSICIÓN A RADIONÚCLIDOS INCORPORADOS INTERNAMENTE

Se dispone de datos sobre los efectos de los radionucleidos incorporados internamente por los seres humanos para unos pocos radionucleidos solamente, que han sido revisados por el UNSCEAR (1994). Los datos cuantitativos para la estimación de los riesgos están disponibles sólo para emisores de partículas alfa.

La información de que se dispone abarca grupos expuestos a isótopos de radio (^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra) donde los tumores óseos son el efecto tardío predominante, y Thorotrast ($^{232}\text{ThO}_2$ coloidal), que da lugar principalmente a la irradiación del hígado, bazo y médula ósea, con tumores que se generan principalmente



en el hígado y médula ósea (leucemia). También existe información en hombres con cáncer de pulmón tras una exposición al radón y sus productos de desintegración. En la actualidad se están llevando a cabo estudios epidemiológicos sobre la exposición doméstica al radón, pero tendrá que pasar algún tiempo antes de que se hayan recogido suficientes datos para darnos alguna indicación sobre los posibles riesgos. También fueron estudiados veintiseis hombres que trabajaron con plutonio en el proyecto Manhattan durante la II Guerra Mundial (contenido estimado en el organismo 52-3180 Bq). Hasta la fecha han fallecido siete individuos. Las causas de la muerte fueron cáncer de pulmón (2 casos), infarto de miocardio, enfermedad coronaria arterosclerótica, lesión accidental, insuficiencia respiratoria por neumonía/insuficiencia cardíaca congestiva y osteosarcoma del sacro. Tres hombres también presentaron una historia de cáncer de piel. Existe una elevada probabilidad de que el cáncer de huesos fuera causado por la exposición al plutonio, ya que el riesgo espontáneo es de aproximadamente 1 entre 2000.

4.1. Aparatos luminiscentes con Radio-226/228

Se ha observado un incremento en la incidencia del cáncer de huesos y del carcinoma de senos de la cabeza en las personas expuestas a radio de larga vida, en particular en los pintores de las esferas luminosas, pero también en los químicos que trabajan con radio y las personas tratadas con sales de radio, para

conseguir posibles efectos terapéuticos (Rundo y col, 1986; Rowland, 1994). Estas personas resultaron contaminadas internamente con ^{226}Ra puro ($t_{1/2}=1.600$ años) en algunos casos, y en otros con varias mezclas de ^{226}Ra , y ^{228}Ra ($t_{1/2}=5,77$ años). En estas poblaciones han aparecido cánceres de huesos y de senos de la cabeza. La mayoría de estos cánceres aparecieron hasta 1969, aunque desde entonces han aparecido tres tumores óseos, y los cánceres de cabeza han aparecido recientemente con una mayor tasa que los cánceres de huesos. Los isótopos de radio se depositan principalmente en el esqueleto, y, al parecer, los sarcomas óseos han sido inducidos por partículas α provenientes de radionucleidos de las series de desintegración del ^{226}Ra o del ^{228}Ra . Se cree que los carcinomas de senos de la cabeza están causados fundamentalmente por la acumulación de productos de desintegración del gas radón (^{222}Rn) en los senos frontales y en las células mastoideas aéreas. Este radón está producido por la desintegración del ^{226}Ra en el hueso.

Salvo para los sarcomas óseos y los carcinomas de senos de la cabeza, no se ha atribuido en la actualidad ningún exceso definido para otros tipos de tumores, incluyendo leucemia, a causa del depósito interno de radio de larga vida.

4.2. Pacientes tratados con Radio-224

Los efectos de la incorporación de radio también fueron estudiados en

pacientes alemanes que habían recibido inyecciones de ^{224}Ra muy poco tiempo después de la II Guerra Mundial. El grupo en estudio consistió en una población de 682 adultos y 218 jóvenes (la edad en la primera inyección varió entre 1 y 20 años), quienes habían recibido inyecciones intravenosas de ^{224}Ra una o dos veces a la semana, principalmente para el tratamiento de la tuberculosis ósea o la espondilitis anquilosante (Mays y Spies, 1986; Spies, 1995). El último tumor óseo apareció en 1988, 41 años después de la inyección de ^{224}Ra realizada a un niño de tres años de edad, y es el único sarcoma óseo registrado de esta serie desde 1974. En la actualidad se espera que aparezcan muy pocos tumores más.

En base a la información sobre los riesgos de cáncer de hueso tras la incorporación de radio, y a partir de la dosis media procedente del depósito en el hueso de ^{224}Ra , la ICRP (1991a) ha adoptado una estimación del riesgo total para el cáncer mortal de $5 \cdot 10^{-4}\text{Sv}^{-1}$ (asumiendo un factor de ponderación de la radiación, w_R , para la irradiación con partículas α de 20).

4.3. Mineros expuestos al radón

Se ha observado un aumento en la mortalidad por cáncer de pulmón en los mineros que trabajan bajo tierra en Checoslovaquia, Canadá, los Estados Unidos, y Suecia, expuestos a ^{222}Rn y a sus productos de desintegración (BEIR IV, 1988).

El aumento de la mortalidad debida al cáncer de pulmón ha sido correlacionado con las concentraciones de radón en el aire en diferentes minas y con la duración de la exposición. Las células del tallo bronquial y las células de secreción de los conductos aéreos están consideradas como las principales células blanco para la inducción de cáncer de pulmón a causa de la exposición al radón. Existen muchas dificultades para calcular la dosis de radiación a estas células como resultado de la exposición a los productos de desintegración del radón (expresados en meses de nivel de trabajo^(*)) (WLM).

Hay que tener en cuenta la dosis de radiación recibida a lo largo de la vida laboral y la carga de polvo en la atmósfera, ya que determinan el alcance de absorción de los derivados del radón contenidos en las partículas respirables. Además de cualquier posible efecto sinérgico entre el hábito de fumar y la exposición al radón, la presencia de polvo, humos conteniendo diesel, y otros posibles carcinógenos en la atmósfera de la mina, provoca cierta incertidumbre acerca de si un exceso de cáncer puede

(**) 1 WL es cualquier combinación de productos de desintegración del radón de vida corta por litro de aire, que dará lugar a la emisión total de $1,3 \times 10^5$ MeV de energía debida a las partículas α . Un WLM resulta de la exposición a una concentración de productos de desintegración en el aire de 1 WL para un promedio de trabajo mensual de 170 horas a un ritmo de respiración de $1,2 \text{ m}^3$ por h^{-1} .

atribuirse únicamente a la radiación. El Comité BEIR IV ha sugerido un riesgo de cáncer de pulmón después de la exposición al radón y a sus productos de desintegración de 350 casos por 10^6 personas y por WLM. Esto corresponde a un riesgo de $0,42 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ tras la exposición del pulmón ($3,5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$, dosis efectiva), asumiendo un factor de ponderación de la radiación, w_R , para una irradiación α de 20, y es similar al valor de $0,68 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ adoptado por la ICRP para una población trabajadora, basándose en supervivientes de la bomba atómica.

4.4. Pacientes tratados con Thorotrast

El Thorotrast es un óxido de torio coloidal. A finales de los años 20 empezó a ser inyectado en las arterias de los pacientes como contraste en radiodiagnóstico. La dosis media de unos 25 ml de Thorotrast contenía 5 gramos de torio con una actividad (α) de aproximadamente 20 kBq ^{232}Th , y con una radioactividad adicional proveniente de sus productos de desintegración. El thorotrast coloidal era retirado del torrente sanguíneo por captación en células fagocíticas que le depositaban en un 60% aproximadamente en el hígado, un 30% en el bazo, y un 10% en la médula roja. Extensos estudios epidemiológicos llevados a cabo en Portugal, Suecia, Dinamarca, Estados Unidos, República Federal de Alemania, y Japón, han demostrado que la retención de partículas de óxido de torio en el hígado y en la médula ósea ha dado como resultado un aumento del riesgo de tumores en el hígado y de leucemias, así como de cirro-

sis hepática y otras enfermedades cardiovasculares (van Kaick y col, 1984; 1995). Sobre la base de una dosis inyectada de 25 ml, la dosis absorbida por el hígado está estimada en $0,25 \text{ Gy a}^{-1}$ (alta TLE). Las estimaciones actuales, basadas en un período de latencia de 20 años, sugieren un riesgo de cáncer hepático a lo largo de la vida tras la exposición al Thorotrast, de cerca de $0,15 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (asumiendo un w_R para la irradiación por partículas α de 20); se espera que cerca de la mitad de este riesgo se manifieste aproximadamente unos 40 años después de la exposición.

5. FACTORES DE EFICACIA DE LA DOSIS Y DE LA TASA DE DOSIS (FEDTD)

Los coeficientes de riesgo de cáncer inducido por radiaciones están fundamentalmente basados en grupos de población expuestos a altas dosis y tasas de dosis. Los estudios realizados a nivel molecular, celular, tisular, y a nivel animal, han demostrado que el daño ocasionado por la radiación aumenta con la dosis, y que, al menos para la radiación de baja TLE, a altas tasas de dosis, el daño suele ser mayor por unidad de exposición que para tasas de dosis bajas. Por tanto, aunque habitualmente se asume, con fines de protección radiológica, que la curva de respuesta a la dosis para la inducción del cáncer es lineal, con el riesgo proporcional a la dosis, en la práctica, los factores de eficacia de la dosis y de la tasa de dosis (FEDTD) han sido utilizados comúnmente para obtener una menor eficacia de la radiación, respecto a la induc-



ción de cáncer en los humanos, en bajas dosis y tasas de dosis. La elección de un FEDTD apropiado ha generado muchas discusiones con datos relevantes provenientes de estudios en animales y estudios celulares, así como de datos epidemiológicos en seres humanos.

En 1986, el UNSCEAR sugirió que, para muchos cánceres, la presunción de una respuesta lineal a la hora de extrapolar la información de las tasas de dosis altas, sobreestimaba el riesgo para tasas de dosis bajas hasta en un factor de 5. En 1988, el UNSCEAR estableció que los riesgos para tasas de dosis bajas con radiación de baja TLE, podrían ser menores que los correspondientes a tasas de dosis altas con un factor entre 2 y 10. El comité BEIR V llegó a unas conclusiones similares. El UNSCEAR, en su informe de 1993, revisó en profundidad los datos epidemiológicos y experimentales más relevantes con respecto a la selección del FEDTD. El Comité sugirió que un valor apropiado de FEDTD sería < 3 . La ICRP, en sus recomendaciones de 1990, basó las estimaciones del FEDTD principalmente en un análisis realizado por Pierce y Vaeth (1989) sobre los datos provenientes de los supervivientes japoneses. Este análisis muestra que los datos no permiten un factor de reducción mucho mayor de 2. Otros datos epidemiológicos mostraron poca evidencia sobre los efectos de la tasa de dosis, si bien estudios sobre la incidencia del cáncer de tiroides (Shore y col, 1985) y sobre la mortalidad del cáncer de mama (Miller y col, 1989), indican unos posibles factores de reducción de hasta 3 ó 4. En consecuencia, la ICRP ha

adoptado un FEDTD de 2, reconociendo que "la elección es en cierto modo arbitraria y podría ser conservadora". En la práctica, se esperaría que el FEDTD variase según los tejidos y las condiciones de la exposición, aunque hay que asignar un valor único con fines de protección. Será necesario una mejor comprensión de los mecanismos involucrados para comprender mejor los efectos de la dosis y de la tasa de dosis en la inducción de tumores debidos a la radiación en el hombre. En la Tabla 3 aparece un resumen de los valores de los FEDTD recomendados por organismos nacionales e internacionales. No se recomienda ningún FEDTD para las radiaciones de alta TLE.

6. COEFICIENTES DE RIESGO PARA EL CÁNCER INDUCIDO POR RADIACIÓN

Se han publicado varios estudios en los que se ha calculado los riesgos del

cáncer inducido por radiación para diferentes poblaciones. Estos se han basado principalmente en información procedente de los supervivientes de la bomba atómica, y se han complementado con datos procedentes de estudios epidemiológicos. La mayor parte de los riesgos han sido calculados para la población en general, si bien una serie de informes también se refieren a los riesgos para los trabajadores. Estos tienden a ser menores (en aproximadamente un 20-40%) dado el mayor riesgo para los niños y los jóvenes, según se ha calculado mediante el modelo de proyección relativa del riesgo para la mayoría de los cánceres sólidos.

En la tabla 4 se resume la información sobre los riesgos somáticos de la radiación para altas dosis y tasas de dosis publicados en los últimos años por UNSCEAR (1988, 1994), BEIR (1990), NRPB (Muirhead y col, 1993), ICRP (1991a), uti-

TABLA 3. Resumen de factores de eficacia de dosis y tasa de dosis.

Fuente	FEDTD
ICRP 1977	2,5
NCRP 1980	2-10
UNSCEAR 1986	Hasta 5
UNSCEAR 1988	2-10
BEIR 1990	2-10
ICRP 1990	2
NRPB 1993	2
UNSCEAR 1993	<3

TABLA 4. Riesgo de cáncer mortal a lo largo de la vida estimado para poblaciones (todas las edades y ambos sexos) asociado con la exposición a altas dosis y tasas de dosis de radiación de baja TLE, basado en un modelo de proyección multiplicativo.

	Población	Riesgo de cáncer mortal
UNSCEAR 1977	—	2,5 ^a
UNSCEAR 1988	Japón	7-11 ^b
UNSCEAR 1994	Japón	12 ^c
BEIR V 1990	USA	7,9 ^d
ICRP 1991	Cinco naciones	10,0 ^e
Muirhead 1993	RU	4,9-11,8 ^f

a: Modelo aditivo.

b: Rango de riesgo relativo basado en edad promedio y edad específica constante. Riesgos relativos.

c: Riesgo también calculado para riesgo relativo variable con el tiempo (Sección 6).

d: Ver texto (sección 5.2.).

e: Valor medio basado en la población de EE.UU., R.U., Japón, Puerto Rico y China. Riesgo para trabajadores $8,0 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^1$.

f: Riesgo calculado para 40 años después de la exposición y a lo largo de la vida, asumiendo riesgos relativos específicos de la edad. Riesgo para trabajadores $5,9-10,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^1$.

lizando principalmente modelos de proyección relativa del riesgo para la mayoría de los cánceres sólidos. En la mayoría de los estudios, se han calculado los riesgos de cáncer a lo largo de la vida, aunque el NRPB también mostró los riesgos hasta 40 años después de la exposición (el actual período de seguimiento de los supervivientes de la bomba atómica). UNSCEAR (1988) calculó los riesgos mediante modelos de riesgo relativo constante basados tanto en el promedio de edad como en la edad específica. En el informe de 1994, el UNSCEAR calculó los riesgos de cáncer para una población japonesa en base a un modelo de riesgo relativo constante y en modelos en los que los riesgos pudieron reducirse a veces por

debajo de los correspondientes a los datos disponibles del seguimiento; esto redujo las estimaciones de riesgo en un 20-40% según el modelo utilizado. El BEIR V (1990) calculó los riesgos para una población estadounidense y mostró valores para determinados tejidos utilizando modelos de riesgo relativo pero de tiempo variable para algunos cánceres (leucemia, tracto respiratorio, cáncer de mama en las mujeres). Es de destacar que el BEIR V, a diferencia del UNSCEAR, calculó las muertes por exceso de cáncer, no las muertes prematuras. El primer riesgo es aproximadamente un 20-25% menor que el último, lo que refleja la tasa basal de cáncer en la población. La ICRP (1991a) calculó los riesgos para una

población "mundial" en base al valor medio para cinco poblaciones (Japón, Reino Unido, Estados Unidos, Puerto Rico, y China) y luego transfiriendo tanto el riesgo absoluto como el riesgo relativo al resto de las poblaciones.

Globalmente, los riesgos a lo largo de la vida calculados en los últimos años no son muy diferentes entre los distintos estudios, siendo el valor más bajo el de UNSCEAR (1988) que utilizó unos coeficientes de riesgo para una media de la edad. La ICRP (1991) ha adoptado un valor redondeado de $10 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ para el coeficiente de riesgo correspondiente a cáncer mortal para dosis y tasas de dosis altas, tras la exposición de una población mixta de todas las edades. Aplicando un FEDTD de 2, se obtiene un riesgo de $5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ para fines de protección contra las radiaciones. Los coeficientes de riesgo para los tejidos individuales se reflejan en la Tabla 5, que también muestra los coeficientes de riesgo recomendados por la ICRP en 1977. Para los trabajadores, el coeficiente de riesgo adoptado con fines de protección contra las radiaciones es de $4 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$. Estos coeficientes de riesgo han sido utilizados por la ICRP para el desarrollo de los límites de dosis revisados en las recomendaciones de la ICRP de 1990 (ICRP 1991a).

7. ESTUDIOS CON DOSIS BAJAS

La mayoría de los estudios sobre los cuales están basadas las estimaciones del riesgo para el cáncer inducido por radiaciones se refieren a poblaciones expuestas a altas dosis y tasas de dosis.



Los estudios realizados con tasas de dosis bajas de exposición implican en general dosis bajas, y debido a la baja probabilidad, el exceso de riesgos se ve obstaculizado por una falta de potencia estadística y posiblemente también debido a factores desconcertantes. Sin embargo, estos estudios sobre tasas de dosis bajas pueden servir de control respecto a los riesgos derivados por extrapolación provenientes de estudios con altas tasas de dosis. Los principales estudios de interés se centran en los trabajadores que están ocupacionalmente expuestos, aunque también se dispone de algunos sobre los riesgos en los niños tras las exposiciones in utero, y de las personas que habitan en lugares con un elevado fondo natural.

7.1. Exposiciones ocupacionales

Se han llevado a cabo varios estudios en trabajadores de la industria nuclear. En los Estados Unidos, Gilbert y col (1989) realizaron un análisis conjunto de los datos provenientes de 36.000 trabajadores de Hanford, Oak Ridge National Laboratory y de la planta de fabricación de armas de Rocky Flats. Ni mediante el agrupamiento de todos los cánceres ni del de la leucemia, se obtuvo indicación alguna que revelara un aumento de la tendencia del riesgo con la dosis.

Un estudio realizado con 95.000 individuos del Registro Nacional de trabajadores profesionalmente expuestos (NRRW) del Reino Unido ha examinado la mortalidad por cáncer en relación con la dosis (Kendall y col, 1992a). Respecto a todos

los neoplasmas malignos, la tendencia del riesgo relativo con la dosis fue positivo pero no estadísticamente significativo ($p=0,10$). En base a un modelo de proyección relativa del riesgo, la estimación central del riesgo a lo largo de la vida basado en estos datos fue del $10\% \text{ Sv}^{-1}$, el cual es 2 veces y media el valor del $4\% \text{ Sv}^{-1}$ citado por la ICRP (1991a) para los riesgos asociados a la exposición de los trabajadores (basándose en la aplicación de un FEDTD de 2 a los datos japoneses). El intervalo de confianza del 90% para el riesgo derivado del NRRW osciló

entre un valor negativo hasta aproximadamente 6 veces el valor de la ICRP. Para la leucemia (excluyendo leucemia linfática crónica (LLC) que parece no ser inducida por radiación), la tendencia del riesgo con la dosis fue estadísticamente significativa ($p=0,03$). En base al modelo de proyección del tipo BEIR V (BEIR, 1990), la estimación central del riesgo de leucemia a lo largo de la vida fue de $0,76\% \text{ Sv}^{-1}$ que es 1,9 veces el valor adoptado por la ICRP para una población trabajadora ($0,4\% \text{ Sv}^{-1}$), con unos límites de confianza del 90%, situados en un rango desde

TABLA 5. Coeficientes de riesgo de cáncer mortal adoptados por la ICRP.

Organo o tejido	Cáncer mortal, 10^{-2} Sv^{-1}		
	ICRP 1977	ICRP 1991	
		Población	Trabajadores
Vejiga		0,30	0,24
Médula roja	0,20	0,50	0,40
Superficie ósea	0,05	0,05	0,04
Mama	0,25	0,20	0,16
Colon		0,85	0,68
Hígado		0,15	0,12
Pulmón	0,20	0,85	0,68
Esófago		0,30	0,24
Ovario		0,10	0,08
Piel		0,02	0,02
Estómago		1,10	0,88
Tiroides	0,05	0,08	0,06
Resto	0,50	0,50	0,40
Gónadas (enf. hereditarias)	—	—	—
Total	1,25	5,0	4,0

justo por encima del cero hasta 6 veces el valor adoptado por la ICRP. También apareció una indicación de la tendencia de aumento con la dosis en el riesgo de mieloma múltiple ($p=0,06$); la tendencia estimada del riesgo relativo fue aproximadamente 3 veces el valor obtenido a partir de los datos de los supervivientes japoneses bajo el modelo de respuesta lineal de la dosis, con una confianza del 90%, que oscilaba entre un valor justo por encima del cero hasta 20 veces el valor de los japoneses. También se halló una tendencia de aumento del riesgo de mieloma múltiple con la dosis en el estudio estadounidense de Gilbert y col (1989) ($p<0,05$).

