

RADIOPROTECCION

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCION RADIOLOGICA



- ✓ *Valoración del*
DAÑO
CROMOSOMICO
originado por
Rayos X
- ✓ *Modelos de apoyo*
para evaluar la
CONTAMINACION
RADIATIVA
- ✓ *Perspectivas ante el*
desarrollo de
NUEVAS
TECNOLOGIAS
médicas
- ✓ *El programa de I+D*
en la CE

1993 • N° 1



RADIOPROTECCION

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
PROTECCION RADIOLOGICA
1993 • N° 1

Director Gustavo López Ortiz

Comité de Redacción

Coordinador: Leopoldo Arranz
Secretario: Armando Merino
Tesorera: Teresa Ortiz

Comité Científico

Coordinador: David Cancio

Ignacio Amor, Pedro Carboneras, Pío Carmena,
Ricardo Díez, Fernando García, Francisco
Gimeno, José Gutiérrez, José Hernández,
Ildefonso Irún, Antonio López, M^a Teresa Macías,
M^a Cruz Paredes, Miguel Pombar, Montserrat
Ribas, Matilde Santos, Luis M. Tobajas, Manuel
Tormo, Eliseo Vaño

Edita SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
PROTECCION RADIOLOGICA
(S.E.P.R.)
Plaza de Chamberí, 10 - 4^a izqda.
28010 Madrid. Tel. 593.11.55

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

Presidente: Gustavo López Ortiz
Vicepresidente: Leopoldo Arranz
Secretario: Armando Merino
Tesorera: Teresa Ortiz
Vocales: José Sanjuán
Ricardo Díez
Juan José Peña
Andrés Leal

Realización

EDICOMPLET, S.A.
Apolonio Morales, 27 • 28036 Madrid

Maquetación y Fotomecánica

AZIRA III, S.L.

Imprime MULTIPRINT IBERICA, S.L.
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:
ISSN: 1133-1747

SUMARIO

✓ Editorial	3
✓ Colaboraciones	5
• RADIOBIOLOGIA	5
«Valoración del daño cromosómico originado por una dosis de Rayos X. Comparación de los análisis de cromosomas dicéntricos, micronúcleos e intercambios entre cromátidas hermanas».	
<i>José Luis Fernández, Vicente J. Goyanes, Carlos Losada, Gustavo Losada y Camilo Veiras.</i>	
• EMERGENCIAS NUCLEARES	17
«Modelos de apoyo a la evaluación tras una contaminación radiactiva del medio ambiente».	
<i>José Enrique Martín García y Eduardo Gallego Díaz.</i>	
• NUEVAS TECNOLOGIAS MÉDICAS	31
«Perspectivas de la Protección Radiológica ante el desarrollo de las nuevas tecnologías médicas con radiaciones ionizantes».	
<i>Leopoldo Arranz.</i>	
✓ Contribución invitada	45
«El Programa de I+D en Protección Radiológica de la CE».	
<i>Francisco Mingot Buades.</i>	
✓ Noticias S.E.P.R.	51
✓ Informaciones de interés	53
✓ Publicaciones	58
✓ Cartas al Director	59
✓ Agenda	61
✓ Cursos y Convocatorias	61
✓ Normas de Publicación	65

Estimados lectores

A

provechando la oportunidad de expresarnos en esta editorial y transmitiendo el sentir de la Junta Directiva, en su constante preocupación por potenciar nuestra

Sociedad y en la firme decisión de seguir mejorando en las distintas funciones que le son propias, hasta lograr el grado de madurez formal que traduzca la culminación del aunado esfuerzo con el concurso de todos los miembros que a ella pertenecemos, ahora le ha tocado el turno a nuestra revista, como máximo órgano de expresión.

Somos conscientes de la importancia que supone el reto de mantener un tono en esta pieza capital, que es la

revista, punto de contacto entre todos nosotros, que refleje el espíritu de una Sociedad dinámica y trasluzca nuestra oferta de futuro para la Protección Radiológica sobre las bases de una altura científica y un rigor intelectual.

En esta nueva etapa pretendemos dos aspectos bien diferenciados que, si por el momento, no es posible disociar, asumimos la responsabilidad de poder hacerlo en un futuro próximo, en la idea de lograr optimizar las distintas funciones que procede llevar a cabo. Por una parte, hemos de luchar para que continúe mejorando la calidad científica de los artículos, asumiendo todos el objetivo de que nuestra revista logre ser considerada como punto

En la firme decisión de nuestra Sociedad por seguir mejorando, ahora le ha tocado el turno a nuestra revista, como máximo órgano de expresión.

Hemos de crear un boletín que sirva de tribuna o foro para establecer un contacto regular

de consulta obligado en el mundo de la Protección Radiológica en su más amplio sentido.