El Registro Nacional de trabajadores profesionalmente expuestos (NRRW) ofrece, por tanto, evidencia de los riesgos de leucemia y mieloma múltiple aparecidos y asociados con la exposición ocupacional a la radiación, y, al igual que el estudio combinado realizado con trabajadores norteamericanos (Gilbert y col, 1989), es coherente con las estimaciones del riesgo para la exposición a bajas dosis y tasas de dosis derivados por la ICRP (1991a) a partir de los datos sobre los supervivientes japoneses. En particular, al combinar los resultados del NRRW y los resultados norteamericanos, se producen unas estimaciones centrales para el riesgo a lo largo de la vida de $4,9 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (90% IC $< 0,18$) para todos los cánceres y de $0,30 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (90% IC $< 1,04$) para la leucemia, excluyendo la leucemia linfática crónica (Kendall y col, 1992b), los cuales son similares a las estimaciones de riesgo calculadas por la ICRP.

También se ha publicado (Cardis y col, 1995) un análisis combinado de la mortalidad en 95.673 trabajadores (85,4% hombres) en los Estados Unidos, el Reino Unido, y Canadá. La combinación de los datos provenientes de varios estudios aumenta la potencia global para poder estudiar asociaciones entre radiación y cánceres específicos. El análisis combinado cubrió un total de 2.124.526 personas-años (PA) de riesgo, y 15.825 muertes, 3.976 de las cuales fueron debidas al cáncer. Como con el NRRW, la mortalidad debida a las leucemias, excluyendo la leucemia linfática crónica (LLC) estaba significativamente asociada con la exposición externa acumulativa a la radiación. No apareció evidencia de una asociación entre la dosis de radiación y la mortalidad debida a todos los cánceres. Se concluyó que los resultados del estudio no sugerían que las estimaciones actuales del riesgo de cáncer por radiación a bajos niveles de exposición fueran erróneas de una forma apreciable.

7.2. Exposiciones *in utero*

Se han publicado ciertos estudios que han examinado los riesgos de cáncer en la infancia tras exposición *in utero*. Estos estudios presentan una ventaja especial para la detección de los riesgos de cáncer a bajas dosis dada la baja tasa de cáncer espontáneo en los niños.

La Encuesta de Oxford sobre Cánceres en la Infancia (OSCC) es un estudio caso-control y se inició a mitad de los años 50. Hasta 1981, las madres de 15.276 casos y el mismo número de

controles habían sido entrevistadas (Knox y col, 1987). Durante el final de los años 50, los investigadores del estudio registraron una duplicación en el riesgo de cáncer en la infancia asociado con la exposición prenatal a los rayos X. Unos análisis posteriores, que cubrían un período más largo, indicaron un riesgo en disminución con el tiempo y un aumento medio del riesgo del 40% (95% IC: 31-50) (Stewart y col, 1958; Stewart y Kneale, 1970; Bithell y col, 1975). Aunque existe cierta incertidumbre respecto a las dosis recibidas, se considera que entran, aproximadamente, dentro de un rango entre 5 y 20 mGy (baja TLE) (UNSCEAR, 1972).

Se ha sugerido que, debido a la naturaleza retrospectiva del OSCC, con al menos una fiabilidad relativa por parte de la memoria de las madres, se pueden haber introducido ciertos sesgos. Los resultados del seguimiento se apoyaron en un estudio, realizado en los Estados Unidos, basado en registros contemporáneos de exposición a los rayos X; se confirmó una asociación entre exposición a rayos-X en el período prenatal y cáncer en la infancia (McMahon, 1962, Monson y MacMahon, 1984).

Todavía existe la posibilidad de que pueda haber ciertos, aunque aún no identificados, factores desconcertantes en el OSCC que afectan tanto a la probabilidad de que el feto sea irradiado *in utero* como al riesgo de un cáncer subsiguiente. Los datos obtenidos en la encuesta fueron aún así reanalizados por Mole (1974), quien demostró que la fre-



cuencia de leucemia y de cánceres sólidos en la infancia es mayor tras la exposición prenatal a los rayos X, no sólo en los nacimientos únicos, sino también en los nacimientos de gemelos dizigóticos. La tasa de radiografías fue del 10% en los partos únicos y del 55% en los gemelos. Una frecuencia de exceso similar de leucemia y cánceres sólidos en los pacientes que recibieron rayos X con tales diferencias en las tasas de radiografías, muestra una evidencia de que la radiación es la causa.

El efecto de otros posibles factores que pudieran causar confusión tales como la posición en el parentesco, la edad maternal, y la clase social fueron considerados por Bithell y Stewart (1975) y por Kneale y Stewart (1976). En general, el riesgo relativo asociado con la exposición prenatal a los rayos X cambió muy poco tras el ajuste de estos factores (Muirhead y Kneale, 1989).

Otros estudios caso-control ofrecieron unas estimaciones sobre el riesgo relativo de cáncer asociado con la exposición *in utero* a los rayos X superiores a 1,0. Bithell (1989) ha demostrado que los riesgos relativos obtenidos de 13 estudios adicionales son coherentes con la información aportada en el OSCC, incluso aunque se refieren a diferentes poblaciones, y al hecho de que a veces los estudios difieren en su diseño y método de análisis. Excluyendo la encuesta del OSCC, la media ponderada de los riesgos relativos es de 1,36 (95%, IC: 1,20-1,51), que es significativamente mayor que la unidad y es coherente con la estimación de 1,4 obtenida de la encuesta

del OSCC. La inclusión de la estimación del OSCC arroja una media del riesgo relativo de 1,39 (95%, IC: 1,31-1,47).

Si bien no se ha observado un exceso de cáncer en la infancia entre las personas expuestas a la radiación *in utero* durante las bombas atómicas, sólo existe una evidencia dudosa de que estos resultados sean diferentes en una extensión estadísticamente significativa de los resultados hallados por el OSCC (Yoshimoto y col, 1994). Entre 1263 niños irradiados *in utero* y seguidos desde su nacimiento, aparecieron 2 casos de cáncer hasta los 15 años de edad, en comparación con 0,73 esperados de los índices nacionales japoneses (Yoshimoto, 1988). El límite superior resultante en el IC de 95% para el riesgo absoluto inducido por radiación es de $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ Gy}^{-1}$ (baja TLE). El seguimiento continuo mostró un exceso de cánceres en adultos entre las personas expuestas *in utero* a las radiaciones de la bomba atómica. En base al seguimiento hasta 1984, el riesgo relativo para 1 Gy fue estimado en 3,77, cifra similar a la observada en los supervivientes de las bombas atómicas que recibieron las radiaciones durante los 10 primeros años de su vida (Shimizu y col, 1990). La continuidad del seguimiento hasta 1989 sugirió un descenso consecutivo del riesgo relativo (Yoshimoto y col, 1994) acorde con el modelo indicado en el seguimiento anterior a los individuos expuestos a la radiación después de nacidos y a edades inferiores a los 10 años.

Doll y Wakeford (1997) han revisado recientemente la evidencia procedente de

estudios epidemiológicos sobre el riesgo de cáncer en la infancia debido a la exposición del feto *in utero* por motivos de diagnóstico radiológico. También consideraron los estudios limitados existentes sobre animales experimentales. Concluyeron que mientras hay información disponible de un número de estudios epidemiológicos, los datos más significativos provienen del OSCC (Oxford Survey of Childhood Cancer). Se concluyó que existe una fuerte evidencia respecto a la existencia de una relación causal con dosis de radiación recibidas por el feto de un orden de 10 mGy, lo que aumenta el riesgo de cáncer en la infancia en aproximadamente un 40%. Dado el bajo riesgo de cáncer en la infancia, el coeficiente de riesgo absoluto calculado es de aproximadamente un 6% por gray. El análisis apoya la opinión de que pequeñas dosis de radiación son potencialmente carcinogénicas. Un aspecto de los datos aportados por el OSCC, que aún permanece sin aclarar, es que el aumento del riesgo tanto para la leucemia como para los cánceres sólidos tras la exposición *in utero* es esencialmente el mismo.

7.3. Radiación de fondo

Estudios sobre la exposición a la radiación natural (distinta del radón) han implicado por regla general la búsqueda de una correlación geográfica con los índices de cáncer. Sin embargo, este tipo de estudios es difícil de interpretar dado el efecto de factores confusos tales como las variables sociodemográficas y otros factores que varían geográficamente.

8. RESUMEN DE LOS FACTORES DE RIESGO, PARA LA POBLACIÓN GENERAL Y LOS TRABAJADORES, UTILIZADOS PARA ESTABLECER LOS LÍMITES DE DOSIS

La Comisión Internacional sobre Protección Radiológica (ICRP, 1991a) considera hoy en día cuatro componentes del detrimento (efectos sobre la salud) debidos a la irradiación de los tejidos y órganos del organismo a bajas dosis, a la hora de evaluar los efectos globales de la radiación. Entre estos se incluye la probabilidad de cáncer mortal, la probabilidad de cáncer no mortal, la probabilidad de enfermedad grave hereditaria, (ambas ponderadas para la gravedad relacionada con el cáncer mortal), y la aparición escalonada en el tiempo de estos efectos perjudiciales. Los valores de gravedad ponderada global asignados a los cánceres no mortales y enfermedades graves hereditarias (incluyendo enfermedades multifactoriales) ascienden cada uno a aproximadamente una quinta parte del detrimento asociado con el cáncer mortal. En resumen, las cantidades de detrimento adicionales ascienden a $7,3 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ para una población determinada. Es ligeramente inferior ($5,6 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$) para la población de edad entre los 18 y los 64 años que está ocupacionalmente expuesta, si se toma en cuenta la omisión de las personas jóvenes que son más sensibles a la radiación y el menor período potencial medio de reproducción. Los factores de riesgo recomendados por la ICRP con fines de protección se resumen en la Tabla 6.

9. PERSPECTIVAS DE FUTURO

Queda un número importante de preguntas sin responder acerca de la evaluación de los riesgos de cáncer inducido por radiación en las poblaciones de seres humanos. Se dispone de información muy limitada sobre bajas dosis y tasas de dosis que son importantes para la protección contra la radiación, y los riesgos han de ser principalmente evaluados a partir de poblaciones expuestas a altas dosis de radiación y elevadas tasas de dosis, aplicando un factor de eficacia apropiado para la dosis y la tasa de dosis. Sin embargo, el incremento de estudios epidemiológicos sobre grupos de trabajadores de la industria nuclear están aportando información sobre las exposiciones a bajas dosis y tasas de dosis, aunque hoy por hoy, cualquier estimación del riesgo conlleva grandes incertidumbres asociadas con dicha estimación. Con el desarrollo de estos

estudios nacionales y mediante el intercambio de la información a nivel internacional, como se está haciendo por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, estas incertidumbres deberían ir desapareciendo con el tiempo. La proyección del riesgo para toda la vida permanece incierta, en particular para las personas expuestas en edades bajas, y se basa en gran medida en ajustes empíricos sobre datos epidemiológicos obtenidos hasta la fecha. El seguimiento continuo de las poblaciones expuestas, en particular los supervivientes japoneses a las bombas atómicas, es esencial para validar los modelos actuales. Parece posible, sin embargo, que los estudios epidemiológicos no puedan contestar a todas las preguntas sobre los efectos de la dosis, la tasa de dosis, la calidad de la radiación, y la sensibilidad individual a la inducción del cáncer. En último lugar, esto depende de un conocimiento

TABLA 6. Factores de riesgo para protección, 10^{-2} Sv^{-1} .

	ICRP 1977	ICRP 1991	
		Público	Trabajadores
Cáncer mortal	1,25	5,0	4,0
Defectos hereditarios	0,4 ^a	1,0 ^b	0,6 ^b
Total	1,65	6,0	4,6
Total (ponderado) ^c	—	7,3	5,6

a: Dos generaciones.
 b: Todas las generaciones.
 c: Para cánceres no mortales y pérdida de años de vida para cánceres y enfermedades hereditarias.



mucho más profundo de las respuestas de los tejidos a la radiación. Este mejor conocimiento podría producirse gracias a estudios en animales cuidadosamente controlados, y sobre todo a estudios celulares y moleculares sobre los mecanismos fundamentales involucrados en la inducción del cáncer.

REFERENCIAS

- Beirl IV. Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-emitters. National Academy press. Washington DC 1998.
- Beir V. Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. National Academy Press. Washington DC 1990.
- Bithell JF, and Stewart AM. Pre-natal irradiation and childhood malignancy: A review of British data from the Oxford Survey. Br. J. Cancer 1975; 35: 271-287.
- Bithell JF. Epidemiological studies of children irradiated *in utero*. p. 77-87 in: Low Dose Radiation: Biological Bases of Risk Assessment (K F Baverstock and J W Stather, eds.). Taylor and Francis, London 1989.
- Cardis E, Gilbert ES, Carpenter L, Howe G, Kato I, Armstrong BK, Beral V, Cowper G, Douglas A, Fix J, Fry SA, Kaldor J, Lavé C, Salmon L, Smith PC, Voelz GL, and Wiggs LD. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: Cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. Radiat. Res. 1995; 142: 117-132.
- Cox R, Muirhead CR, Stather JW, Edwards AA, and Little MP. Risk of Radiation-induced Cancer at Low Doses and Low Doses Rates for Radiation Protection Purposes. docs. NRPB 1995; 6: 1.
- Doll R, and Wakeford R. Risk of Childhood Cancer from Fetal Irradiation. Brit. J. Radiology 1997; 70: 130-139.
- Gilbert ES, Fry SA, Wiggs LD, Voelz GL, Cragle DL, and Petersen GR. Analyses of combined mortality data on workers at the Hanford site, Oak Ridge National Laboratory and Rocky Flats nuclear weapons plant. Radiat. Res. 1989; 120: 19-35.
- International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Oxford, Pergamon Press 1997.
- International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP 21 (1-3). Oxford, Pergamon Press (1991a).
- International Commission on Radiological Protection. The Biological Basis for Dose Limitation in the Skin. ICRP Publication 59. Annals of the ICRP, 22 (2). Oxford, Pergamon Press 1991b.
- Kendall GM, Muirhead CR, MacGibbon BH, O'Hagan JA, Conquest AJ, Goodill AA, Butland BK, Fell TP, Jackson DA, Webb MA, Haylock RGE, Thomas JM, and Silk, TJ. Mortality and occupational exposure to radiation: first analysis of the National Registry for Radiation Workers. Br. Med. J. 1992a; 304: 220-225.
- Kendall GM, Muirhead CR, MacGibbon BH, O'Hagan JA, Conquest AJ, Goodill AA, Butland BK, Fell TP, Jackson DA, Webb MA, Haylock RGE, Thomas JM, and Silk TJ. First analysis of the National Registry for Radiation Workers: occupational exposure of ionising radiation and mortality. Chilton, NRPB-R251 (London, HMSO) 1992b.
- Kneale GW, and Stewart AM. Mantel-Haenszel analysis of Oxford data. I. Independent effects of several birth factors including fetal irradiation. J. Natl. Cancer Inst. 1976; 56: 879-883.
- Knox EG, Stewart AM, Kneale GW, and Gilman EA. Prenatal irradiation and childhood cancer. J. Soc. Radiol. Prot. 1987; 7: 177-189.
- MacMahon B. Prenatal x-ray exposure and childhood cancer. J. Natl. Cancer Inst. 1962; 28: 1173-1191.
- Mays CW, Spiess H, Chemelevsky D, and Kellerer A. IN Proc. Symp. "The Radiobiology of Radium and Thorotrast". Eds. W. Gössner GB, Gerber J, Hagen A. Luz. Neuherberg 29-31 Oct, 1984. Strahlentherapie 1986; 80 Suppl. 14-21, pp 27-31.
- Miller AB, Howe GR, Sherman GJ, Lindsay JP, Yaffe MJ, Dinner PJ, Risch HA, and Preston DL. Mortality from breast cancer after irradiation during fluoroscopic examinations in patients being treated from tuberculosis. N. Eng. J. Med. 1989; 321: 1285-1289.

- Mole RH. Antenatal irradiation and childhood cancer. Causation or coincidence? *Br. J. Cancer* 1974; 30: 199-208.
- Monson RR, and MacMahon B. Prenatal x-ray exposure and cancer in children. p. 97-105 in: *Radiation Carcinogenesis: Epidemiology and Biological Significance* (J D Boice and J F Fraumeni, eds.). Raven Press, New York 1984.
- Muirhead CR, and Darby SC. Relative and absolute risk models for cancer mortality in ankylosing spondylitis patients. IN "Low Dose Radiation: Biological Bases of Risk Assessment" (Eds K F Baverstock and J W Stather). London, Taylor and Francis, pp 162-170 (1989).
- Muirhead CR, and Kneale GW. Prenatal irradiation and childhood cancer. *J. Radiol. Prot.* 1989; 9: 209-212.
- Muirhead CR, Cox R, Stather JW, MacGibbon BH, Edwards AA, and Haylock RGE. Estimates of late radiation risks to the UK population. *Docs. of NRPB*, 1993; 4: (4).
- Muirhead CR, and Kneale GW. Prenatal irradiation and childhood cancer. *J. Rad. Prot.* 1989; 9: 209-212.
- National Council on Radiation Protection and Measurements. Induction of thyroid cancer by ionising radiation. NCRP, Report No. 80. 1985.
- National Council on Radiation Protection and Measurements. Influence of dose and its distribution in time on dose-response relationship for low-LET radiation. Washington DC, NCRP Report No. 64. 1980.
- Pierce DA, and Vaeth M. Cancer risk estimation from the A-bomb survivors: Extrapolation to low doses, use of relative risk models and other uncertainties. In *Low Dose Radiation Biological Bases of Risk Assessment*, (Eds KF Baversstock and JW Stather). Taylor and Francis, London, 1989; pp 54-75.
- Pierce DA, Shimizu Y, Preston DL, Vaeth M, and Mabuchi K. studies of the mortality of atonic bomb survivors. Report 12, Part 1. Cancer: 1950-1990. *Radiat. Res.* 1996; 146, 1-27.
- Preston DL, and Pierce DA. The effects of changes in dosimetry on cancer mortality risk estimates in the atomic bomb survivors. Hiroshima, Radiation Effects Research Foundation, RERF TR 0-87 1987.
- Ron E, Modan B, and Preston DL *et al.* Thyroid neoplasia following low-dose radiation in childhood. *Radiat. Res.*, 1989; 120: 516-531.
- Ron E, Lubin JH, and Shore RE *et al.* Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiat. Res.* 1995; 141: 259-277.
- Rowland RE. Radium in Humans. A Review of US Studies. ANL/ER-3 UC-408 Argonne National Laboratory 1994.
- Rundo J, Keane AT, Lucas HF *et al.* Current 1984 status of the study of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra in humans at the Center for Human Biology. In Proc. Symp. "The Radiobiology of Radium and Thorotrast". Eds. W. Gössner, G B Gerber, U Hagen, A Luz. Neuherberg 29-31 Oct, 1984. *Strahlentherapie* 1986; 80 Suppl. 14-21.
- Schull WJ, Otake M, and Yoshimaru H. Effect on intelligence test score of prenatal exposure to ionising radiation in Hiroshima and Nagasaki: A comparison of the T65DR and DS86 dosimetry systems. Hiroshima, Radiation Effects Research Foundation, RERF TR3-88 1988.
- Shore RE, Woodard E, Hildreth N, Ovoretzky P, Hempleman L, and Pasternack BS. Thyroid tumours following thymus irradiation. *J. Natl. Cancer Inst.* 1985; 74: 1177-1184.
- Shore RE, Hildreth N, Ovoretzky P *et al.* Thyroid cancer among person given x-ray treatment in infancy for an enlarged thymus gland. *Am. J. Epidemiol.* 1993; 137: 1068-1080.
- Shimizu Y, Kato H, and Schull WJ. Studies of the Mortality of A-Bomb Survivors. 9. Mortality 1950-1985. Part 2. Cancer Mortality Based on the Recently Revised Doses (DS86). *Radiat. Res.* 1990; 121: 120-141.
- Spiess H. The Ra-224 Study: Past, Present and Future, In: Proc. Int. Seminar on Health Effects of Internally Deposited Radionuclides: Emphasis on Radium and Thorium, pp. 157-113. Eds G van Kaick, A Karaoglou and A M Kellerer. World Scientific, Singapore 1995.



- Stewart AM, Webb J, and Hewitt D. A survey of childhood malignanc. *Br. Med. J.* 1958; 1: 1495-1508.
- Stewart AM, and Kneale GW. Radiation dose effects in relation to obstetric x-rays and childhood cancers. *Lancet* 1970; 1185-1188.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionising radiation. 1977 report to the General Assembly, with annexes 1977.
- UNSCEAR. Ionizing Radiation: Levels and Effects. 1972 Report tot he General Assembly, with annexes. Vol. II. Effects. New York, United Nations 1972.
- UNSCEAR. Ionising Radiation: Sources and Biological Effects. 1982 Report to the General Assembly, with annexes 1982.
- UNSCEAR. Genetic and Somatic Effects of Ionising Radiation. Report to the General Assembly, with annexes 1986.
- UNSCEAR. Sources. Effects and Risks of Ionizing Radiation. 1988 Report to the General Assembly, with annexes 1988.
- UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. 1993 Report to the General Assembly, with annexes 1993.
- UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. 1994 Report to the General Assembly, with annexes 1994.
- van Kaick G, Muth H, and Kaul A. The German Thorotrast Study. Report No. EUR 9504 EN. Luxembourg CEC (quoted in BEIR IV) 1984.
- van Kaick G, Wesch H, Luehrs H, Liebermann D, and Kaul A. Epidemiological results and dosimetric calculations-an update of the German Thorotrast Study... In: Proc. Int. Seminar on Health Effects of Internally Deposited Radionuclides: Emphasis on Radium and Thorium, pp. 171-175. Eds. G van Kaick, A Karaoglou and AM Kellerer. World Scientific, Singapore 1995.
- Yoshimoto Y, Kato H, and Schull WJ: Risk of Cancer among children exposed *in utero* to A.-bomb radiations, 1950-84. *Lancet* 1988; 2: 665.
- Yoshimoto Y, Delongchamp R, and Mabuchi K. *In utero* exposed atomic bomb survivors: cancer risk update. *Lancet* 1994; 344: 345-346.



Entrevista con Annie Sugier, Presidenta Saliente de la Sociedad Francesa de Radioprotección



Ha trabajado en el sector del Ciclo del Combustible. Sus comienzos fueron en el Comisariado Francés de Energía Atómica, en el sector encargado del reprocesamiento, siendo su primer estudio la recuperación del neptunio 237. Posteriormente ha trabajado más específicamente en temas de desechos radiactivos. Ocupó el puesto de Directora del desmantelamiento en el Comisariado y en 1991 fue nombrada Directora y Delegada para la Radioprotección del Instituto de Protección y Seguridad Nuclear (IPSN). Así mismo, es miembro del Comité 4 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), del Grupo de Expertos para la aplicación del Artículo 31 del Tratado del EURATOM y del Comité de Protección Radiológica y Salud Pública de la NEA/OCDE.

Pregunta: ¿Puede hacernos una breve reseña histórica de la Sociedad Francesa de Radioprotección?

Respuesta: La SFRP se fundó hace 30 años, contando en la actualidad con 1.500 socios, representantes de los diferentes sectores profesionales, distribuidos de la siguiente manera: el 39% corresponde al sector nuclear, el 34 % a la investigación, el 12% al sector médico, el 9% a la industria y el 9% restante a otros sectores. La SFRP está estructurada en 4 secciones: Protección Radiológica Operacional, Investigación y Salud, Medio Ambiente y Radiaciones No Ionizantes. De esta manera, quedan cubiertas todas las áreas relacionadas con la protección radiológica.

P. El sector médico no está muy representado, ¿cuál es la razón?

R. Estos profesionales están integrados en diferentes sociedades médicas. Precisamente en este momento se están creando grupos de trabajo entre esas sociedades y la SFRP con objeto de establecer una cooperación más efectiva con este sector.

P. En los últimos cuatro años se ha producido un considerable incremento en el número de socios, pasando de 1.000 a 1.500. ¿Cuál ha sido la causa de este notable aumento?

R. Hace cuatro años se amplió la admisión de socios permitiendo la integración en la SFRP a los profesionales técnicos de áreas relacionadas con la protección radiológica. Pensamos que es necesario abrir la Sociedad a otros profesionales científicos.

P. El medio oficial de difusión de la SFRP es su revista RADIOPROTECCIÓN. ¿Cuál es la periodicidad de esta publicación?

R. En este momento tiene una periodicidad trimestral, aunque nos gustaría que fuera bimensual en un futuro, pero es difícil, ya que la edición de la revista es muy costosa.

P. ¿Cómo se financia la revista?

R. Nuestra revista no es capaz de autofinanciarse. Parte del coste se cubre con la publicidad que se inserta en ella y el resto lo aporta la Sociedad. Cuando se publica un número monográfico sobre un tema concreto, la edición es más cara, por lo que se intenta que la financiación esté incluida en la organización del evento, Congreso, Conferencia, etc. que va a ser objeto de la publicación.

P. ¿Qué difusión tiene la revista?

R. Se distribuye a todos los socios y a algunos países de la IRPA.

P. ¿ La revista RADIOPROTECTION se publica íntegramente en francés? ¿O publican artículos en otros idiomas?

R. En principio no es una publicación bilingüe, pero, en ocasiones, sí se aceptan artículos en inglés y se publican en ese idioma.

P. ¿ La SFRP ha realizado otras publicaciones además de su revista RADIOPROTECTION?

R. Sí, se han hecho algunas publicaciones. Se ha traducido al francés el ICRP-60 en colaboración con el IPSN. También se han publicado las Actas de una Conferencia que se celebró sobre Radiaciones No Ionizantes. Este documento fue realizado por la Sección de Radiaciones No Ionizantes de la SFRP. En este momento está en elaboración la traducción de la publicación sobre exposiciones médicas, razón por la que se ha creado un grupo de trabajo integrado por miembros de la SFRP y de sociedades médicas. Será una manera de dialogar sobre lo que es la cultura de Radioprotección y su integración en el sector médico.

P. ¿Qué papel considera que tienen las Sociedades Profesionales en la actualidad?

R. Las sociedades profesionales tienen que ser testigos directos, diciendo lo que ven y poniendo en conocimiento del gobierno lo que ocurre y es necesario cambiar. Las sociedades profesionales no pueden ser lobbies que defiendan, exclusivamente, sus propios intereses. Deben actuar como agentes profesiona-

les asesorando al gobierno. Este es, para mí, el papel fundamental de las sociedades profesionales. Un objetivo a lograr es mejorar la comunicación con las autoridades, potenciar el diálogo e intercambio de ideas con ellas. Un aspecto importante es que mantengan siempre una completa independencia.

P. Sabemos que mantienen estrecha colaboración con las Sociedades Italiana y Española de Radioprotección. Así mismo, han establecido en 1993 un convenio de colaboración con la Sociedad de la República Checa. ¿Van a ampliar sus relaciones de colaboración con otros países?

R. No, por el momento. Pero es muy importante no estar aislados, trabajar y compartir ideas con gente que tiene la misma cultura. Siempre se aprenden cosas. Sería una idea interesante la creación de una Federación de Sociedades de Radioprotección de los países de la Unión Europea.

A propósito de los intercambios, quisiera darle un ejemplo que me ha tocado vivir. Yo trabajé hace unos dos años en una Comisión Gubernamental que había creado el gobierno de Suecia para examinar el modo de trabajo de las Autoridades de Radioprotección Suecas. Le puedo asegurar que aprendí muchas cosas viendo cómo trabajaban y creo firmemente que algunas de sus ideas se pueden trasladar a nuestros países.

Siempre con relación a Suecia, pero en otro contexto, tuve la oportunidad de escuchar cosas muy interesantes sobre medicina preventiva y curativa. Los suecos, analizando los diferentes riesgos de enfermedad o accidente, han identificado

varios temas que se podrían erradicar totalmente. Las caries dentales constituyen un aspecto de salud que cuesta mucho dinero al Estado y que se puede curar preventivamente, estableciendo un programa de enseñanza para los niños. Cada dentista atiende a 30 ó 40 niños desde los 5 a los 15 años. El gobierno subvenciona económicamente al dentista si no hay caries. En la ejecución del programa se aprecia que casi desapareció este problema en la población. Esto es algo que nosotros, profesionales de la protección radiológica, podemos llevar a cabo. Hacer comprender que hay sectores en los que hay prioridades y dedicarles atención preferente, mientras que en otros no es tan necesario, aunque claro está, cada uno trata de recibir dinero del gobierno y el problema se complica.

La idea de la prevención es muy importante. La epidemiología permite hacer comprender a la gente si hay un peligro o no alrededor de determinados lugares o con ciertas actividades. Los países de Europa del Sur no tienen el mismo desarrollo en epidemiología que tienen los países de Europa del Norte. Nosotros, como Sociedad profesional, debemos actuar para que se elaboren buenos registros. Este es un tema técnico y político que el público puede comprender. Las Sociedades pueden empujar en esa dirección.

TRANSPOSICIÓN DE LA NUEVA DIRECTIVA

P. ¿En qué fase se encuentra la transposición de la nueva Directiva a la Reglamentación Francesa?

R. Estamos en la fase inicial. En el momento de publicarse la Nueva Directiva, se pidió a los juristas un análisis del

nuevo documento y una comparación con los textos legales franceses, con objeto de ver qué aspectos deberían modificarse, si era necesario un cambio total o sólo en pequeñas partes. Se ha constituido un «Comité de Transposición», dirigido por los Ministerios de Sanidad y de Trabajo, así como otros varios Ministerios. El IPSN y el OPRI (Organismo de control en Radioprotección) llevan a cabo el papel de apoyo técnico en el Comité.

P. ¿La SFRP no forma parte del Grupo de Trabajo creado para llevar a cabo la transposición de la Directiva?

R. No, porque se trata de un grupo interministerial, que tiene carácter gubernamental.

P. ¿La Nueva Directiva supone cambios importantes en el desarrollo de la protección radiológica en Francia?

R. La dosimetría es un tema de plena actualidad en Francia, ya que la reglamentación anterior francesa planteaba el problema del secreto médico, lo que impedía conocer las dosis y por tanto limitaba la posible acción para una optimización de la protección. No querían que los operadores conocieran la dosis, decían que era secreto médico, sólo querían que conociéramos las estadísticas sin conocer los nombres. Pero, de esa manera, no se puede hacer una optimización. La nueva Directiva plantea que los operadores, los servicios de protección radiológica, los médicos y los profesionales deben conocer la dosis individual. Además, habrá información e intercambio de las dosis cuando un profesional

vaya a una central de otro país europeo. Esto supone un gran avance.

P. ¿Qué problemas se pueden presentar en Francia en el momento de hacer la transposición de la Directiva?

R. La nueva Directiva afecta a 170.000 trabajadores, pero no creo que vayamos a tener grandes problemas. Actualmente hay ciertos trabajadores que reciben más de 20 mSv por año. Había 2.000, y ahora sólo quedan 1.200, lo que implica una considerable reducción de las dosis, pero hay que continuar con el esfuerzo. Hay aspectos nuevos, como la radiactividad natural, que no sabemos cómo se desarrollarán en la nueva Reglamentación. Otro aspecto novedoso es la aplicación de la restricción de dosis. El Grupo de Expertos del Artículo 31 ha publicado un documento relativo a ello. Ahora queda por hacer la segunda parte, dar ejemplos concretos para definir una buena práctica.

Otro tema importante es el de niveles de intervención. El Grupo de Expertos del Artículo 31 realizó una Guía en la que se proponen niveles de intervención para adoptar en situaciones de emergencia. Hasta ahora en la Reglamentación francesa no teníamos niveles de intervención, sólo teníamos una comunicación del Ministerio del Interior, y es importante integrar estos valores en nuestra Reglamentación. Pero todavía no sabemos como se hará. Sería interesante comparar lo que se va hacer en los distintos países.

La nueva Directiva plantea la necesidad de evaluar las situaciones, medir, cuantificar, y después decidir si se considera necesario actuar y si se trata de una práctica o una intervención. Debemos

comparar las experiencias entre nuestros diferentes países. No sé si en 1998 seremos capaces de dar experiencias concretas sobre este tema, ni lo que habremos hecho a nivel nacional.

En Francia tenemos una experiencia interesante con las tripulaciones aéreas. Air France ha realizado un informe sobre la radiación que reciben sus tripulaciones. En este área podremos aportar ideas novedosas.

P. En Francia se suscitó una polémica sobre la aceptación de ICRP-60. ¿Podría hacer algún comentario al respecto?

R. Sí, efectivamente, ciertos científicos consideraban que la reducción de límites no era científicamente justificable.

P. ¿Qué objetivos fundamentales tendrá el Congreso Hispano-Italo-Francés que se celebrará el próximo año en Barcelona?

R. El tema principal es la dosimetría, aunque el Congreso desarrollará todos los temas implicados en la protección radiológica.

P. ¿Considera que existe un interés adecuado respecto a los congresos científicos?

R. Creo que algo se ha perdido. Tenemos que tratar de inventar otro sistema de conferencias, congresos. Antes se presentaban más novedades científicas.

P. Durante su trayectoria profesional, ¿ha visto una evolución en la aceptación de la protección radiológica en los diferentes profesionales



relacionados con ella?. Es decir, ¿los trabajadores son más conscientes de la importancia que ésta tiene?

R. En los años pasados la protección radiológica era propiedad exclusiva de un número limitado de personas, los técnicos de protección. Los ingenieros no trataban de comprender, sólo querían saber si aquello estaba bien o no. La cultura de seguridad de radioprotección debe ser comprendida por todos. Yo tuve responsabilidades muy importantes en relación con los desechos radiactivos y el desmantelamiento, ambos temas con una relación muy directa con la radioprotección y yo no conocía nada de ello. Sabía los aspectos técnicos de los desechos radiactivos y del desmantelamiento pero la parte de radioprotección era para los especialistas. Si yo quiero explicar al público o a los gobernantes ciertas decisiones en relación con los desechos o el desmantelamiento es muy importante que yo pueda comprender lo que significa la radioprotección. No son campos separados. Las exposiciones potenciales son seguridad y, del mismo modo, las personas implicadas en la seguridad tratan de comprender la cultura de la radioprotección. Esta integración está cambiando. En Francia había algo muy especial que se recoge en las primeras páginas de la Reglamentación sobre la radioprotección, indicando que es el campo exclusivo de los médicos. En la misma se establece que la seguridad es el campo de la actividad de los ingenieros y esto no me parece adecuado.

Una dificultad que tenemos en mi país es que hay una organización muy diferente entre la seguridad y la radioprotección. En la seguridad hay grupos permanentes, es decir, grupos que están en apoyo de la autoridad de seguridad que examinan las

medidas, pero haría falta un diálogo a tres bandas. El papel del IPSN es observar todos los puntos que pueden ser criticados en el informe que presenta el Operador. Es lo que puede denominarse un trílogo. En ese grupo hay personas que tienen como especialidad la seguridad, y muy pocas la radioprotección. Nosotros quisiéramos tener grupos de ese tipo sobre la radioprotección, porque eso nos permitiría definir lo que es una buena práctica en radioprotección. Pero esos grupos no existían. Ahora se van a crear grupos específicos de radioprotección. Va a instituirse una Sección de Radioprotección en el Consejo de Higiene Pública, cuya función es aconsejar al Ministerio de Salud Pública. Pero no están muy acostumbrados a analizar los informes que presentan los industriales. Hay otra posibilidad, haciendo que los grupos de seguridad tengan reuniones especiales sobre los problemas industriales de radioprotección que son muy específicos y que están directamente en relación con una instalación y no se pueden separar artificialmente de la seguridad.

P. Parece verse un cambio generacional en la ICRP. Hay renovaciones en los comités. ¿Cuál es su opinión sobre este tema?

R. Siempre es una pérdida la jubilación de personas tan importantes. Muchos de ellos tienen algo que les falta a las nuevas generaciones, la base conceptual. Por ejemplo, el Dr. Jammot, en su momento, ha sido para mí un gran profesor. Aprendí muchísimo con él. Tenía una gran fuerza mental y una enorme lógica.

P. ¿Considera que las nuevas generaciones tienen menos formación?

R. No, yo no quiero decir eso. Pero sí es cierto que está fallando la formación. Ahora se aceptan los axiomas sin ninguna explicación. Sólo se sabe de la aplicación y no se piensa que existe un aspecto conceptual importante con la protección radiológica. Hay un fallo en la base de la formación. Se tiende más a la aplicación, perdiendo la perspectiva que dan los aspectos conceptuales.

P. Desde su posición como Presidenta de la SFRP, una Sociedad ya muy consolidada, ¿cómo ve el desarrollo de la SEPR?

R. Me parece que con la idea de organizar el IRPA 11, la SEPR puede aparecer como una de las Sociedades de cabecera en Europa, muy activa, representante en cierta manera de la Europa del Sur, que se conecta bien con Latinoamérica. La SEPR está en una situación geográfica que le permite representar, no sólo a España, sino también a Europa del Sur, África del Norte y Latinoamérica. Eso es muy especial. Ningún país tiene una situación así. Estoy segura que la reunión IRPA -11 tendrá componentes novedosos.

P. ¿Qué mensaje quiere enviar a los lectores de RADIOPROTECCION?

R. Pienso en un mensaje de apertura. Cada uno de nosotros no está para defender un interés sectorial. Debemos hablar con todos; los que luchan para algo, siempre merecen nuestra atención. Lo importante es demostrar que somos independientes, buenos profesionales, que en ciencia hay debates que enriquecen. Tenemos que saber escuchar diferentes opiniones.

ACUERDO DE COLABORACIÓN ENTRE LA SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA (SNE) Y LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA (SEPR)

1. INTERÉS DE LA COLABORACIÓN

Se trata de dos Sociedades profesionales de características similares, cuyos miembros comparten un campo de conocimientos y actividades muy amplio. Ambas tienen socios comunes, celebran Reuniones Generales de periodicidad anual o bianual, de estructura parecida y editan una revista.

La mayoría de socios de la SNE tienen una actividad profesional relacionada con la industria nuclear (instalaciones nucleares), abarcando grandes centros industriales e instituciones de enseñanza e investigación.

Los socios de la SEPR tienen en común una actividad profesional relacionada con la protección radiológica de trabajadores y público en los más diversos campos de actuación: medicina, industria, investigación, energía nuclear, docencia, administración, etc.

El estrechamiento de una colaboración institucionalizada entre las dos Sociedades redundará en una mejor utilización del potencial de actuación e influencia de sus socios miembros, contribuyendo a:

- Una mejora del conocimiento mutuo de sus socios y de sus actividades.



- Una ampliación del campo de conocimiento y disciplinas científico-técnicas asociadas a las actividades de ambas sociedades.
- Una optimización de los recursos disponibles (humanos, organizativos, medios de consulta y formación, etc.) para los profesionales que las integran.
- Una mayor repercusión y capacidad de información social de los temas de interés común, que pueden ser abordados de manera coordinada.

2. ALCANCE DEL ACUERDO

Sin perjuicio de ir considerando nuevas iniciativas de colaboración los puntos que inicialmente pueden considerarse por ambas Sociedades para el establecimiento de una colaboración son los siguientes:

1. Establecimiento de un Comité de Coordinación de las actividades a desarrollar en el marco de este

acuerdo formado por dos miembros, siendo cada uno de ellos un vocal de la Junta Directiva de cada Sociedad, que analizará las iniciativas de acción conjunta y efectuará las propuestas de actuación correspondientes.

2. Participación conjunta en Comisiones de trabajo, Conferencias, actos institucionales, publicaciones monográficas y en temas de interés común que puedan ser acordados por las respectivas Juntas a propuesta del Comité de Coordinación.

3. Colaboración de las Comisiones de Publicaciones de ambas Sociedades que permitan establecer acciones para un mayor intercambio de conocimientos entre los respectivos socios. En particular pueden señalarse diversas acciones puntuales tales como:

- Estudio sobre la viabilidad técnico-económica de intercambio de las respectivas Revistas de manera a alcanzar a socios interesados.
- Establecimiento en las respectivas Revistas de secciones de información que permitan conocer a los lectores noticias sobre las actividades de ambas sociedades.



- Favorecer y propiciar la publicación, en las Revistas, de artículos de interés para los socios de ambas Sociedades.

Por acuerdo mutuo de ambas juntas podrán ampliarse esos puntos de colaboración, a medida que la experiencia de desarrollo de este acuerdo lo aconseje, y las respectivas Juntas lo aprueben.

Reunidos en Madrid a 27 de Mayo de 1997, los anteriores Presidentes de la Sociedad Nuclear Española D. José Luis González y de la Sociedad Española de Protección Radiológica D. Leopoldo Arranz, promotores e iniciadores de un acercamiento y colaboración entre ambas Sociedades, y los Presidentes actuales D. Juan Estapé y D. Eduardo Sollet res-

pectivamente, una vez conocido y aprobado por ambas Juntas Directivas el contenido del presente ACUERDO DE COLABORACIÓN ENTRE LA SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA (SNE) Y LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA (SEPR), deciden firmarlo y proceder en consecuencia a su inmediata puesta en marcha.

PRESENTE Y FUTURO DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA: IMPLICACIONES DE LA NUEVA DIRECTIVA DE LA UNIÓN EUROPEA

El tratado de EURATOM de 1957 constitutivo de la actual Unión Europea prevé el establecimiento de Normas Básicas uniformes para la correcta protección sanitaria de la población y los trabajadores contra los riesgos que resulten de la exposición a radiaciones ionizantes.

La Directiva europea sobre Normas Básicas aprobada el 13 de mayo de 1996, revisión de las anteriores Directivas y elaborada a la luz de las últimas recomendaciones generales de la Publicación ICRP-60, ha sido objeto de debate en el seminario "Presente y futuro de la protección radiológica: Implicaciones de la nueva Directiva de la Unión Europea sobre normas básicas de protección" organizada por la SEPR y el CIEMAT y celebrada el pasado 28 de Abril en el Salón de Actos del CIEMAT.

El Seminario suscitó un gran interés entre el colectivo al que

afecta la nueva Directiva por lo que con la asistencia de más de 200 participantes se superaron todas las previsiones.

Durante el seminario se expuso el marco conceptual de la nueva Directiva y se discutieron sus implicaciones prácticas. Para facilitar el debate entre los participantes, se realizó en primer lugar una presentación sobre los nuevos conceptos introducidos por esta normativa.