Por otra parte, hemos de crear un boletín que sirva de tribuna o foro para establecer un contacto regular y tratar los problemas que nos son comunes, donde libremente podamos expresar nuestras inquietudes profesionales y científicas permaneciendo continuamente abierto al debate, ya que éste ha de constituir uno de los principales, por no decir el fundamental, parámetro renovador de nuestra Sociedad. La división de funciones hará posible separar estos aspectos de los puramente científicos que configuran la revista.

Para llevar a cabo estos objetivos contamos con una nueva reestructuración,

consistente en la creación de un Comité Científico y un Comité de Redacción. La filosofía seguida ha sido la de incluir un representante de cada una de las principales áreas o campos relacionados con las radiaciones, a fin de cubrir todos los temas posibles.

Esperando que todos sigamos contribuyendo a la continua mejora de la Sociedad con el surgimiento de esta nueva etapa de nuestra revista, recibid un cordial saludo

Gustavo López Ortiz
Presidente



VALORACION DE DAÑO CROMOSOMICO ORIGINADO POR UNA DOSIS DE RAYOS X. COMPARACION DE LOS ANALISIS DE CROMOSOMAS DICENTRICOS, MICRONUCLEOS E INTERCAMBIOS ENTRE CROMATIDAS HERMANAS.



La exposición a radiaciones ionizantes es una causa bien conocida de daño cromosómico. Presentamos una comparación entre tres métodos diferentes, empleados para la detección de daño citogenético, tras la exposición aguda de linfocitos humanos a 3Gy de rayos X (100 kVp). El análisis clásico de cromosomas Dicéntricos, presentes en la primera mitosis inducida "in vitro", fue el mejor sistema, ya que el incremento en relación al nivel basal fue de 937.5 veces. El conteo de Micronúcleos presentes en células binucleadas, obtenidas tras bloqueo citocinético, arrojó un incremento de 32.5 veces, mientras que el estudio de la frecuencia de Intercambios entre Cromátidas Hermanas (SCEs) sólo demostró un incremento de 1.46 veces. La probabilidad estimada de que un acéntrico se convirtiese en un micronúcleo fue de 0.25. La distribución intercelular de los dicéntricos

José Luis Fernández,
Vicente J. Goyanes*, Carlos Losada,
Gustavo Losada y Camilo Veiras.

Laboratorio de Dosimetría Biológica.
Centro Oncológico de Galicia.
Avda. de Montserrat s/n. E-15006 La Coruña.
* Sección de Genética.
Hospital "Teresa Herrera". La Coruña.



seguía una distribución de Poisson, mientras que los micronúcleos estaban sobredispersos. Tras sobrepasar la primera mitosis, el nivel de dicéntricos, así como la proporción de células con aberraciones cromosómicas inestables, se redujo alrededor de la mitad de las originalmente inducidas. Finalmente, el nivel de SCEs en las células que presentaban aberraciones cromosómicas inestables, fue similar al de las células sin dichas anomalías estructurales.

ABSTRACT

Exposure to ionizing radiation is a well-known source of chromosome damage. Here we present a comparison among three different methodologies employed to recognize cytogenetic damage, after an acute exposure of human lymphocytes to 3 Gy of X-rays (100 kVp). Scoring of dicentric chromosomes, present in first mitosis "in vitro", was the method of preference as dicentrics increased 937.5 times with respect to background. Micronucleus scoring in binucleated-cytokinesis blocked cells showed an increase of 32.5 times, while it was only of 1.46 times when Sister Chromatid Exchanges (SCEs) were analyzed. The estimated probability of an acentric fragment becoming a micronucleus was around 0.25.

Intercellular distribution of dicentrics agree with Poisson, while micronucleus were overdispersed. When analyzed at second cycle after damage induction, the dicentrics yield as well as the level of cells with unstable chromosome aberrations, decreased around a half. Finally, SCEs level was similar in cells with or without unstable structural chromosome aberrations.

INTRODUCCION

Las radiaciones ionizantes son una fuente bien reconocida capaz de originar daño en el material genético, lo cual justifica la necesidad de la protección radiológi-

ca. Pero además de las consecuencias genéticas, el daño a nivel cromosómico tiene un interés indudable de cara a reconocer las dosis de radiaciones ionizantes absorbidas, tanto por causa accidental, laboral o terapéutica. Así, hoy en día, el análisis cromosómico es la técnica más desarrollada y fiable para realizar dosimetría biológica (Müller y Streffer, 1991).

Las radiaciones ionizantes pueden originar roturas en el ADN, además de una amplia variedad de lesiones (Téoule, 1987). La no reparación o mala reparación de ciertas roturas, puede desembocar en la formación de aberraciones cromosómicas (Morgan et al., 1991).