La presentación hecha por D. Ignacio Amor del Consejo de Seguridad Nuclear, revisó los nuevos aspectos, que fueron discutidos en las mesas redondas poste-

riorios donde se analizaron las cuestiones más relevantes, desde el punto de vista técnico en la primera, y desde el punto legislativo en la segunda.

Durante la presentación de los aspectos más relevantes hecha por el Sr. Amor se destacó en primer lugar el importante protagonismo de nuestro país en el proceso de gestación y aprobación de la nueva directiva, en el que participaron, además de la representación permanente de España en Bruselas, el grupo asesor compuesto por representantes del Consejo de Seguridad Nuclear, Ministerio de Sanidad y Consumo, Ministerio de Trabajo, CIEMAT, ENRESA, ENUSA y del Sector Nucleoeléctrico.

Podríamos destacar algunos aspectos de especial relevancia tratados durante la conferencia:

- Ampliación del ámbito de aplicación a actividades labo-



rales que supongan una exposición significativa de los trabajadores o del público a fuentes de radiación natural.

- Las intervenciones en situaciones de exposición prolongada.
- La exención y desclasificación de materias radiactivas.

En cuanto al sistema de limitación de dosis:

- La rejustificación de prácticas.
- La restricción de dosis como factor fundamental en la Optimización.
- Los nuevos límites de dosis, la asignación de la dosis interna en términos de límites básicos.

Posteriormente se discutieron los aspectos ocupacionales y del público en la Mesa Redonda que, coordinada por D. David Cancio (CIEMAT), versó sobre los aspectos técnicos y que contó con representantes de los diversos sectores D. Pedro Carboneras (ENRESA), D. Jerónimo Iñiguez (UNESA), Dña. Pilar L. Franco (Ministerio de Sanidad), D. Antonio López (ENUSA), Dña. Conchy Martín (CECU) y D. Pedro Ortiz (Iberia).

En primer lugar, se analizó la importancia de la nueva directiva en el sector de la minería. Se expuso que en la minería, debido a sus especiales condiciones, la aplicación de la nueva directiva provocará un aumento del número de trabajadores profesionalmente expuestos incre-

mentando significativamente el número de trabajadores clasificados de categoría A, aproximadamente el 60% del total de la plantilla.

Dentro de la exposición profesional de los trabajadores de este sector, se incorporará la debida al fondo natural; aspecto importante en este sector será el aumento de los volúmenes de material sometidos al régimen de autorización/declaración.

Globalmente se estima que el coste de protección radiológica se incrementará el 20% aproximadamente, y que tendrá una repercusión en los costes operativos de la minería.

En relación a las Centrales Nucleares, la presentación mostró las implicaciones en la Protección de los trabajadores y público y en el área de residuos.

Respecto a los límites de dosis se indicó que en la transposición a la legislación nacional se debe mantener, tal como se recoge en la Directiva, el límite de dosis de 100 mSv/5 años. Desde el punto operativo del control se considera que no debería plantearse un sistema de contabilidad mensual de 60 meses consecutivos, sugiriendo el establecimiento de año natural como período unitario de cómputo.

Otro aspecto remarcado fue que la definición de responsabilidades no se encuentra suficientemente desarrollado en la Directiva, proponiendo que el futuro



Reglamento sea coherente con el Real Decreto sobre protección operacional de los trabajadores externos, distinguiendo de manera clara y concisa las responsabilidades asociadas a cada parte.

Asimismo se indicó que el futuro Reglamento, y en base a la vía de desclasificación introducida en la Directiva, debería recoger un esquema claro para la gestión de materiales procedentes de las Instalaciones Nucleares, estableciendo el umbral de radiactivo y no radiactivo (sea o no residuo).

Desde el punto de vista de la Empresa Nacional de Residuos se estima que la Directiva contiene, como elemento muy positivo, la viabilidad de aplicar la "exención" y la "desclasificación" (o desclasificación) en base a criterios radiológicos, si bien los valores concretos ofrecidos en el Anexo para su aplicación incondicional, se creen muy conservadores.

Se destacó que la distinción entre "práctica" e "intervenciones", plantea zonas grises o de indeterminación que resultan relevantes de cara a la cuantificación de los residuos que deben ser gestionados en un país.



El contenido de Título VII de la Directiva para el tratamiento de la exposición a la radiactividad natural, constituye un marco que está siendo ahora desarrollado y cuya transposición a la normativa nacional es básica. Destacando la atención especial que debe prestarse, en general, al desarrollo de la norma nacional que transponga la Directiva.

Desde el punto de vista del público, considerado como consumidor, se destacó el control sobre la importación de alimentos y productos de consumo en general.

La representante del sector médico estimó que la Directiva afectaría en el sector sanitario a la hora de dar el alta a pacientes sometidos a tratamientos de medicina nuclear valorando las dosis que pudieran recibir los familiares.

En la aviación comercial debe considerarse el tema en dos vertientes, la de la tripulación y la del pasaje habitual, aunque todavía no existen estudios profundos sobre la dosis recibidas, y se plantea analizar la evaluación de dosis de la tripulación y pasaje mediante métodos con

detalles de simulación que asignen automáticamente las dosis.

Tras las breves exposiciones se organizó un interesante debate. Un resumen de los diferentes temas se presentan a continuación:

- Para la estimación de dosis a tripulaciones, si se tiene en cuenta que la plantilla de Iberia es de 5000 personas, se entiende que el problema debe analizarse con detalle.
- Cómo llegar al ciudadano con una información clara garantizando que el lenguaje sea correctamente entendido, fue otro tema interesante objeto de debate.

La segunda mesa versó sobre los aspectos Legislativos, coordinada por D. Xavier Ortega (UPC) y contó con D. José Luis Butragueño (CSN), D. Javier Arana (MINER), Dña. Mercedes Bezares (Ministerio de Sanidad) y D. Mario Grau (Ministerio de Trabajo).

En esta mesa se analizaron los aspectos relacionados con la transposición a la reglamentación española desde el punto de vista de los Organismos implicados.

La Administración ha designado al Ministerio de Industria y Energía como responsable de la transposición de la Directiva y como Ministerios competentes a los de Trabajo y Asuntos Socia-

les, de Interior y Sanidad y Consumo. Por supuesto, también interviene el Consejo de Seguridad Nuclear dadas sus competencias en protección radiológica y seguridad.

El Sr. Butragueño informó sobre el estado actual de la transposición de la Directiva a la Normativa nacional.

En España, este proceso de transposición se ha iniciado mediante la identificación de qué documentos legales necesitaban modificación, principalmente:

- Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, RINR, donde se incorporan los procesos administrativos de autorizaciones y equivalentes.
- Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, RPSRI, que incorpora la mayoría de las disposiciones sobre Protección Radiológica propiamente dicha.
- El Plan Básico de Emergencia Nuclear, PLABEN, que incorpora aquellas disposiciones relativas a las emergencias radiológicas.

El Ministerio de Industria ya tenía en marcha el proceso para la revisión del RINR, en cuyo 5º borrador, se han incorporado las disposiciones de la Directiva sobre los procesos administrativos, tales como las condiciones de exclusión, exención, autorización, desclasificación, etc.

En relación con el RPSRI, también el Ministerio de Industria ha establecido un Grupo de Trabajo con representantes del Consejo de Seguridad Nuclear, los Ministerios de Trabajo y de Sanidad y Consumo y de la Dirección General de Protección Civil para preparar el borrador de este nuevo Reglamento.

Este Grupo solicitó del CSN la presentación, a principios de julio, de un primer documento para ser examinado por el Grupo a finales de septiembre, con el fin de disponer de un primer documento a finales de año.

Este texto será remitido oficialmente a los organismos y entidades interesadas en la Protección Radiológica para recabar sus comentarios y revisar el texto a lo largo de 1998.

Previsiblemente, se podrá disponer de un texto definitivo a principios de 1999,

que ya podría ser remitido a la UE para su revisión de acuerdo con el Artículo 33 del EURATOM, que pide que se ponga en conocimiento de la Comisión todo texto legislativo con seis meses de anticipación, para que la UE pueda confirmar que se adapta a la legislación comunitaria. Resueltos los posibles comentarios de la UE, los nuevos Reglamentos podrían ser publicados con el rango correspondiente, previsiblemente Reales Decretos, bien a finales de 1999 o a principios del año 2000, en todo caso con un margen razonable respecto del período que permite la propia Directiva.

La aplicación de la nueva Directiva de la U.E. sobre normas básicas de protección en el área sanitaria tiene varias vertientes, entre las que destaca la reducción de dosis a los trabajadores expuestos, a las embarazadas y a los miembros del público. En el caso de los profesionales, y a la vista de los resulta-

dos de sus controles dosimétricos, se puede presumir que su adaptación no va a suponer ningún problema. En el caso de las embarazadas, y probablemente también en el de los miembros del público, implicará tener que revisar algunas barreras estructurales.

Esta mesa no pudo abordar en toda su extensión la problemática asociada ya que lamentablemente no hubo tiempo suficiente para el coloquio.

El seminario fue clausurado por D. Anibal Martínez, (Vicepresidente del CSN), D. Eduardo Sollet (Presidente de la SEPR) y D. Francisco Mingot (Secretaría General de Relaciones Externas e Institucionales Ciemat). Durante la clausura del acto quedó de manifiesto el interés de la SEPR en colaborar con los Organismos relacionados en con la transposición de la Directiva a la Normativa Nacional.

AVANCES EN RADIOBIOLOGÍA (26-30 de mayo de 1997)

Este curso ha sido organizado por la Sociedad Española de Protección Radiológica en colaboración con el Consejo de Seguridad Nuclear y el CIEMAT, con el objeto de presentar los conocimientos más actuales sobre los efectos biológicos producidos por la radiación ionizante, prestando especial atención a aquellos efectos derivados de la exposición a dosis bajas.

La radiobiología es un campo de máxima actualidad, al aceptarse en foros inter-

nacionales la necesidad de profundizar en el conocimiento de los efectos estocásticos de la radiación para poder mejorar el sistema actual de Protección Radiológica (PR). En este contexto, el curso ha ofrecido la posibilidad a los profesionales vinculados con la PR de acercarse al estado actual del conocimiento de los efectos producidos en los seres vivos tras exposición a dosis bajas y bajas tasas de dosis (cáncer y efectos hereditarios). Se abordó el conocimiento que se tiene en la actualidad de dichos efectos, derivado

tanto de estudios epidemiológicos como de estudios experimentales; se abordaron las metodologías, aplicadas por organismos internacionales, para estimar el riesgo que supone para la salud la exposición a radiación. Asimismo, se presentaron los aspectos que según los organismos internacionales son prioritarios de resolver en el campo de la radiobiología, para en un futuro reducir las incertidumbres asociadas al cálculo del riesgo derivado de la exposición a radiación y las nuevas aproximaciones



que previsiblemente van a facilitar la consecución del objetivo de mejorar el sistema de PR.

Este curso estuvo especialmente dirigido a los profesionales del campo de la radiobiología, los Servicios de Salud Laboral y Servicios Médicos Especializados en el seguimiento de los trabajadores profesionalmente expuestos, así como a los expertos en Protección Radiológica que desean profundizar en el área de la Radiobiología.

El curso se impartió del 26 al 30 de mayo de 1997, con una duración de 5 días en jornadas de mañana y tarde. La mañana se dedicó a clases teóricas y las tardes a conferencias de asistencia libre impartidas por expertos internacionales en el campo de la radiobiología.



Estas conferencias profundizaron en algunos de los temas tratados en las clases teóricas.

El Dr. David Lloyds, de la NRPB, habló sobre la Dosimetría biológica ("Biological dosimetry: its role in radiological protection and in the management of irradiated person"). La Dra. Elisabeth Cardis expuso los últimos estudios del riesgo de cáncer debido a dosis bajas de radiación ionizan-

te ("Estudios epidemiológicos de las dosis bajas de radiación ionizante"). El Dr. Jean-Claude Nenot expuso "Accidentes epidemiológicos en Medicina" y, por último, el Dr. John W. Stather habló sobre los factores de riesgo de la radiación ionizante ("Ionising Radiation Risks on Radiation Protection Purposes").

El curso tuvo una gran aceptación y asistieron un total de 45 alumnos pertenecientes a las siguientes entidades: todas las Centrales Nucleares españolas, Consejo de Seguridad Nuclear, Tecnatom, Ibermutua, Proinsa, Enusa, CSIC, UNESA, GESTISA, Iberdrola, distintos hospitales de España y del CIEMAT.

Almudena Real, Susana Falcón

GRUPO DE TRABAJO DE LA SEPR PARA LA REVISIÓN DEL ACTUAL REGLAMENTO DE PROTECCIÓN SANITARIA CONTRA LAS RADIACIONES IONIZANTES

El 13 de mayo de 1996 el Consejo de la Unión Europea aprobó la Directiva 96/26/EURATOM por la que se establecen las normas básicas de protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. Esta Directiva incorpora las últimas recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica recogidas en la publicación ICRP-60. El plazo para incorporar la nueva Directiva a las reglamentaciones nacionales de los estados miembros de la Unión Europea finaliza en mayo del año 2000.

Para adaptar la legislación española a dicha Directiva, básicamente será necesario revisar el actual Reglamento de Protección Sanitaria publicado en el Real Decreto 53/1992.

En este sentido, la Sociedad Española de Protección Radiológica ha creado un Grupo de Trabajo, en el que pueden participar todos los socios interesados, para colaborar con la Administración en el proceso de revisión del actual reglamento. De forma preliminar, en este grupo se han incorporado socios que pertenecen a orga-

nismos, centros hospitalarios, industria, centros de investigación, empresas de servicios, etc., y se trata de identificar los aspectos más relevantes de la directiva que pueden generar problemas de interpretación o aplicación práctica en las distintas actividades sujetas a regulación.

Los comentarios y propuestas de actuación de los socios interesados, pueden dirigirse al Presidente de la Sociedad que actúa asimismo como Coordinador de este Grupo de Trabajo.

VII CONGRESO NACIONAL DE LA SEPR Y IV CONGRESO REGIONAL DE PAÍSES EUROPEOS DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL



	Martes 26	Miércoles 27	Jueves 28	Viernes 29
08.00 - 09.00			Curso de refresco	
09.00 - 11.00	PL1 Inauguración Conferencia	S3 Sesión Dosimetría	S4 Sesión Dosimetría	S5 Sesión Dosimetría
11.00 - 11.30	PL2	PL3	PL4	Conferencia Clausura
11.30 - 13.30	PLENARIA Inventarios en dosimetría	MESA REDONDA Dosimetría de los trabajadores		
13.30 - 15.30	Almuerzo	Almuerzo		
15.30 - 17.30	Inscripciones	S1 Sesión Dosimetría	S2 Sesión Dosimetría	P1 Sesión Radioprotección
17.30 - 19.00	Asamblea SEPR	P2 Sesión Radioprotección		
	Recepción	Acto Social	Cena Oficial	

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DEL PROGRAMA CIENTIFICO

El programa científico se ha estructurado de acuerdo con el carácter dual del Congreso, es decir, por una parte el desarrollo ordinario del VII Congreso de la SEPR y por otra parte la organización del IV Congreso Regional de Países Europeos del Mediterráneo Occidental, con la presencia de colegas franceses e italianos.

En el marco del VII Congreso Nacional se podrán presentar, como ya es habitual, los trabajos relacionados con la Protección Radiológica, en sus múltiples facetas:

- Protección Radiológica del público y del medio ambiente.
- Protección Radiológica de los trabajadores.
- Protección Radiológica de los pacientes.

- Efectos biológicos de las radiaciones.
- Normativa de la Protección Radiológica.
- Formación en Protección Radiológica.

Para facilitar una participación activa del máximo número de congresistas las comunicaciones aceptadas se presentarán en forma de póster, si bien, sus contenidos serán resumidos por diversos moderadores en el transcurso de dos sesiones en las que los asistentes podrán formular preguntas a los autores.

En el marco del IV Congreso Regional de países Europeos del Mediterráneo Occidental, en el que se esperan aportaciones de España, Francia e Italia, se ha escogido como tema monográfico la dosimetría. Las comunicaciones sobre dosimetría, que se someterán a la aceptación del Comité Científico, se clasificarán en los siguientes bloques temáticos:

- Dosimetría interna.
- Dosimetría en accidentes.
- Dosimetría ambiental.
- Dosimetría en pacientes.
- Dosimetría y control de calidad.
- Técnicas dosimétricas.
- Dosimetría de los trabajadores.
- Otros aspectos de la dosimetría.

El Comité Científico seleccionará las ponencias agrupándolas en temas, para tratar de establecer sesiones homogéneas y estructuradas, mediante presentación oral o póster.

Por otro lado, se han programado cuatro sesiones plenarias de interés general para todos los participantes, y por primera vez en los Congresos de la SEPR, se impartirá un curso de refresco que versará sobre Magnitudes y unidades en dosimetría, a cargo de D. A. Brosed.

ACTOS SOCIALES PARA PARTICIPANTES Y ACOMPAÑANTES

RECEPCIÓN DE BIENVENIDA

26 de Mayo de 1998 a las 19.00 horas.

RECEPCIÓN EN LA FUNDACIÓ MIRÓ

Miércoles, 27 de Mayo de 1998 a las 20.00 horas.

La Fundació Miró es un magnífico edificio obra del arquitecto Josep Lluís Sert. Esta recepción incluye una visita a la exposición de obras cedidas por Joan Miró, su familia, etc.



CENA OFICIAL EN EL AQUARIUM DE BARCELONA

Jueves, 28 de Mayo de 1998 a las 21.00 horas

El Congreso celebrará su Cena Oficial en el "Aquarium de Barcelona". Este centro marino tiene unas dimensiones únicas en Europa, y es uno de los más importantes del mundo por su temática Mediterránea. Sus puertas se abrirán en exclusiva para la Cena Oficial del Congreso.

FECHAS DE INTERÉS

- Fecha límite para la presentación de comunicaciones, 30 de Noviembre de 1997.
- Notificación de aceptación de comunicaciones, 1 de Marzo de 1998.

Los trabajos aceptados serán publicados en un número extraordinario de

la revista RADIOPROTECCIÓN, que será utilizado como documento de trabajo durante la celebración del Congreso.

Para la presentación y publicación de los trabajos en la revista RADIOPROTECCIÓN será imprescindible que al menos uno de los autores del mismo esté inscrito en el Congreso antes del 31 de Marzo de 1998.

FALLECIÓ VALENTÍN ALBA

El pasado 1 de Mayo falleció mi amigo, nuestro amigo, Valentín Alba González. Valentín era socio en activo de nuestra sociedad y fue socio fundador de la misma.

Valentín fue mi primer jefe y uno de los pocos con el que logré llegar a una amistad, para mí muy profunda y entrañable, de la que me siento muy orgulloso y muy honrado.

He compartido con él tantos momentos inolvidables, tanto dentro como fuera del trabajo, que su influencia de calidad humana ha marcado sin duda mi actividad profesional.

Valentín, en este mundo que nos toca vivir, era una excepción en muchas cosas. Valoraba ante todo a la persona, siempre estaba dispuesto al diálogo y a lograr un ambiente de trabajo en el que la gente se encontrara satisfecha.

Hemos viajado juntos a los EE.UU. durante largas estancias, compartiendo algunas veces casa cuando estuvimos haciendo los cursos de formación de protección radiológica en aquel país para la plantilla de explotación de CN Valde-



caballeros. Quiero expresar que todo el aprecio y cariño que siento por Valentín se fraguó más allá del trabajo y de la relación jefe-subordinado.

Pero ahora no quiero hablar en pasado. Para mí y para muchos de los que le queremos, Valentín nunca podrá irse de nuestros corazones; por eso voy a seguir en presente.

Valentín es uno de los mejores químicos de la industria de generación eléctrica de este país, desde luego para mí, el mejor. Su paso por la protección radiológica no ha sido ni mucho menos infructuoso. La mayoría de la gente no sabe la

clarividencia con la que en 1981 me hablaba de lo que tenía que ser el ALARA en la operación de las centrales nucleares.

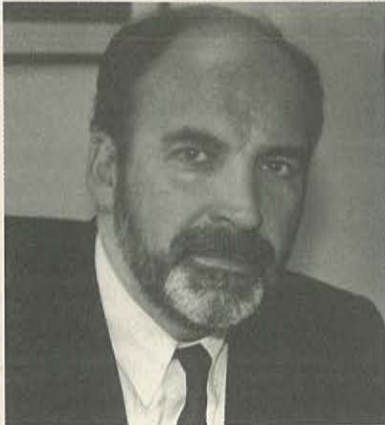
Qué pocas veces ejerce de jefe y cuantas de amigo. Es humilde y bueno, en el sentido más noble y cristiano de la palabra. Valentín es el paradigma del hombre bueno. También sé por Mari Carmen, su mujer, que es también mejor padre y esposo.

Es imposible en estas breves notas glosar la inmensa calidad humana de Valentín y no lo voy a pretender, pero yo lo sé y ese es mi premio y herencia de su inolvidable amistad.

Comentaba recientemente el presidente de un país sudamericano a raíz de la muerte en accidente de circulación de un hijo suyo, que el hombre está genéticamente preparado para asumir la muerte de los padres pero no la de los hijos. No le faltaba razón a ese padre desconsolado, pero yo tengo que añadir que tampoco lo estamos para la de los amigos, si los amigos se llaman Valentín Alba González.

Eduardo Sollet

JOSE L. GONZÁLEZ, PRESIDENTE DE ENUSA



José Luis González, de 49 años de edad, ha sido nombrado Presidente de ENUSA por la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI).

José L. González es Ingeniero Indus-

trial, especializado en Técnicas Energéticas, por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid.

Inició su carrera profesional, en 1972, en la Compañía 3M España, S.A. en la que trabajó, hasta 1975, en su departamento de Ingeniería de Proceso.

En 1975 ingresó en la Empresa Nacional del Uranio, S.A. (ENUSA) trabajando inicialmente en el licenciamiento y construcción de la Fábrica de Elementos Combustibles de Juzbado.

Posteriormente, fue nombrado Jefe del Departamento de Producción de la citada fábrica siendo el responsable de su

puesta en marcha que tuvo lugar en 1985.

En 1986 fue nombrado Director de la Fábrica de Juzbado, cargo en el que estuvo hasta 1993 en que pasó a desempeñar la Dirección de la División de Uranio de ENUSA.

Ha sido Presidente de la Sociedad Nuclear Española, Miembro del Comité Ejecutivo del Uranium Institute y Presidente del Grupo de Trabajo creado por el Comité Consultivo de la Agencia de Suministro de EURATOM.

En la actualidad es miembro de la Junta Directiva de la Sociedad Nuclear Europea y Presidente del Comité Consultivo de la Agencia de Suministro de EURATOM.

LUIS E. ECHÁVARRI LOZANO, NUEVO DIRECTOR GENERAL DE LA AGENCIA DE LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE

Luis E. Echávarri ha sido nombrado nuevo Director General de la Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE.

Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Bilbao y Licenciado en Ciencias de la Información por la Universidad Complutense de Madrid, ocupó el



cargo de Consejero del Consejo de Seguridad Nuclear de 1987 a 1994. Fue Miembro y Vicepresidente del Comité de Seguridad de Instalaciones Nucleares (CSNI) de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE de 1985 a 1994.

En la actualidad, es Director General del Foro de la Industria Nuclear Española, desde 1995.



NOMBRAMIENTO DEL NUEVO DIRECTOR DEL FORO NUCLEAR

D. Santiago San Antonio ha sido nombrado nuevo Director General del Foro de la Industria Nuclear Española en el último Consejo de Dirección. Santiago San Antonio (Madrid, 1946) es ingeniero industrial y desde 1972 ha ejercido su profesión en Tecnatom donde ocupaba el puesto de Director del Gabinete.

En 1981, fue el primer ingeniero residente en INPO (Instituto para Explotación de Centrales Nucleares) en representación de las centrales nucleares españolas y coordinador en España. También participó



D. Luis Echávarri que, tal como se indica previamente, ha sido designado Director General de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE.

El Foro de la Industria Nuclear Española, como asociación de las empresas españolas con actividades industriales relacionadas con el uso pacífico de la energía nuclear, en esta nueva etapa que se inicia tras su nombramiento, continuará desarrollando labores de coordinación y difusión de las diversas actuaciones de interés común de la industria nuclear. Uno de los objetivos del Foro Nuclear es informar a la opinión pública de la realidad del sector nuclear en nuestro país.

tanto en la creación como en la coordinación de WANO (World Association of Nuclear Operators). Santiago San Antonio ha sido miembro de la Junta Directiva de la Sociedad Nuclear Española.

D. Santiago San Antonio es el sucesor de

REAL DECRETO 220/1997 DE 14 DE FEBRERO POR EL QUE SE CREA Y REGULA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO OFICIAL DE ESPECIALISTA EN RADIOFÍSICA HOSPITALARIA

El pasado 1 de marzo publicó el Boletín Oficial del Estado el R.D. 220/1997 de 14 de febrero, por el que se crea y regula la obtención del título oficial de Especialista en Radiofísica Hospitalaria.

Este hecho que, sin duda, marca un hito en la historia de nuestra profesión, viene a coronar una etapa muy larga, en la que no se han escatimado esfuerzos, ni se han obviado dificultades, se han desarrollado muchas ilusiones y se han puesto en juego infinidad de esperanzas en pos de alcanzar un reconocimiento de nuestra profesión.

Este reconocimiento que, de hecho, se producía en cada uno de nuestro Hospitales, o mejor, de los servicios clínicos que nos buscaron y nos acogieron, adolecía con frecuencia de un apoyo administrativo y legal que ha dado lugar a no pocos problemas conocidos y compartidos por la mayoría de nosotros.

La aparición de este RD representa un hecho "discreto" en el "continuo" devenir de nuestra marcha por los hospitales. Es un hecho que nos llevará a nuevos horizontes, a nuevas formas de

plantearnos la profesión, a nuevas dificultades por vencer, y a situaciones que no por complejas van a ser menos atractivas.

Los orígenes de este RD, no se remontan a Leonardo Da Vinci ni a Galileo, como solemos referir cuando presentamos nuestra profesión, pero sí se puede decir, sin pecar de exagerados, que sus primeros barros se cocieron en los años setenta, cuando ya éramos un grupo nutrido (pocas decenas) de físicos en los hospitales que empezamos a tomar conciencia de nuestra

situación profesional, científica y laboral.

Se empezó buscando una infraestructura de unidad, y se creó la Sociedad Española de Física Médica (SEFM), estructura que se pretendía sirviera de cauce para canalizar las inquietudes científicas y profesionales. La necesidad de esta estructura superó todas las dificultades, sobre todo de desconocimiento legal, que tenían la mayoría de los que dieron origen a la SEFM.

Esta SEFM, que empezó siendo casi una reunión de amigos, ha sido capaz de abrirse camino en el mundo nacional e internacional de nuestra profesión, y ha sido, es y seguirá siendo la plataforma desde la que se emprenden y realizan nuestros esfuerzos, nuestras actividades y nuestros logros.

Posteriormente se creó la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR), que partiendo de miras más amplias, ya que acoge a los profesionales de la Protección Radiológica en todos los campos de actividad, también contempla las inquietudes de Protección Radiológica que se viven en el Hospital, y a los que las plantean, entre los que los Radiofísicos son un exponente importante.

Si en principio, años sesenta, se buscaba a físicos sólo para trabajar en Radioterapia, para resolver los problemas que la dosimetría en Radioterapia

plantea, la creciente complejidad de las tecnologías empleadas en la aplicación de las radiaciones en diagnóstico y terapia, ha ido creando la necesidad de que se amplíe el campo de acción de los físicos en los hospitales, y con ello la necesidad de los mismos.

Pero mientras estos hechos se producían en los hospitales, y la participación de los físicos en las actividades sanitarias de diagnóstico y terapia con radiaciones, se hacían cada vez más frecuentes, la Administración seguía ignorando la existencia de estos profesionales que, junto a los médicos, iban haciendo la medicina cada vez mejor.

Tratar de explicar a la Administración cuál era el papel y la responsabilidad de los físicos que trabajaban en los hospitales, ha supuesto una ardua tarea prolongada sin solución de continuidad desde los años setenta hasta nuestros días. Durante estos más de veinte años, se han sucedido grupos distintos de responsables de la Administración Sanitaria, a los que sucesivamente ha sido necesario exponer las razones de nuestra existencia, y la necesidad de crear un cuerpo profesional de Físicos de Hospital o Radiofísicos, dentro de Sanidad.

Durante este largo proceso, que se proponía identificarnos, se han encontrado interlocutores de la Administración de sensibilidades distintas; justo es reconocer y agradecer la acti-

tud de aquellos que entendieron e hicieron posible que nuestras propuestas cristalizaran en un proyecto que ahora ha visto la luz, y empieza a caminar.

Esta evolución de la profesión en España sigue la misma trayectoria que en el resto de los países de nuestro entorno. Así, la creación de este título oficial de Especialista, responde también a las exigencias derivadas de la Directiva 84/466 de la EURATOM, actualmente en fase de reedición, que fue traspuesta a nuestra legislación por el Real Decreto 1132/1990, de 14 de Septiembre, por la que se establecen medidas fundamentales de protección radiológica de las personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos con radiaciones.

Esta y otras normas de carácter legal relacionadas con el uso de radiaciones en Medicina están contribuyendo a modular la actividad sanitaria, que en éste, como en otros muchos campos, tiene un carácter claramente interdisciplinar.

La creación de un cuerpo profesional de Radiofísicos hospitalarios, tenía que ser el punto de partida para consolidar la profesión y para dar origen a una formación reglada de posgrado.

La diversidad y complejidad de las tareas de la Radiofísica desemboca, de forma ineludible, en la necesidad de crear un sistema de formación de



posgrado, para los futuros profesionales, que garantice una eficiente utilización de las radiaciones con fines sanitarios tanto en diagnóstico como en terapia.

Para la formación de posgrado de los Radiofísicos, que debe ser global e integrada, y contemplar tanto un componente académico/científico como profesional y práctico, se podrían haber adoptado distintas soluciones, pero todas ellas tenían que pasar ineludiblemente por la experiencia hospitalaria, que debería durar, como mínimo, tres años.

Sólo el hospital, con sus medios humanos y técnicos, puede ofrecer la formación integrada que los Radiofísicos necesitan.

Cuando el sistema MIR de formación de posgrado para médicos y otros profesionales de sanidad, había probado ya su eficacia, a lo largo de más de veinte años de existencia, parecía normal optar por un sistema semejante para la formación de los Radiofísicos. Esta ha sido la opción elegida por la Administración. Así se somete a todos los facultativos de sanidad a las mismas exigencias, y se les coloca en las mismas condiciones de formación y de responsabilidad.

Si bien el RD de la especialidad de Radiofísica se ha publicado el 1 de Marzo pasado, la formación de especialistas en Radiofísica a través del sistema MIR, empezó en 1994 con la publicación en el BOE de la primera convocatoria de residentes. Esta convocatoria, como las

que le siguieron, dio lugar a reacciones contradictorias, de estímulo e ilusión para unos y crítica para otros, que estimaban haber empezado la casa por el tejado, y a lo mejor temían que se cayera por falta de base.

En esta forma de actuar, empezando la casa por el tejado, iba el empeño de algunas personas que se habían propuesto sacar este proyecto adelante, y conociendo las dificultades que tal proyecto implicaba, sabían que en cada momento había que ir haciendo aquello que en ese momento fuera posible.

Las dificultades no han faltado tampoco durante estos cuatro años de formación de los residentes, y a veces el desaliento de los mayores y de los más jóvenes ha intentado frenar los ánimos de aquellos que, convencidos de que la tarea emprendida merecía la pena y por tanto iba a llegar a buen puerto, no querían ceder en el empeño de conseguirlo.

Con la ilusión de algunos, el tesón de otros y el esfuerzo de todos, ahora han acabado la residencia un grupo de Radiofísicos, que tras la dura competencia del examen de acceso, han realizado una formación, que a pesar de la falta de experiencia de todos, y de las múltiples dificultades que ha habido que salvar, se puede calificar de muy positiva. Todos ellos constituyen un grupo de profesionales de primera línea, y están dando a la profesión la calidad a la que ya no puede renunciar.

Además de estos primeros que ya comparten con los veteranos profesión y

experiencia, hay otros treinta y tantos residentes de las siguientes promociones en los hospitales, aportando savia nueva, recibiendo experiencias de sus compañeros y contribuyendo a que nuestra tarea sea cada vez más rica y atractiva.

El RD 220/1997 que acaba de ver la luz abre una puerta hacia el futuro que tampoco será fácil. El propio documento legal tampoco satisface a todos, lo que no deja de ser normal, ya que formamos un grupo compacto pero heterogéneo, y la elaboración de un documento de esta clase tampoco es tarea fácil.

Se entra ahora en una etapa inicial de puesta en marcha de este RD, en la que se hará la consolidación de la profesión y de sus actores que, sin duda, marcará el perfil de la especialidad.

Tras ella, habrá que recalificar los puestos de trabajo, habrá que establecer las necesidades de nuestros profesionales que la sociedad tiene, habrá que mejorar nuestros procedimientos, habrá que introducir nuevos métodos y tecnologías a la Medicina, habrá que fomentar la investigación en nuestro campo, habrá que seguir poniendo en el trabajo de cada día lo mejor de nuestra capacidad y de nuestra ilusión, para que la Medicina que se beneficia de nuestra participación sea cada vez mejor.

En fin, la aparición de este RD no es más que un paso adelante en nuestro trabajo de cada día.

M.ª Cruz Paredes

REUNIÓN INTERNACIONAL SOBRE LA REGULACIÓN A LARGO PLAZO DE LA SEGURIDAD DEL ALMACENAMIENTO DEFINITIVO DE RESIDUOS RADIACTIVOS (Córdoba, 20-23 enero 1997)

Como ya se publicó en nuestro número anterior (RADIOPROTECCION. Nº14 Vol V 1997), en Enero del presente año tuvo lugar en Córdoba una importante reunión internacional, propiciada por la AEN/OCDE y con el patrocinio del CSN y ENRESA, sobre el tema de la regulación de la seguridad a largo plazo de la disposición final de residuos radiactivos. En el transcurso de la reunión se constató un entendimiento general en los modos de garantizar la seguridad en los sistemas de almacenamiento en profundidad. Tras las interesantes y productivas discusiones que tuvieron lugar durante las diferentes sesiones técnicas, la reunión se cerró con una sesión de resumen y conclusiones, que, además, identificó los aspectos con necesidad de desarrollo adicional. Esta sesión estuvo centrada en las áreas de:

- Criterios y objetivos en la disposición de residuos radiactivos.
- Tendencias en la evaluación del comportamiento del sistema de almacenamiento.
- Revisión del proceso regulador.

En la primera de estas áreas, se presentaron opiniones relativas a las

posibilidades de expresar los criterios de seguridad en las regulaciones y de aplicarlos en la práctica, tanto en relación a la protección de los seres humanos como a la protección del medio ambiente, considerando las escalas de tiempo implicadas. Los principales aspectos identificados en los que se requieren desarrollos adicionales tienen que ver, fundamentalmente, con la interpretación y significado del concepto de riesgo y su utilidad en la evaluación de seguridad y contexto regulador.

En relación a la evaluación del comportamiento del sistema de almacenamiento, a pesar de ser este un aspecto cuyo estado de arte se encuentra en un punto adecuado de avance, se identificaron áreas con necesidad de mejora, clarificación y discusión, como puede ser la clarificación del significado de las evaluaciones en función de su uso para diferentes propósitos y en diferentes etapas del proceso, la mejora en el área específica del tratamiento de probabilidades, etc. Asimismo se identificó una necesidad de mejora en los aspectos de interpretación y comunicación de resultados, particularmente en el contexto de la participación pública y toma de decisiones.

En cuanto al proceso regulador se

refiere, se considera que debe basarse en elementos técnicos y científicos que sean proporcionados, de un lado, por las regulaciones nacionales y, por otro, mediante los análisis de seguridad realizados por proponentes de sistemas de almacenamiento y presentados a las autoridades reguladoras en los correspondientes procesos de licenciamiento. No obstante, el proceso regulador no puede limitarse a la sola consideración de los elementos técnicos y científicos, dado que su objetivo es conducir a decisiones que tengan en cuenta un rango más amplio de consideraciones, incluyendo elementos políticos y sociales procedentes del público y otros estamentos sociales. El desarrollo y publicación de criterios reguladores claros ("reglas del juego"), con suficiente anterioridad al proceso de licenciamiento, es considerado como tema de atención preferente en este área.

Se reseña finalmente que unos 80 expertos, entre científicos, técnicos y representantes de organismos reguladores y agencias responsables de los programas de gestión de residuos radiactivos, se dieron cita en la mencionada reunión. La participación española fue muy activa y estuvo encabezada por los presidentes del CSN Y ENRESA.



ARMONIZACIÓN INTERNACIONAL SOBRE EXCLUSIÓN, EXENCIÓN Y DESCLASIFICACIÓN DEL CONTROL REGLADOR OIEA - Viena, 6-9 de mayo 1997

Los días 6 al 9 de mayo se celebró en la sede del Organismo Internacional de Energía Atómica (Viena) una importante Reunión de Especialistas sobre la Aplicación de los conceptos de exclusión, exención y desclasificación: efectos en la gestión de los materiales radiactivos.

Los objetivos de la reunión ha sido:

- Proporcionar un foro en el que se puedan examinar las preocupaciones y problemas relacionados con la gestión reglamentaria de los materiales con muy bajo contenido radiactivo.
- Elaborar estrategias para resolver los problemas mediante la adopción de medidas en el plano internacional.
- Formular recomendaciones respecto de las actividades del Organismo relacionadas con la elaboración de material de orientación para las normas de seguridad.

La reunión se ha organizado en forma de taller, con seis sesiones de debate sobre temas concretos y la presentación de memorias seleccionadas por expertos en dos paneles de discusión sobre la elaboración y aplicación de los conceptos de exención y desclasificación.

A la reunión asistieron unos sesenta especialistas de veinte países. La represen-

tación española estuvo constituida por Dña. Julia López de la Higuera (CSN), D. Pedro Carboneras, Dña. M^a Teresa Ortiz (ENRESA) y Dña. Inmaculada Simón (CIEMAT).

A continuación se comenta el contenido de las diferentes sesiones.

SESION 1 - ESTADO DEL ARTE

Los conceptos de exclusión y exención fueron introducidos en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) de manera cualitativa. La exclusión aplica a los niveles de radiación de las fuentes naturales que son esencialmente incontrolables, tales como los rayos cósmicos, y a niveles naturales de radionucleidos en la corteza terrestre o el potasio 40 en el cuerpo humano. La exención se utiliza para eximir del control regulador las prácticas que sólo entrañan un impacto radiológico trivial. En general, ambos conceptos son herramientas que aseguran que materiales con muy bajo contenido en radiactividad no son sometidos a una reglamentación innecesaria.

En la publicación número 46 de la CIPR (1985) (1) sobre la disposición final de residuos radiactivos sólidos, se considera que una dosis individual del orden de 0.1 mSv al año puede ser tomada como trivial, y para tener en cuenta el efecto de diversas fuentes, el criterio de dosis individual recomendado es de 0.01

mSv al año. Además, se recomienda el criterio de un dosis colectiva anual de alrededor de 1 Sv.persona.

En estas publicaciones no se incluye el concepto de desclasificación.

Los conceptos actualizados de "exclusión" y "exención" se resumen en las Normas Básicas de Seguridad (NBS) (2) del OIEA (1996).

El concepto de "desclasificación" (en inglés, clearance), se aplica a los materiales originados en una práctica incluida en el sistema de control regulador, pero que pueden liberarse de los requisitos prescritos por las Normas siempre que se ajusten a los niveles de desclasificación aprobados por la Autoridad Reguladora. Dichos niveles deberán tener en cuenta los criterios radiológicos de exención especificados en el Anexo I y no deberán ser mayores que los niveles de exención, a no ser que la autoridad reguladora apruebe otra cosa teniendo en cuenta los criterios de dosis.

Este concepto es aceptado en la mayoría de los países, aunque no en todos. Por ello se presentan diversos problemas tales como, por ejemplo, en el transporte transfronterizo de metales utilizados en la industria nuclear.

De la definición de desclasificación, podría interpretarse que el término aplica

a materiales sólidos, líquidos y gaseosos. Sin embargo, según notas aclaratorias incluidas en las NBS se aclara que las descargas al medio ambiente se gobiernan por autorizaciones más que por desclasificación. Dadas estas consideraciones, el concepto de desclasificación parece quedar restringido solamente a la salida de materiales sólidos del sistema regulador.

La aplicación de estos conceptos para uso en la práctica requiere del establecimiento de valores cuantitativos.

Según las NBS, una práctica en su totalidad o una fuente dentro de una práctica puede ser exenta sin mayor consideración si se cumplen los siguientes criterios en las situaciones previsibles:

- La dosis efectiva que previsiblemente recibirá cualquier miembro del público a causa de la práctica o la fuente exenta sea del orden de 10 μ Sv o menos en un año; y
- Que la dosis colectiva comprometida resultante de un año de realización de la práctica no sea superior a 1 Sv.hombre, aproximadamente, o bien que una evaluación de la optimización de la protección demuestre que la exención es la opción óptima.

En las NBS se detallan valores de niveles de exención, basados en la modelización de escenarios seleccionados. Los valores de exención presentados en este documento son coherentes con los que figuran en la Directiva 96/29/Euratom del

Consejo Europeo (5), que a su vez están tomados de un proyecto financiado por la Comisión Europea (CE) y realizado de manera conjunta por el NRPB (Reino Unido) y el IPSN (Francia) (6).

En este sentido, hay que resaltar que algunos puntos necesitan ser clarificados. Un ejemplo lo constituye la limitación del concepto de descarga a los gases y líquidos, mientras que la desclasificación se refiere solamente a materiales sólidos.

SESION 2 - PUNTO DE VISTA DEL REGULADOR Y ASPECTOS REGIONALES

En esta sesión se describieron características de los sistemas reguladores de EEUU, Sudáfrica, Reino Unido, y la Unión Europea así como las Regulaciones sobre transporte del OIEA.