Los cromosomas dicéntricos son anomalías estructurales

resultantes de dos roturas, cada una en un cromosoma distinto, cuando están constituidos por una sola cromátida dispersa en el núcleo interfásico. Esto se da antes de la replicación del ADN o fases G₀ o G₁ del ciclo celular. Tras la inducción de las roturas, acontece una reparación anómala. En vez de unirse los extremos correctos, se unen los dos segmentos que presentan centrómero y los dos sin centrómero, formándose una cromátida dicéntrica y otra acéntrica. Tras la replicación del ADN, en la fase S del ciclo celular, los cromosomas pasan a estar constituidos por dos cromátidas hermanas. En consecuencia, en la mitosis posterior, cuando los cromosomas son reconocibles e individualizables gracias a su alto nivel de condensación, observamos un cromosoma dicéntrico típico acompañado de su correspondiente fragmento acéntrico doble. El conteo de cromosomas dicéntricos presenta una relación dosis-respuesta bien definida, para los distintos tipos de radiación, siendo el método citogenético de elección para propósitos dosimétricos (IAEA, 1986).

Existen otras metodologías de

análisis de mutagénesis a nivel citogenético que también han sido aplicadas para reconocer el daño originado por radiaciones ionizantes. Estas son el Test de Micronúcleos y el de Intercambios entre Cromátidas Hermanas (SCEs).

Los micronúcleos son cuerpos esféricos de material nuclear que se presentan en el citoplasma de las células en interfase, fuera del núcleo principal (Heddle, 1973). Su origen puede deberse a fragmentos sin centrómero, resultantes de roturas cromosómicas, que pueden quedar fuera del huso mitótico. Al tener lugar la descondensación cromosómica en la telofase, estos fragmentos aparecerán entonces como micronúcleos. Sin embargo, también pueden estar originados por uno o varios cromosomas enteros. Estos se aislarían del huso mitótico debido a mecanismos aneuploidógenos, posiblemente derivados de la disfunción de dicho huso o de anomalías del cinetocoro o estructura centromérica donde se unen los microtúbulos del huso mitótico (Balczon y Brinkley, 1989). El conteo de micronúcleos en células interfásicas puede ser un sistema relativamente rápido de

reconocimiento de daño citogenético originado por las radiaciones ionizantes, así como de estimación de las dosis absorbidas (Wakata y Sasaki, 1987; Prosser et al., 1988).

Los SCEs son intercambios recíprocos entre las dos moléculas de ADN hermanas, que se originan durante o poco después de la replicación del ADN cromosómico (Taylor et al., 1957). De este modo, el material informativo contenido en un tramo de un brazo de la cromátida, habrá sido intercambiado con el tramo simétrico del brazo de una cromátida hermana, previa rotura del ADN. Existe una correlación entre el daño del ADN y la frecuencia de SCEs, aunque diferentes agentes lesivos del ADN pueden inducir SCEs con una eficacia variable (IPCS, 1985; Schwartzman, 1987).

Este trabajo trata de establecer una comparación entre las tres metodologías descritas, empleadas para reconocer daño citogenético, tras la exposición de linfocitos humanos de sangre periférica a 3 Gy de Rx de 100 KVp. Nuestros resultados confirman la mayor eficacia del conteo de



dicéntricos para el reconocimiento más preciso de las dosis absorbidas de radiaciones ionizantes.

MATERIAL Y METODOS

Irradiación y cultivo de linfocitos

Las muestras de sangre se obtuvieron de dos donantes habituales de nuestro laboratorio, en los que previamente se habían descartado posibles factores de confusión. Estas muestras fueron colocadas en recipientes estériles de polipropileno, con la geometría adecuada para su correcta irradiación. Tras la extracción, se les administró una dosis de 3 Gy de rayos X de 100 KVp, con un aparato de radioterapia superficial Philips RT-100, siendo la tasa de dosis de 47.42 ± 0.08 cGy/min, a 37°C.

Una vez irradiadas las muestras se dejaron reposar 90 minutos a 37°C antes del cultivo de linfocitos.

Se añadieron 0.3 ml de sangre irradiada a 4 ml de medio TC 199 con fitohemaglutinina, suplementado con penicilina G (80 UI/ml) y estreptomycinina (80 µg/ml) (TC Chromosome Microtest, Difco).

En los cultivos destinados a la observación de los SCEs, mediante tinción FPG, se añadió 5-bromodeoxiuridina (BrdU) (10 µg/ml) en la oscuridad, a las 24 horas del inicio. Por otra parte, en los cultivos destinados a la observación de micronúcleos, se añadió Citocalasina B (3 µg/ml) a las 24 horas del inicio de los cultivos. La incubación de los cultivos de efectuó a 37°C.

Procesado de los cultivos de linfocitos

El período de incubación de los cultivos fue de 48 horas, en aquellos empleados para el análisis de anomalías cromosómicas en primer ciclo celular. Para ello se añadió colcemid (0.05 µg/ml) a las 45 horas para bloquear las mitosis en metafase.