Los puntos más relevantes en la discusión pueden resumirse en lo siguiente:

1. La necesidad de unas guías para la salida del control regulador de materiales de construcción y tierras contaminadas, por ejemplo, procedentes del desmantelamiento.
2. El actual documento borrador internacional sobre niveles de desclasificación (3) no parece adecuado para la aplicación a varios tipos de residuos procedentes de la minería e industrias de procesamiento de minerales ya que no incluye la contribución del Radón.

SESION 3 - PERSPECTIVA DE LOS IMPLEMENTADORES

Las presentaciones en esta sesión fueron por parte de Reino Unido, Sudáfrica y Holanda.

Los aspectos discutidos fueron:

1. La utilización de una lista común de valores para exención y desclasificación, ya que solamente expertos en esta materia discernen entre ambos conceptos que pueden inducir a error en el público. Los valores de exención/desclasificación están dentro de un factor de 100, siendo generalmente menor e iguales en algunos casos. Por tanto, se plantea la cuestión del uso de estos valores también para desclasificación, con modificaciones si fuera necesario, que permitan por ejemplo considerar grandes cantidades de material.
2. Los niveles de exención presentados en (2) y los propuestos para desclasificación son calificados como demasiado conservadores, debido a: a) demasiado énfasis en el valor del criterio de dosis de 10 μ Sv/y, en lugar de aplicar la terminología "del orden de 10 μ Sv/y" y (b) la aplicación de hipótesis conservadoras en la modelización para derivar los niveles de exención y desclasificación.
3. En las presentaciones sobre minería e industrias de procesamiento de minerales, se prestó atención especial a las dificultades de aplicar los conceptos de exención/desclasificación en



situaciones donde la tasa de dosis debida a materiales radiactivos naturales en los suelos es medible e incluso a veces elevada. En estas situaciones, es imposible distinguir las decenas de microSieverts adicionales frente a la contribución del fondo natural. En estas circunstancias, se sugiere que el nivel de exención debería relacionarse con el fondo natural de dosis (por ejemplo, como porcentaje de contribución respecto al fondo).

4. Los valores recogidos en las Normas Básicas de Seguridad para exención pueden tener asimismo una potencial repercusión en industrias no-nucleares. Se requieren soluciones pragmáticas para las corrientes de residuos de las industrias del carbón, acero, gas, oro, cobre, petróleo, fosfatos y circonio.

SESION 4 - ESTRATEGIAS EN LA REGULACION A NIVEL NACIONAL

En esta sesión, las presentaciones se realizaron por parte de Alemania y Francia. Ambas posturas, en principio, presentan diferencias:

- La estrategia alemana se basa en el principio de la desclasificación del control del regulador; y la consecuencia es que el material desclasificado es considerado como no-radiactivo.
- La estrategia francesa se basa en la definición de zonas físicas nucleares y no-nucleares. Los residuos de las zonas no-nucleares se tratan como residuos no-radiactivos, mientras que

los que provienen de las zonas nucleares se gestionan de acuerdo a unas vías específicas, dependiendo de los niveles de actividad y longevidad de la radiactividad. No existen por tanto niveles de desclasificación universales.

En cambio, concuerdan en los siguientes aspectos:

- Ambas aproximaciones se refieren de manera exclusiva a actividades dentro del ciclo del combustible y, de manera explícita, no consideran materiales radiactivos de origen natural.
- Ambas estrategias se basan en la trazabilidad y la aplicación de un sistema de garantía de calidad.
- Ambas se basan en el concepto de la definición de residuos no-radiactivos, utilizando niveles de muy baja actividad para esa definición.

Este aspecto provocó las mayores discusiones.

SESION 5 - BASES TÉCNICAS PARA LAS RECOMENDACIONES DE LOS NIVELES DE EXENCION Y DE DESCLASIFICACION

Se concluyen los siguientes puntos:

- La conveniencia de la revisión del documento Safety Series 89 del OIEA (4) para la incorporación de los conceptos de desclasificación y exclusión, así como el concepto de exposición potencial.

- Las evaluaciones realizadas para derivar los niveles de exención y desclasificación necesitan de la determinación de valores de parámetros para la modelización de los escenarios considerados como relevantes. En este sentido, se sugirió explorar la utilización de técnicas estocásticas tanto para los valores de los parámetros como para la incertidumbre en los valores resultantes de dosis.

- La dilución deliberada del material radiactivo para alcanzar los niveles de exención/desclasificación no está permitida.

- Deben tenerse en cuenta aspectos no-radiológicos, como la toxicidad química, de los materiales en la decisión de las opciones de gestión.

SESION 6 - PRACTICAS ACTUALES PARA LA GESTION Y CONTROL

En esta sesión se presentaron situaciones de exposición a materiales radiactivos de origen natural, el reciclado y re-utilización de metales, movimientos transfronterizos, o desmantelamiento de instalaciones. Los aspectos más destacados se resumen en:

- La necesidad de dar soporte a la industria en la identificación de posibles situaciones con exposiciones significativas.
- Necesidad de guías para las operaciones de vigilancia de la radiactividad en movimientos transfronterizos, tanto para pequeñas cantidades como para grandes volúmenes así como los criterios de aceptación.

Durante las presentaciones, la nomenclatura seguida por los ponentes ha mostrado sus diferencias. En este sentido es necesaria la explicación clara de los conceptos en documentos internacionales, de manera que facilite las discusiones a nivel técnico y evite mensajes erróneos o percepciones poco claras por parte del público.

REFERENCIAS

(1). International Commission on Radiological Protection. Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste, ICRP Publication 46, Pergamon Press (1985).

(2). International Atomic Energy Agency. International Basic Safety Standards for

Protection against Ionising Radiation and for the Safety of Sources. Jointly sponsored by FAO, IAEA, ILO, OCDE/NEA, PAHO, WHO, Safety Series No.115.IAEA, Vienna (1996).

(3). International Atomic Energy Agency, Clearance levels for radionuclides in solid materials: application of exemption principles - interim report for comment, IAEA-TECDOC-855, Vienna (1996).

(4). International Atomic Energy Agency, Principles for the exemption of radiation sources and practices from regulatory control, Safety Series No 89, Vienna (1988).

(5). Directiva 96/29/Euratom del Consejo, de 13 de Mayo 1996, por la que se

establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, Vol. 39 (1996).

(6). Harvey M. P., Mobbs., Cooper J., Chapuis A-M., Sugier A., Schneider T., Lochard J., Janssens A., Principles and methods for establishing concentrations and quantities (exemption levels) below which reporting is not required in the European Directive, Radiation Protection No 65, EC Doc XI-028/93, Luxembourg (1993).

Inmaculada Simón
Programa de Impacto Radiológico Ambiental en la Operación. CIEMAT

REAL DECRETO SOBRE PROTECCIÓN OPERACIONAL DE LOS TRABAJADORES EXTERNOS

El pasado 16 de abril se publicó el Real Decreto 413/1997, de 21 de Marzo, sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada. Este Real Decreto representa la adaptación a la normativa nacional de la Directiva 90/641/Euratom, relativa al mismo tema.

A continuación se expone los aspectos más importantes que introduce este Real Decreto:

DEFINICIONES

Contempla y distingue las figuras de: Trabajador Externo, Titular de la Instalación y Empresa Externa.

PROCEDIMIENTO DE DECLARACIÓN DE LAS ACTIVIDADES A REALIZAR POR LAS EMPRESAS EXTERNAS

Aquellas Empresas Externas, cuyos trabajadores realizan actividades en zona controlada, están obligadas a presentar una declaración, inscribiéndose en el Registro de Empresas Externas a crear en el Consejo de Seguridad Nuclear. Las Empresas Externas están obligadas a registrarse en el plazo de seis meses, a partir del momento de su creación.

Los datos a suministrar serán: Identificación de la empresa, Razón social, Cód-

igo de identificación fiscal, Actividad que desarrolla y Declaración jurada de disponer los medios técnicos y humanos para cumplir con lo establecido en la norma.

El Consejo de Seguridad Nuclear podrá realizar los controles e inspecciones que considere oportunos para verificar la autenticidad de los datos suministrados, así como el cumplimiento de las Obligaciones de este Real Decreto.

OBLIGACIONES DE LA EMPRESA EXTERNA

- Respetar y hacer respetar los principios básicos y las normas de protección recogidos en los artículos 4 a 11



del Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes.

- Proporcionar a sus trabajadores la información y formación relativas a la P.R. exigidas en la ejecución de sus trabajos.
- Controlar las dosis recibidas por sus trabajadores, mantener los archivos dosimétricos correspondientes y registrar en el documento individual de seguimiento radiológico las dosis asignadas por el sistema dosimétrico oficial.
- Solicitar del CSN y asignar a cada trabajador este documento y garantizar que dicho documento está actualizado.
- Mantener la vigilancia médica de sus trabajadores.

OBLIGACIONES DEL TITULAR DE LA INSTALACIÓN

- Asegurarse que la Empresa Externa está inscrita en el Registro citado previamente, que el trabajador es apto desde el punto de vista médico, que ha recibido la formación básica, que está sometido a un control dosimétrico

individual oficial, que los datos dosimétricos están completos y que tiene a su disposición los equipos de protección individual necesarios suministrándose, en su caso, el material específico que haya de utilizarse en el área de trabajo de zona controlada.

- Comprobar que las condiciones dosimétricas del trabajador son adecuadas a la naturaleza de la intervención.
- Proporcionar la información y la formación específica.
- Tras la intervención, registrar en el documento individual de seguimiento radiológico los datos referentes a instalación, período de la intervención, dosis operacional estimada y dosis interna determinada por servicios técnicos dependientes del titular.

OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES EXTERNOS

Todo trabajador externo tiene la obligación de colaborar con los responsables de P.R. tanto de su empresa como del titular de la instalación.

DOCUMENTO INDIVIDUAL PARA EL SEGUIMIENTO RADIOLÓGICO

Este documento es el equivalente al actual Carné Radiológico, siendo un documento público, personal e intransferible. Este es expedido, conjuntamente a su número de identificación, por el CSN, quien tiene la facultad de establecer su formato y contenido, así como modificaciones del mismo.

Este documento debe comprender la siguiente información:

- AL ASIGNAR EL DOCUMENTO: Identificación del trabajador, Datos dosimétricos previos e Identificación de la empresa a la que pertenece.
- ANTES DEL INICIO DE UNA INTERVENCIÓN: Clasificación médica, Fecha del último examen médico, Datos dosimétricos actualizados y Datos de formación básica.
- AL TÉRMINO DE UNA INTERVENCIÓN: Identificación de la Instalación, Período cubierto por la intervención, Dosis operacional, Dosis oficial, Dosis comprometida por contaminación interna y Dosis equivalente efectiva.

CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE BAJAS DOSIS DE RADIACIÓN: SUS EFECTOS BIOLÓGICOS Y SU CONTROL REGULADOR

OBJETIVO

La Conferencia Internacional que tendrá lugar el próximo mes de noviembre en Sevilla, tiene por objetivo fomentar el intercambio de información sobre los efectos

biológicos y en la salud de las dosis bajas de radiación ionizante, y sobre los aspectos reguladores del control de estas dosis, con el propósito global de promover el consenso internacional en cuanto a las cuestiones asociadas a estos temas.

TEMAS DE LA CONFERENCIA

En la esfera de la biología y la salud se examinarán los siguientes temas principales:

- Mecanismos moleculares de los efectos

tos radiológicos: mutaciones puntuales y mutaciones clastogénicas.

- Respuestas adaptativas: reparación y apoptosis mejoradas por radiación.
- Promoción y progresión de tumores malignos radioinducidos.
- Efectos radiológicos en células germinales: desórdenes hereditarios.
- Resultados radioepidemiológicos: poblaciones humanas; extrapolación de experimentos en animales.
- Estimaciones de riesgo y detrimento radiológico.

Con relación a los aspectos reguladores, se examinarán los siguientes temas principales:

- Control de las dosis bajas añadidas mediante prácticas habituales.
- Reducción de las dosis bajas existentes mediante intervención.
- Interacción entre el control regulador y los titulares de licencias en la aplicación de las normas de seguridad.
- Interacción entre el control regulador y la investigación científica.

ORGANIZACIÓN

La Conferencia está organizada conjuntamente por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), en cooperación con el Comité Científico de las Nacionales Unidas para el Estudio de los

Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR). España ha accedido a acoger esta conferencia y a facilitar su organización mediante su grupo de instituciones españolas (CSN, ENRESA, ENUSA, UNESA y CIEMAT), dirigido por el Consejo de Seguridad Nuclear. Asimismo, en apoyo de la conferencia y en el programa social, participan otras organizaciones regionales y locales como la Junta de Andalucía, Ayuntamiento, Diputación, Servicio Andaluz de Salud y Universidad de Sevilla.

COMITÉ DE PROGRAMAS

- Roger Clarke (Gran Bretaña). Presidente.
- Kiyohiko Mabuchi (Japón).
- Warren Sinclair (USA).
- José L. Butragueño (España).
- Franz Flakus (OIEA).
- G. Souchkevitch (OMS).
- Burton Bennet (UNSCEAR).

COMITÉ ORGANIZADOR

- Javier Reig (CSN). Presidente.
- Pedro Carboneras (ENRESA).
- Antonio López (ENUSA).
- Pío Carmena (UNESA).
- David Cancio (CIEMAT).
- José L. Butragueño (CSN).
- Leopoldo Arranz (SEPR).
- Miguel Herrador (SAS).
- Eliseo Vañó (UCM).

- Rafael Herranz (Hosp. G. Marañón).
- Felipe Cortés (Univ. Sevilla).
- Gustavo López (CSN).
- Nieves Artajo (CSN).
- Nieves García (CSN). Secretaria.

INFORMACIÓN GENERAL

Fechas: Del 17 al 21 de noviembre de 1997 en Sevilla.

Sede: Hotel Meliá Sevilla. C/ Doctor Pedro de Castro, 1 - 41004 Sevilla.

Idioma: Los idiomas de trabajo de la conferencia serán el español y el inglés. Se facilitará traducción simultánea.

Plazos: La presentación de memorias reducidas (4 hojas) finaliza el 25 de agosto de 1997, debiéndose enviar al CSN (Atn. D. Javier Reig) para su posterior envío al OIEA.

SECRETARÍA DE LA CONFERENCIA

Organismo Internacional de Energía Atómica.
IAEA-CN-67
Wagramerstrasse, 5
P.O. Box 100
A-1400 Viena (Austria),
Europa
Telefax: 43-1-20607 /
Correo electrónico:
IAEO@IAEA1.IAEA.OR.AT

PRÓXIMA EDICIÓN DE DOS LIBROS POR EL OIEA

Al objeto de conmemorar el 40 aniversario de su fundación, el OIEA está a punto de editar dos libros:

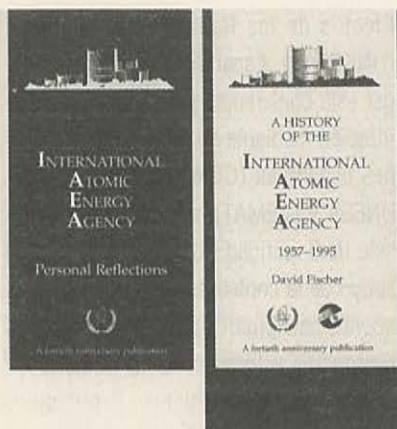
una historia del Organismo y una colección de reflexiones personales: «A History of the International Atomic Energy Agency.

1957-1995» David Fischer, e «International Atomic Energy Agency. Personal Reflections». El primero de ellos, está



siendo coordinado conjuntamente con el Monterey Institute of International Studies, Monterey, California, que ha comisionado a David Fischer, antiguo Director General Adjunto, como autor. El libro cubre un periodo que va desde Diciembre de 1953, fecha en la que el General Eisenhower pronunció ante la Asamblea General de las Naciones Unidas el discurso de Atomos para la Paz, hasta el final de 1995, año en el que el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares adquirió carácter permanente. Aunque el énfasis principal está puesto en el desarrollo del primer sistema, internacionalmente acordado, de inspección «in situ» —salvaguardias nucleares— y en el trabajo del OIEA relacionado con la energía nuclear y la seguridad nuclear, el libro repasa también los aspectos menos conocidos de transferencias de técnicas nucleares en agricultura, hidrología, medicina, industria y control ambiental, a países en vías de desarrollo.

El autor evalúa los principales logros y contratiempos en la historia del Organismo



mo y las lecciones aprendidas de ellos, al mismo tiempo que discute hasta donde se han cumplido los fines originales. Otros temas especialmente tratados son el papel del OIEA, incluso durante el periodo de la llamada «guerra fría», como instrumento de cooperación Este-Oeste en la aplicación de las salvaguardias nucleares, el impacto de los accidentes de Three Mile Islands y Chernobyl en la industria nuclear y el descubrimiento de las actividades nucleares clandestinas en Irán.

El segundo libro contiene un conjunto de

reflexiones escritas por un distinguido grupo de científicos y diplomáticos que estuvieron implicados en el establecimiento del OIEA o en la dirección y ejecución de sus tareas. El libro representa una colección de «ensayos menos formales» que ofrecen una visión personal y complementaria sobre algunos de los temas tratados en el libro anteriormente citado de historia del OIEA.

Ambos libros saldrán a la luz en septiembre de este año, coincidiendo con la conmemoración de la primera reunión de la Conferencia General del Organismo y podrán adquirirse conjunta o separadamente a los siguientes precios:

- History of the International Atomic Energy Agency 1957-1995: AS 400.
- The International Atomic Energy Agency: Personal Reflections: AS 260.

Precio especial para el conjunto: AS 560.

Información: Tel. (43) 1 2060-22529. Fax (43) 1 2060-29302. E-mail: sales-pub@adpo1.iaea.or.at.

• FLASHES INFORMATIVOS •

■ CIEMAT, eslabón entre la investigación básica y la industrial

El pasado 8 de mayo, D. Félix Indurain, Director de CIEMAT, presentó a los medios de comunicación la reestructuración realizada en el Organismo, tras la publicación de un Real Decreto aprobado por el gobierno, el pasado 8 de febrero.

CIEMAT, en su calidad de Organismo Público de investigación tecnológico, dependiente del Ministerio de Industria y Energía, actúa como eslabón entre la investigación básica y la industria, desarrollando proyectos de investigación de vanguardia en el campo de la energía, con objeto de conseguir la incorporación de las tecnologías energéticas en la sociedad de la manera más rentable posible y con el mínimo impacto ambiental. Así mismo, tiene

• FLASHES INFORMATIVOS •

capacidad para actuar como asesor de las autoridades nacionales en temas de tecnología y estrategia energética.

■ Grupo anti-hipótesis lineal sin umbral

«Radioprotección», en su intención de dar cabida a las distintas posturas que se dan en el ámbito de la protección radiológica, quiere hacerse eco de un comunicado llegado a la redacción en el que se informa de la creación de un «movimiento» anti-LNTH (hipótesis lineal sin umbral). Este grupo pretende dar respuesta a la postura de distintos colectivos que apoyan esta hipótesis, cuestionando una de las bases de las últimas recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica.

II ENCUENTRO IBEROAMERICANO DE SOCIEDADES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Durante los días 10, 11 y 12 de abril de 1997 se celebró en Guadalajara (México) el Segundo Encuentro Iberoamericano de Sociedades de Protección Radiológica, aprovechando la realización del VII Congreso Mexicano de Seguridad Radiológica.

Participaron las siguientes personas: Hermenegildo Maldonado (Presidente de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica), Gustavo Molina (Miembro de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica y Secretario de la Federación de Sociedades de Radioprotección de América Latina y el Caribe - FRALC), Luis Jova (Vice-Presidente de la Sociedad Cubana de Física y Presidente de la Sección de Protección Radiológica), Eduardo Sollet (Presidente de la Sociedad Española de Protección Radiológica), Eduardo Medina (Presidente de la Sociedad Peruana de Protección Radiológica y Miembro del Consejo Directivo de la FRALC), Ana María Bombén (Prosecretaria de Sociedad Argentina de Radioprotección y Miembro del Consejo Directivo de la FRALC), César Arias (Presidente de la FRALC), Leopoldo Arranz (Vicepresidente de la SEPR para Asuntos Especiales) y Juan José Peña (Coordinador del Proyecto Iberoamericano de la Sociedad Española de Protección Radiológica). Los pasajes de D. Leopoldo Arranz y Juan José Peña fueron financiados por el Centro Extremeño de Estudios y

Cooperación con Iberoamérica -CEXECI-.

ACUERDOS

- Se aprueba el acta del Primer encuentro celebrado en España en septiembre de 1996 con ligeras modificaciones.
- Se da la bienvenida a la Sección de Protección Radiológica de la Sociedad Cubana de Física como nuevo integrante del Grupo Iberoamericano.
- Se decide que la coordinación del Proyecto de Cooperación Iberoamericana será efectuada por Juan José Peña, por España, y por quien ejerza la Presidencia de la Federación Latinoamericana de Sociedades de Protección Radiológica con la asistencia del profesional de la misma Sociedad a la que pertenezca el Presidente, que integre el Consejo Directivo de la Federación. En la actualidad y hasta la realización del Congreso de la Habana de 1998 esas funciones son cumplidas por César F. Arias y Ana M. Bombén.

INFORMACIÓN

- La Sociedad Española de Protección Radiológica presenta, a tra-

vés de Juan José Peña, documentos que reglamentan la posible asistencia de la Junta de Extremadura a Proyectos de Cooperación con el Tercer Mundo (D.O.E. 31 y 36) y un documento de la Agencia Española de Cooperación Internacional.

- La Sociedad Argentina de Radioprotección presenta un documento con propuestas de proyectos sobre los temas de cooperación en otras áreas, identificándose en cada caso, un profesional para cada área temática que actuará como coordinador por Argentina en la misma.
- Los participantes de la reunión aportan información sobre los siguientes temas:

Juan José Peña informa sobre las favorables perspectivas de que la Junta de Extremadura asigne presupuestos para contribuir a financiar el Proyecto de Cooperación Iberoamericana.

Los fondos con que se cuente podrán destinarse a financiar proyectos de cooperación que cuenten con un programa de trabajo y presupuesto aprobados. En el presupuesto se puede contemplar equipamiento, insumos, becas para pasantías y participación en cursos o reuniones científicas.



Las contrapartes deben aportar no menos del 20% del costo del proyecto pudiéndose contabilizar a tal efecto los recursos humanos y el tiempo de laboratorio y equipamiento que se destinen al mismo.

Son áreas de interés prioritario los temas vinculados con la Protección de la salud, y el Medio Ambiente y los que en general contribuyen a una mejor Calidad de Vida.

COOPERACIÓN EN ACTIVIDADES EDUCATIVAS

Leopoldo Arranz informa sobre el Curso sobre Avances en Radiobiología. Organizado por el CIEMAT para la última semana de mayo de 1997 se tratarán, entre otros temas, Efectos Estocásticos, Determinísticos, Análisis de riesgos, Protección Radiológica, Tratamiento de irradiados, Epidemiología y Aspectos Legales. Adicionalmente se dictarán conferencias a cargo de D. Lloyd, E. Cardis, J.C. Nenot, J. Stather. Se espera que los participantes cuenten con información previa sobre radiobiología y se ofrece una beca por valor de 100.000 pesetas para gastos de matriculación y parte de los gastos de estancia. Se dispone de una o dos becas por país.

- Radiofísica Hospitalaria. Se informa sobre el Curso en Radiofísica Hospitalaria que realiza el Instituto Nacional de Salud de España. Tiene una duración de tres años y cubre los aspectos de Radiodiagnóstico, Radioterapia, Medicina Nuclear,

Protección Radiológica y está orientado a personas con formación en ciencias. Se ingresa por concurso. Hay cupos para otorgar becas por un valor de \$700 mensuales para Latinoamérica pero no habilita para trabajar en España ni en la Comunidad. El Responsable es Juan José Peña. La convocatoria es en octubre.

- Maestría en Física Médica en México. Se informa que en México se ha organizado una Maestría en Física Médica. El responsable es Gustavo Molina.
- Se informa que en Argentina se ha organizado una Maestría en Física Médica, en el ámbito de la Universidad de Buenos Aires.

REUNIONES TÉCNICAS Y CIENTÍFICAS

- Primer Congreso Latinoamericano de Física Médica en Monterrey. Se informa sobre su realización en agosto de 1998. En la semana siguiente se realizará una visita a San Antonio (USA).
- Taller sobre Emergencias Radiológicas, La Habana, 30-6 al 4-7. La Organización Panamericana de la Salud dispone de becas para participar.
- Conferencia de Sevilla. Sobre Efectos de la Baja Dosis de Radiación, noviembre de 1997. La SEPR dispone de una beca completa para cada

sociedad y la posibilidad de una beca adicional. Además, se pueden solicitar becas al OIEA para participar en esta Conferencia.

ACUERDOS DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN Y MATERIAL DE INTERÉS

A fin de mejorar la información de cada una de las sociedades sobre los recursos disponibles en otras se acuerda lo siguiente:

- Directorio de Especialistas. Cada una de las sociedades habrá de preparar un directorio, ordenado por especialidad, de los especialistas que deseen conectarse con colegas de otras sociedades para intercambiar información. Se propone una página por persona con los datos para conectarse. Fecha de cumplimiento: 30 de junio.
- Listado completo de socios. Cada sociedad remitirá a las demás, un listado de sus socios. Fecha de cumplimiento: 10 de octubre.
- Listado de cursos en cada país. Cada sociedad remitirá a las demás información sobre los cursos que se realizan en su país. Fecha de cumplimiento: 30 de junio.
- Revista de la Sociedad Argentina de Radioprotección. La Sociedad Argentina de Radioprotección remitirá una colección completa de revistas a cada una de las sociedades.

ACUERDOS DE COOPERACIÓN CIENTÍFICA

Se destaca la importancia de que en cada una de las áreas de interés se constituyan, a la mayor brevedad, grupos de trabajo integrados por representantes de cada una de las sociedades del Grupo Iberoamericano. Se identificaron los especialistas que, en cada país, pueden actuar como responsables de la respectiva coordinación. Se acordará no excluir la posibilidad de que especialistas de países de Latinoamérica que aún no han constituido sus Sociedades de Protección Radiológica pueden participar de esos grupos de trabajo.

CONFORMACIÓN DE GRUPOS DE TRABAJO SOBRE ÁREAS ESPECÍFICAS Y PROGRAMAS PRELIMINARES DE TRABAJO

Se acordará recomendar se inicien cuanto antes contactos por las vías más expeditivas a fin de discutir y elaborar propuestas de cooperación. Se considera conveniente estimular la organización de reuniones de trabajo en las que se tenga la oportunidad de discutir personalmente, ajustar los resultados de sus intercambios previos y definir planes de trabajo y presupuestos formalmente. A tal efecto se considera apropiado que tales reuniones se concreten con motivo de eventos internacionales ya anunciados, facilitando a tal efecto su participación.

– *Estudios ambientales*: España: David Cancio y José Gutiérrez, Cuba: Juan Tomás Zerquera, México: Ernesto Araco Salazar, Argentina: Héctor Bruno.

Se propone acordar métodos de medición entre países y elaborar un manual de técnicas de medición.

Reunión de Trabajo: Se considera que la Conferencia de Goiania, en octubre de 1997, resultará un marco apropiado para una reunión sobre temas ambientales, considerando la significativa repercusión ambiental que produjo aquel accidente.

– *Dosimetría biológica*: España: Rafael Herranz, Isidro Ferrer Abizanda, Cuba: Omar García Lima, Argentina: Nora Nasazzi, Perú: Marcos Espinosa.

Se propone que los especialistas definan el área de cooperación, entre las distintas áreas de trabajo a las que han hecho referencia en los documentos aportados a la reunión, teniendo en cuenta los antecedentes de cooperación existentes en este campo.

Reunión de trabajo: Se considera que la Conferencia sobre Efectos de Bajas Dosis de Radiación a realizarse en Sevilla, en noviembre de 1997, constituirá un ámbito apropiado para la reunión de trabajo, particularmente teniendo en cuenta que al menos dos de los integrantes de este grupo poseen formación específica previa en efectos Biológicos de Bajas Dosis (O. García y N. Nasazzi).

– *Dosimetría Interna*. Argentina: Inés Gámez Parada, España: Eduardo Sollet, México: Juan Enrique García, Cuba: Gladys L. Bejerano, Perú: a definir.

Se propone interpretar y facilitar la aplicación de la publicación ICRP 66.

Reunión de Trabajo: a definir.

– *Radiopatología* España: Rafael Herranz, Cuba: Juan Cardenas Herrera, Perú: Marcos Espinosa, Argentina: Pablo Gisone.

Reunión de Trabajo: Se considera apropiado aprovechar la realización del Curso de Actualización en Radiobiología, en Madrid, mayo de 1997, para efectuar una reunión de este grupo de trabajo. De no poder concretarse, otra posibilidad será la Conferencia de Sevilla, en noviembre 1997.

– *Residuos* México: Gustavo Molina, Argentina: Diana Klein, Perú: a definir, Cuba: Juan Tomás Zerquera, España: Pedro Carboneras. Se propone encarar temas de exención y desregulación.

Reunión de Trabajo: Se acuerda que, con motivo del taller que sobre este tema se propone realizar en el Congreso de la Habana, en octubre de 1998, se concretará la reunión de este grupo.

ACUERDOS RELACIONADOS CON EL CONGRESO DE CUBA, OCTUBRE-1998

– Se acuerda realizar en la semana siguiente al Congreso, un Curso sobre Criterios de Protección al Paciente y un Taller sobre Políticas Regulatorias referidas a la Protección del Paciente en el que intervendrán especialistas invitados.



Comité Organizador: Luis Jova Sed, Juan José Peña y César F. Arias.

- Se acuerda incluir en Congreso de la Habana los siguientes tópicos como temas de especial interés y sobre los que se podrán organizar talleres:
- *Percepción del Riesgo*. Comité organizador: a definir.
- *Impacto de las Nuevas Recomendaciones en Protección Radiológica sobre la Actividad Nuclear*. Comité Organizador: a definir.
- *Residuos, Excención y Desregulación*. Comité Organizador: Juan T. Zerquera, Diana Klein, Pedro Carboneras, Gustavo Molina.
- *Radiaciones No Ionizantes*. Comité Organizador: a definir.

TRADUCCIONES Y PUBLICACIONES

Se identifican las siguientes publicaciones como de interés prioritario para su traducción:

ICRP 73 «La Protección Radiológica en Medicina». Se acuerda que en el mes de mayo C. Arias propondrá la distribución de los capítulos para iniciar la traducción. En septiembre deben estar listos los primeros borradores.

OIEA «Guía para actuación en Emergencias Radiológicas». Consultar previamente al OIEA si se han previsto su publicación en español. Se conviene en la importancia de elaborar o traducir un documento de difusión sobre aspectos de Protección Radiológica.

INFORMACIÓN A LA IRPA. Se acuerda que Juan J. Peña y C. Arias prepararán una nota dirigida al Presidente de la IRPA informando sobre la constitución del Grupo Iberoamericano.

– PROMOCIÓN DE NUEVAS SOCIEDADES. Se acuerda realizar esfuerzos para promover la organización de nuevas sociedades en Latinoamérica. Al respecto se informará a los especialistas en Protección Radiológica que se identifiquen en los diversos países sobre los avances del Grupo Iberoamericano.

– IRPA 11. El Grupo ratifica la decisión, adoptada en el Primer Encuentro Iberoamericano, de apoyar la candidatura de España para la sede del Undécimo Congreso Internacional de Protección Radiológica.

– PRÓXIMA REUNIÓN DEL GRUPO IBEROAMERICANO. Se acuerda que la próxima reunión del Grupo Iberoamericano se realizará con motivo del IV Congreso Regional de Seguridad Radiológica a realizarse en la Habana en octubre de 1998.

PRIMERA REUNIÓN DE COORDINADORES DEL PROYECTO ARCAL XX

Del 17 al 21 de marzo del presente año se llevó a cabo la Primera Reunión del Coordinadores del Proyecto ARCAL XX del OIEA: «Directrices para el control de fuentes de radiación», en la ciudad de Caracas, Venezuela.

En este proyecto solamente participan los 10 países de la región latinoamericana que el OIEA ha seleccionado en virtud de que cuentan con una infraestructura básica para llevar a cabo un control adecuado de las fuentes de radiación, por eso asistieron a esta reunión: Horacio García (Argentina), Silvia Velázquez

de Oliveira y Anna María Campos de Araujo (Brasil), Mauricio Lichtemberg (Chile), Mauricio Ariza (Colombia), Luisa Betancourt (Cuba), Florencio Pinela Contreras (Ecuador), Hermenegildo Maldonado (México), Eduardo Medina Gironzini (Perú), Alejandro San Pedro (Uruguay), José Antonio Lozada (Venezuela), Patricia Wieland (OIEA) y Paulo Ferruz Cruz (OIEA/PNUD).

La presencia del Coordinador del Proyecto Interregional OIEA/PNUD que tiene a su cargo otros 10 países: Bolivia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Haití, Jamaica, Nicara-

gua, Panamá, Paraguay y República Dominicana, permitió conocer el detalle de sus actividades propuestas para el período 1997-2000, las mismas que tienen el objetivo de mejorar las condiciones de protección radiológica abarcando las áreas de Leyes y Reglamentos, Autoridades Reguladoras, Control Regulatorio, Control de Personal Ocupacionalmente Expuesto, Emergencias, Gestión de Desechos Radiactivos, etc.

Los participantes presentaron los sistemas de control de fuentes de radiación que existen en cada uno de los países, lo

cual permitió conocer que cada uno cuenta con su propio sistema de registro de las fuentes de radiación e instalaciones, el cual va obteniendo mejoras en el tiempo.

Durante el evento se reformularon los objetivos iniciales propuestos en 1992 durante la Reunión de Coordinadores de ARCAL I «Protección Radiológica» a fin de hacerlos más viables en función a la realidad actual, planteándose como objetivo general promover un desarrollo armónico de los criterios técnicos para garantizar un efectivo control de las fuentes de radiación y para lo cual se preparó un programa de actividades para 1997 y 1998, el cual se enmarca en lo siguiente:

- Evaluación de la eficacia de los sistemas regulatorios.
- Armonización y actualización de criterios de Autorización e Inspección en aplicaciones médicas, industriales y de investigación.
- Difusión de información sobre protección radiológica.

El desarrollo de este programa permitirá obtener los siguientes productos:

1. Determinación de los indicadores de gestión de los sistemas de control regulador.
2. Producción de los siguientes documentos:
 - Procedimientos para otorgar Autorizaciones.
 - Procedimientos para realizar Inspecciones.
 - Guía para elaborar Código de Prácticas en donde se incluyan medidas de respuesta a emergencias y gestión de desechos radiactivos.
 - Guía para solicitar autorizaciones.
3. Publicación de estos documentos y difusión en la región.
4. Mantenimiento de una «home page» en INTERNET con actividades de protección radiológica desarrolladas en la región y edición periódica del BOLETIN ARCAL «Protección Radiológica».

A fin de elaborar los documentos requeridos, se han enumerado las prácticas existentes, se han asignado países responsables por cada actividad y se han priorizado aquellas que deben iniciarse en 1997 (ensayos no destructivos, teleterapia e irradiadores industriales) a fin de que sean aprobadas en la próxima Reunión de Coordinadores del Proyecto ARCAL XX (Goiania, Brasil, 27-31 octubre 1997).

En 1998 se deben aprobar las Guías y Procedimientos sobre Braquiterapia, Medicina Nuclear y Prospección Petrolera.

El programa de actividades también contempla el apoyo a la realización del IV Congreso Regional sobre Seguridad Radiológica y Nuclear a realizarse en La Habana, Cuba, del 19 al 23 de octubre de 1998.

Todas las actividades cuentan con un presupuesto que es asignado por el OIEA y algunas de ellas tienen además el aporte de la OPS (Organización Panamericana de la Salud).

CONFERENCIA INTERNACIONAL: «EL ACCIDENTE RADIOLOGICO DE GOIANIA-10 AÑOS DESPUES

INTRODUCCIÓN

Hace 10 años en la ciudad de Goiânia, Brasil, 2 personas sufren de un edificio parcialmente destruido un cabezal rotatorio de una unidad de terapia contra el cáncer que estaba en desuso y lo rompen dejando al descubierto la fuente de Cesio-137 (polvo luminiscente). El aparato es

vendido a un chatarrero quien lo lleva a su casa, donde sus hijos juegan creyendo que es una sustancia inofensiva. Dos semanas después 249 personas están contaminadas y es necesario someter a examen médico a más de 100.000. Finalmente, mueren 4 personas y la ciudad se vió obligada a montar una operación muy costosa de limpieza.

OBJETIVO

La Conferencia Internacional tiene el objetivo de intercambiar conocimientos y experiencias ganadas después del accidente radiológico, tanto desde en el campo científico como en el social y político.

El evento incluye mesas redondas, sesiones técnicas orales y posters, con



presentaciones tanto de trabajos invitados como de aquellos seleccionados. Se incluye una visita guiada a los principales puntos de interés del accidente ocurrido en 1987 y al actual depósito definitivo de residuos radiactivos situado en la Abadía de Goiás, a 20 kilómetros de la ciudad.

ORGANIZADORES

La Conferencia es organizada por la Comissão Nacional de Energia Nuclear (CENEN) con la participación del Organismo Internacional de Energía Atómica, el Gobierno del Estado de Goiás y la Fundación Leide das Neves.

TEMAS DE LA CONFERENCIA

- Control de Fuentes Radiactivas.
- Planeamiento, Preparación y Respuesta a Emergencias.

- Legislación, Regulaciones, Convencionales, Normas y Recomendaciones.
- Aspectos médicos y psicológicos.
- Dosimetría bajo condiciones accidentales.
- Impactos políticos y sociales.
- Aceptación pública de los repositorios.
- Rol de las entidades reguladoras.
- Gestión y Transporte de Residuos Radiactivos.

Los idiomas de la Conferencia serán inglés, español y portugués.

RESUMEN Y TRABAJO

Los interesados pueden enviar su resumen que no debe exceder de 300 palabras hasta el 30 de junio de 1997. Los autores de los resúmenes aprobados serán notificados oportunamente y deben presentar los trabajos para su publica-

ción hasta el 30 de agosto, según formato establecido.

INSCRIPCIONES

El costo de inscripción es de US\$ 100, hasta el 1 de septiembre. Después de esa fecha será de US\$ 150.

Los participantes recibirán un CD-ROM con los trabajos de la Conferencia.

INFORMACIÓN

Comissão Nacional de Energia Nuclear
Superintendencia de Licenciamento e Controle
Secretaria Executiva
Rua General Severiano, 90 - sala 402
CEP 22294-900. Rio de Janeiro - RJ
Fax: 55-21-2951745/5462383
E-mail: goiania@cnen.gov.br.

SYMPOSIUM ON GLOBALIZATION OF NUCLEAR ACTIVITIES

Con la asistencia de 201 participantes de Argentina, Alemania, Brasil, Canadá, Cuba, España, Francia, Israel, Japón, México, Perú y Estados Unidos se llevó a cabo este Symposium en Río de Janeiro, Brasil, del 15 al 18 de junio del presente año.

Este evento es organizado anualmente por la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society y en esta oportunidad se expusieron 45 trabajos técnicos en 8 mesas redondas que trataron temas tales como: Integración regional y estrategias en actividades nucleares,

Seguridad Nuclear, Casos regionales en los procesos de globalización, Medio Ambiente, etc.

En la mesa redonda sobre Integración Regional para la Globalización se expuso el tema: «Integración Regional a través de ARCAL» en donde se presentó la experiencia adquirida en América Latina en los 12 años que tiene el proyecto ARCAL bajo las denominaciones: ARCAL I (Protección Radiológica), ARCAL XVII (Estructura Normativa y Organización Regulatoria) y ARCAL XX (Directrices para el Control de Fuentes de Radiación),

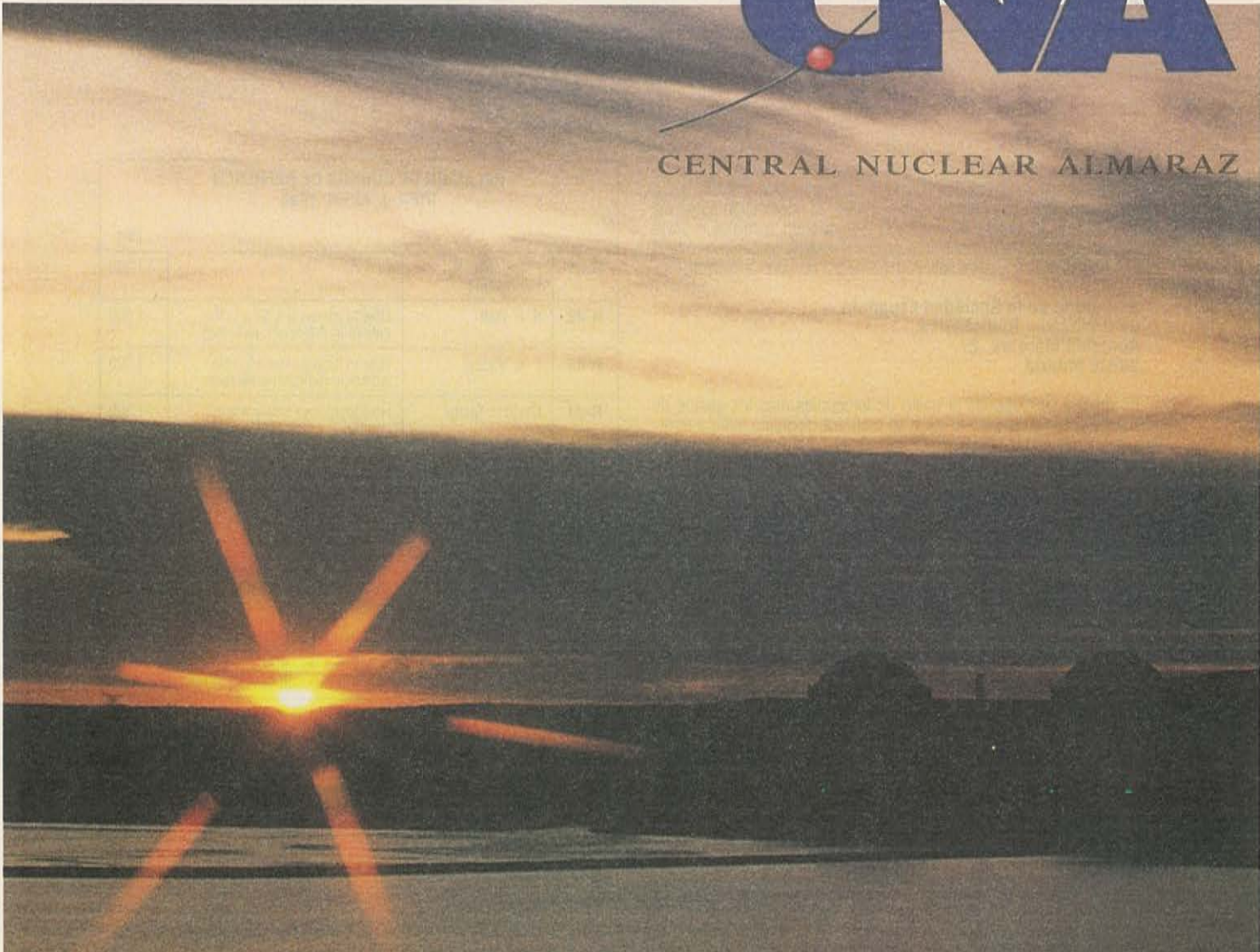
destacándose su importancia en una región donde la mayor parte de los países comparten antecedentes históricos, costumbres e idioma, lo cual facilita el afán integrador de sus pueblos. El tema fue presentado por el Coordinador del proyecto ARCAL XX de Perú.

También estuvieron representados el OIEA, ARCAL y la ABACC (Asociación Brasileña-Argentina de contabilidad y control de materiales nucleares).

El próximo evento se llevará a cabo en Buenos Aires, Argentina, en junio de 1998.



CENTRAL NUCLEAR ALMARAZ



Como ya se adelantó en el nº 12 de la revista, el Servicio de Publicaciones quiere facilitar la posibilidad de acceder a documentos y textos, que a veces no son fáciles de obtener, bien mediante la información sobre los puntos de venta y, cuando sea posible la reproducción, mediante el envío directo del material fotocopiado. Las personas interesadas en esta última opción podéis realizar vuestra solicitud rellenando el cupón adjunto a:

Secretaría de la Sociedad Española de Protección Radiológica
Apolonio Morales, 27
28036 Madrid

El importe corresponde al gasto de fotocopias más los gastos de encuadernación y envío, y el pago se realizará mediante talón a nombre de la Sociedad Española de Protección Radiológica, que se adjuntará con el cupón de solicitud.

RELACIÓN DE TEXTOS

– *Cursos de refresco del Congreso IRPA-9* (abril 1996)

Gracias a la colaboración del Dr. Duftschmid, Presidente de la IRPA, quien nos ha permitido su reproducción, podemos ofrecer los cursos de refresco impartidos en el Congreso IRPA-9, y cuya relación se adjunta.

- *European Protocol on Dosimetry in Mammography* (*). European Commission. **Ref. EP.1.** (1.000 ptas.)
- *European Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Mammography Screening* (*). European Commission. **Ref. EP.2.** (1.000 ptas.)
- *European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images* (*). European Commission. **Ref. EP.3.** (1.000 ptas.)
- *European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics* (*). European Commission. **Ref. EP.4.** (1.000 ptas.)

(*) *Punto de Venta: Mundi Prensa Libros, S.A.*
 Castelló, 37. 28001 Madrid
 Consell de Cent, 391. 08009 Barcelona

Boletín Oficial del Estado. Trafalgar, 27-29. 28010 Madrid
Librería de la Generalitat de Catalunya.
 Rambla dels Estudis, 118, Palau Moja. 08002 Barcelona

– De forma habitual, la Sociedad recibe los Boletines de Arca y NRPB, que están a disposición de los socios para su consulta.

RELACIÓN DE CURSOS DE REFRESCO IRPA-9, ABRIL 1996

			Ptas.
R-01	F. Steinhäusler, P. Kotrappa	Radon	1.000
R-02	B. F. Wall	How to assess the dose to the patient in diagnostic radiology	1.000
R-03	F. X. Massé	How to train and educate the worker in radiation protection	1.000
R-04	David H. Sliney	How to achieve safety when handling Lasers	1.000
R-05	Frantisek Spurny	How large is the exposure in Aircrafts and Space Vehicles?	1.000
R-06	G. J. Köteles	Biological Dosimetry	1.000
R-07	R. Matthes	RF and Microwave Measurement	1.000
R-08	Dr. C. Lefauve	How to apply optimisation in radiation protection	1.500
R-09	Hansruedi Völkle	Environmental Measurements	1.000
R-10	Joel O. Lubenau	Safety Considerations for Radionuclide Sources in Industry	1.000
R-11	Prof. Glenn F. Knoll	Recent Developments in Radiation Detectors	1.000
R-12	G. Dietze	Dosimetric Concepts and Quantities in Radiation Protection	1.000
	Joseph C. McDonald	Calibration Procedures for Radiation Protection	1.000
R-13	Graham R. Stevenson	Shielding of Accelerator Facilities Part 1	1.000
	Ralph H. Thomas	and Part 2	1.000
R-14	J. Lombard	Transport of Radioactive Material	1.000
R-15	W. Alan Jennings T. O. Marshall	Personal Dosimetry, Part 1 Part II	1.000
R-16	E. Cardis	What is epidemiology?	1.000

CUPÓN DE SOLICITUD

D./Dña.

Domicilio

Solicita le sean enviadas las fotocopias de los Cursos con las siguientes referencias

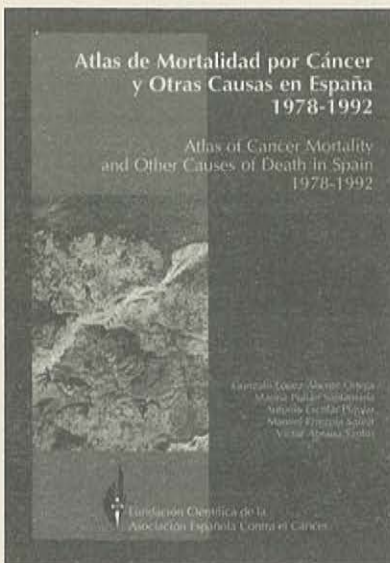
.....

Adjunto talón por pesetas, a nombre de la Sociedad Española de Protección Radiológica.

Fecha y Firma

Atlas de mortalidad por cáncer y otras causas en España (1978-1992)

Gonzalo López-Abente Ortega, Marina Pollán Santamaría, Antonio Escolar Pujolar, Manuel Errezola Saizar, Víctor Abraira Santos
Fundación Científica de la Asociación Española contra el Cáncer. Madrid, 1996.
ISBN: 84-922023-0-0



El antecedente de este trabajo es el "Atlas del Cáncer en España" publicado a finales de 1984. Aquel proyecto recogía la distribu-

ción provincial de los Índices de Mortalidad Estandarizada (IME, Standard Mortality Ratio) en los años 1975-76-77 de todos los tumores malignos recogidos en la lista A de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) para ambos sexos. Los patrones de distribución espacial del cáncer en España variaban ampliamente de unas localizaciones tumorales a otras. Era especialmente llamativa la presencia de una mayor mortalidad por varios tumores en las provincias de Cádiz, Málaga, Huelva y Sevilla. En algunos tumores se presentaba un patrón de distribución que podría coincidir con la industrialización producida en España.

Este nuevo Atlas pretende actualizar el anterior incluyendo un período de tiempo más amplio. Ello permite una mayor estabilidad de los indicadores de mortalidad, y su análisis dinámico facilita hacer predicciones a corto plazo. Asimismo, se han tratado de estudiar todas las localizaciones tumorales y otras causas de muerte superando las limitaciones de las listas reducidas de la CIE. Otra de las limitaciones del trabajo anterior era la utilización de un indicador (IME) que dificultaba la comparación interprovincial. Esto ha sido solucionado por el uso de ajustes por el

método directo y estimadores relativos del efecto (razones de tasas) que además de ser comparables, mantienen las cualidades de interpretación intuitiva del IME.

El objetivo central es proporcionar material gráfico y tablas de indicadores que permitan:

- Conocer el patrón de distribución geográfica y temporal provincial de todas las localizaciones tumorales y otras causas de muerte en España durante el período 1978-1992.
- Detectar la existencia de agrupaciones geográficas (clusters).
- Cuantificar en términos absolutos y relativos la importancia de las diferencias.
- Facilitar la explotación posterior de las series de indicadores a los investigadores en salud y ambiente.
- Sugerir posibles explicaciones sobre las distribuciones identificadas.

El Atlas está disponible en Internet: <http://www.uca.es/atlas/introdu.html>.

FE DE ERRATAS

En la Sección de Entrevista, de la revista **RADIOPROTECCIÓN** 1997, Vol. V. Nº 14, se publicó el «Coloquio mantenido entre representantes de la Federación de Radioprotección de América Latina y El Caribe (FRALC), Sociedad Portuguesa de Protección contra las Radiaciones (SPPCR) y la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR)». Se cometió un error en la 1ª respuesta de Gian María Sordi, reflejada en la pág. 57. Se piden disculpas al entrevistado y se publica la respuesta correcta.

R. Gian María Sordi. En nuestro país todos los cursos de supervisión son diligenciados por la Comisión. Se explica ICRP-26, todos lo conocen pero no lo cumplen. No hay una fiscalización que los frene, por tanto trabajan con el máximo permisible.

CONGRESOS Y REUNIONES

• INTAKES OF RADIONUCLIDES - OCCUPATIONAL AND PUBLIC EXPOSURE

Avignon, France, 15-18 Septiembre 1997.

Dr. H. Menzel, Commission of the European Communities DGXII/6 TGI 1/27, 200 rue de la Loi B-1049 Brussels, Bélgica
Tel. 32 2 295 298 - Fax 32 2 296 6256

• WORLD CONGRESS ON MEDICAL PHYSICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING

Nice, Francia, 14-19 Septiembre 1997.

Prof. J.A.E. Spaan, Dept. of Medical Physics, AMC Univ. of Amsterdam, Meibergdreef, 15 Amsterdam 1105 AZ, Holanda

• 29th ANNUAL CONGRESS OF THE SWISS-

GERMAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION

Lucerna, Suiza, 15-18 Septiembre 1997.

Tagungsburo FS' 97 Ch. Wernli c/o ASH.

Paul Scherrer Institut CH-5232 Villigen PSI, Suiza

• XXVI REUNION BIENAL DE LA REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FISICA

Las Palmas de Gran Canaria, 29 Septiembre - 3 Octubre 1997.

Departamento de Física, Campus de Tafira, 35017

Las Palmas de Gran Canaria.

Tel.: 928/454527.

Fax: 928/454544.

• 21st SYMPOSIUM ON THE SCIENTIFIC BASIS FOR NUCLEAR WASTE MANAGEMENT

Davos, Suiza, 29 Septiembre - 2 Octubre 1997

Dr. Ian McKinley, NAGRA, Hardstrasse 73, CH-5430

Wettingen, Suiza

• SEMINARIO "IMPLICACIONES DE LA NUEVA NORMATIVA SOBRE PREVENCIÓN DE RIESGOS

LABORALES EN LA VIGILANCIA MÉDICA Y EN LA PROTECCIÓN

RADIOLÓGICA DE LOS TRABAJADORES PROFESIONALMENTE EXPUESTOS"

Madrid, 16 Octubre 1997

Información: Secretaría Técnica de la SEPR

Tel. (91) 350 49 17

• TRAINING WORKSHOP REFERENCE DOSES AND QUALITY IN MEDICAL IMAGING - WHAT THE

REFERRING PRACTITIONER AND THE DIRECTING MEDICAL STAFF SHOULD KNOW

Luxembourg, 23 - 25 Octubre 1997.

Prof. Dr. F.E. Stieve, Institute of Radiation Hygiene, Federal Office for Radiation Protection.

Ingolstädter Landstraße 1.

D-85764 Oberschleißheim /

Neuherberg, Germany.

Tel.: (49) 89-31603-260.

Fax: (49) 89-31603-111.

• FIRST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NUCLEAR AND RELATED TECHNIQUES IN AGRICULTURE, INDUSTRY, HEALTH AND ENVIRONMENT. THIRD WORKSHOP ON NUCLEAR PHYSICS

La Habana (Cuba), 28-30 Octubre 1997

Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEACEN)

Tel. (537) 22 15 18

Fax (537) 33 11 88.

• XXIII REUNION ANUAL DE LA SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA

La Coruña, 5-7 Noviembre 1997

Secretaría de la XXIII Reunión Anual: C/ Campoamor, 17, 1º - 28004 Madrid

Tel. (91) 308 63 18

Fax: (91) 308 63 44

Página Web de la SNE: www.sne.es.

CURSOS ORGANIZADOS POR EL CIEMAT

• INSTITUTO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA. Formación en Protección Radiológica

PROGRAMACIÓN DEL 2º semestre de 1997

29/09-24/10	Supervisores de Instalaciones Radiactivas
13/10-17/10	Protección Radiológica Avanzada (CSN)
16/10	Jornada Técnica Materiales
20/10-24/10	Protección radiológica para dirigir Instalaciones de Rayos X con fines diagnósticos
27/10-31/10	Comportamiento de materiales en plantas de producción de energía
10/11-14/11	Dosimetría Interna en colaboración con el CSN
17/11-21/11	Caracterización de residuos de media y baja actividad por métodos radioquímicos, espectrométricos y físico-químicos

CURSOS ORGANIZADOS POR PROINSA

Dpto. de Formación. C/ Rosario Pino, 18. 28020 MADRID. Teléfono: 572 11 66. Fax: 570 18 10

PROGRAMACIÓN 1997

17 - 28 noviembre	} Capacitación para operadores de instalaciones radiactivas
22 septiembre - 17 octubre	} Capacitación para supervisores de instalaciones radiactivas
5 - 19 septiembre	} Capacitación para operadores de instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico general
1 - 5 diciembre	
8 - 12 septiembre	} Capacitación para personal que dirija instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico general
15 - 19 diciembre	
24-26 octubre	} Capacitación para personal que dirija instalaciones de rayos X con fines de diagnóstico médico dental



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCION RADIOLOGICA
afiliada a la
INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION (I.R.P.A.)

SECRETARIA TECNICA S.E.P.R. c/ Apolonio Morales, 27 • E-28036 MADRID • Telf. 350 49 17 • Fax: 350 76 52

SOLICITUD DE ADMISION

Datos personales:

Apellidos Nombre

Fecha de nacimiento Dirección particular

..... Código postal y Población Teléfono (.....)

Empresa o Centro de trabajo Cargo

Departamento Dirección

Código Postal y Población Teléfono (.....)

Estudios o formación

Experiencia profesional

Publicaciones y trabajos relacionados con protección radiológica

Enviar Correspondencia a:

Dirección particular Lugar de trabajo

Socios que avalan su candidatura

D/Dª Firma

D/Dª Firma

El abajo firmante solicita su ingreso en la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCION RADIOLOGICA comprometiéndose a cumplir sus Estatutos, en calidad de socio: Numerario Agregado

..... Firma Fecha

DOMICILIACION BANCARIA

CODIGO CUENTA CLIENTE (C.C.C.)

Entidad	Oficina	D.C.	Núm. de Cuenta

CUENTA CARGO _____

Sr. Director de

Calle/Plaza

Localidad Provincia Código postal

Muy Sr. Mío:

Le ruego que, hasta nueva orden, abonen con cargo a mi cuenta/libreta en esa Entidad, los recibos que a mi nombre les presente al cobro la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCION RADIOLOGICA".

Atentamente,

(firmado)

Nombre y Apellidos





La revista *RADIOPROTECCION* es el órgano de expresión de la SEPR y su publicación será, al menos, semestral.

Los artículos deben tener relación con la protección radiológica y, en general, con todos los temas que puedan ser de interés para los miembros de la SEPR.

Siempre se acusará recibo de los trabajos recibidos, pero ello no compromete a su publicación. No se mantendrá correspondencia sobre los trabajos, ni se devolverá ningún original recibido.

Los manuscritos serán revisados y evaluados por el Comité Científico.

Los Comités de Redacción y Científico se reservan el derecho de introducir modificaciones de estilo así como de acortar el texto que lo precise, comprometiéndose a respetar el contenido del original.

Los trabajos aceptados son propiedad de la Revista y su reproducción, total o parcial, sólo podrá realizarse previa autorización escrita de la editorial de la Revista.

Los conceptos expuestos en los trabajos publicados en esta Revista, representan exclusivamente la opinión personal de sus autores.

La Revista incluirá, además de artículos científicos, secciones fijas en las cuales se reflejarán noticias de la propia Sociedad, otras noticias de interés, publicaciones, etc. Se incluirá también una sección de "Cartas al Director".

Todo trabajo o colaboración, se enviará por triplicado, al Comité de Redacción de la Sociedad Española de Protección Radiológica, c/. Apolonio Morales, 27. 28036 MADRID.

1. Originales:

1.1 Los trabajos estarán redactados en español y no pueden tener una extensión mayor de diez (10) folios de 36 líneas cada uno, mecanografiados a doble espacio y numerados correlativamente.

1.2 Los gráficos, dibujos y fotografías o anexos, que acompañan al artículo, no entran en el cómputo de los diez folios.

1.3 Siempre que sea posible se acompañará el texto escrito del correspondiente diskette con la copia en programa de tratamiento de texto en sistema Macintosh. En su defecto, se admite programa "Word Perfect 5.1" o compatible con IBM.

2. Título y Autores:

En el primer folio deberá figurar, y por este orden, título del artículo, nombre y apellidos de los autores, nombre y dirección del centro de trabajo, domicilio para la correspondencia, teléfono de contacto y otras especificaciones que se consideren oportunas.

3. Resumen y Abstract en inglés

Tendrán una extensión máxima de 150 palabras y deberán estar redactados de forma que den una idea general del artículo.

4. Texto

Estará dividido en las suficientes partes, y ordenado de tal forma, que facilite su lectura y comprensión, ajustándose en lo posible al siguiente esquema:

Introducción, Desarrollo, Resultados y Conclusiones.

5. Referencia Bibliográfica

Al final de todo artículo podrá indicarse, si es el caso, la bibliografía o trabajos consultados.

Se presentarán según el orden de aparición en el texto con la correspondiente numeración correlativa.

Se utilizarán las abreviaturas recomendadas en el Chemical Abstracts y en el Index Medicus.

6. Ilustraciones y Tablas

Se utilizarán aquellas que mejor admitan su reproducción.

Las **gráficas** estarán agrupadas al final del texto principal, procurando que la información no se duplique entre sí.

Las **fotografías** se enviarán sobre papel blanco brillante y con un buen contraste. El tamaño serán de 9 x 12 cm.

Los gráficos y las fotografías irán numeradas en números arábigos, de manera correlativa y conjunta, como **figuras**. Se presentarán por separado del texto, dentro de sendos sobres, y los pies de las figuras deben ir mecanografiados en folio aparte.

Las **tablas** se presentarán en folios aparte del texto, con la numeración en números romanos y el enunciado correspondiente; las siglas y abreviaturas se acompañarán de una nota explicativa a pie de página.

SIEMENS



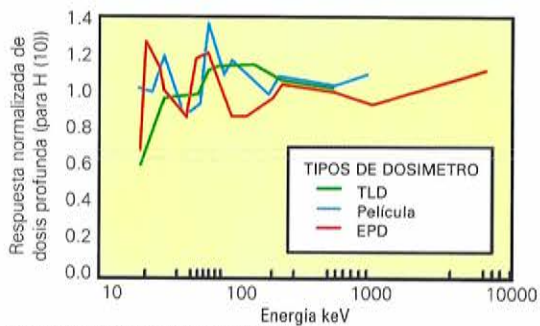
EPD Dosímetro Personal Electrónico

La seguridad nunca ha sido tan sencilla

El nuevo y compacto Dosímetro Personal Electrónico, combina las necesidades de vigilancia con las funciones adicionales de una unidad de alarma.

El desarrollo en colaboración entre Siemens y NRPB, ha dado como resultado el dosímetro EPD, que proporciona información instantánea más precisa y para umbrales más bajos de dosis, que métodos más complejos utilizados hasta ahora.

- Mide rayos X y radiaciones beta y gamma.
- De acuerdo a los últimos valores ICRU, $H_p(10)$, $H_p(0,07)$.
- Alarmas programables, respuesta instantánea e indicación de acuerdo con los criterios ALARA.
- Batería con vida media de al menos doce meses.
- Comunicación con sistemas dosimétricos de registro.



Respuesta comparativa de energía

Siemens, S.A.
División KWU
Orense, 2 - 28020 Madrid
Tel.: (91) 555 65 00
Fax: (91) 556 68 40

ENERGIA SIN FRONTERAS

Experiencia y calidad al servicio de
las centrales nucleares europeas

Diseño, fabricación y
suministro de elementos
combustibles para reactores
de agua a presión (PWR)
y de agua en ebullición (BWR)



 **ENUSA**

Santiago Rusiñol, 12 • 28040 MADRID
Tel.: (91) 347 42 00 Fax: (91) 347 42 15
Télex: 43042 URAN-E