Los cultivos destinados a la observación de SCEs y aberraciones cromosómicas en segundo ciclo cinético, se incubaron 72

horas, siendo añadido el colcemid a las 69 horas.

Para la observación de micronúcleos, el tiempo de incubación fue de 72 horas sin añadir colcemid.

Tras las incubaciones se administró un choque hipotónico con KCl 0.075 M durante 8 min, a 37°C, excepto en los cultivos para micronúcleos, que fue a 4°C. Posteriormente se realizaron tres fijaciones en metanol: acético (3:1). La tercera fijación de los cultivos para micronúcleos incluía formaldehído al 1%. Finalmente el material se extendió sobre portaobjetos por el método de secado aéreo.

Tinciones citogenéticas y observaciones

Las extensiones de los cultivos destinados a la observación de aberraciones cromosómicas en primer ciclo y para micronúcleos, se tiñeron con Giemsa al 2.5% en solución de tampón fosfato pH 6.88 durante 5 minutos. Posteriormente se lavaron con agua destilada y se dejaron secar al aire. En el primer caso se analizaron un total de 400 mitosis para la detección de dicéntricos, ani-

llos y acéntricos. En el segundo caso se observaron 400 células binucleadas para la detección de micronúcleos en su citoplasma.

Para el estudio de SCEs y determinación de anomalías cromosómicas en segundo ciclo celular, se practicó la técnica FPG de tinción diferencial de las cromátidas hermanas sobre los cultivos con BrdU. Nuestra técnica es una modificación de la original de Perry y Wolff (1974). En síntesis, las extensiones citogenéticas fueron teñidas inicialmente en Hoechst 33258 durante 30 minutos (0.05µg/ml). Tras lavado con 0.5xSSC (solución salina citratada), los portaobjetos fueron expuestos a la luz UV de 280-320 nm durante 3 horas, montados con una capa superficial de 0.5xSSC. Tras la incubación de las extensiones en 0.5xSSC a 55-60°C durante 1 hora, los portaobjetos se lavaron con agua destilada. Finalmente se tiñeron con Giemsa al 5% en tampón fosfato pH 6.88 durante 15 minutos. La frecuencia de SCEs y dicéntricos se determinaron en 200 mitosis (la mayoría de los estudios de SCEs, no suelen sobrepasar las 80 mitosis).

Análisis estadístico

Cuando fue necesario, se empleó la t de Student como prueba para la determinación de la homogeneidad de las muestras.

La distribución poissoniana de los dicéntricos, acéntricos en exceso y micronúcleos, fue testificada mediante el test U de Papworth (Savage, 1970).

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de los cromosomas dicéntricos (Fig. 1a) debe realizarse en la primera mitosis tras la irradiación celular en Go. Debido a la inestabilidad de dichas anomalías, éstas tienden a ser eliminadas de la población tras ciclos celulares consecutivos. Otras aberraciones cromosómicas radioinducidas, también de tipo inestable, tales como los anillos céntricos (Fig. 1b) y los acéntricos en exceso pueden ser igualmente cuantificadas. El anillo céntrico es el resultado de dos roturas, una en cada brazo de un mismo cromosoma y posterior

fusión anormal de los extremos. Los acéntricos en exceso corresponderían a aquellos que se encuentran en la mitosis sin acompañar a un dicéntrico o a un anillo, ya que la formación de estas aberraciones conlleva su propio acéntrico correspondiente (Evans, 1974) Comprenden a fragmentos, anillos acéntricos y dobles diminutos (IAEA, 1986), siendo frecuentemente difícil discernir entre ellos. Estas anomalías son debidas a deleciones terminales por rotura única o a deleciones intersticiales por rotura doble de un mismo brazo cromosómico.

Los micronúcleos se observan en células interfásicas. Recientemente la técnica de bloqueo citocinético con citocalasina B (Fenech y Morley, 1985), permite realizar un estudio mejor sistematizado. La citocalasina B impide la tabicación del citoplasma al final de la mitosis, una vez que ha acontecido la división nuclear. De este modo, se obtienen células binucleadas que representan a aquellas que han pasado la primera mitosis "in vitro" y que por tanto podrán mostrar ya los micronúcleos, derivados de lesiones cromosómicas presentes en

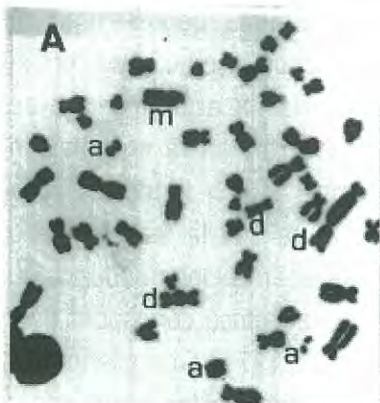


FIG. 1 A: Se aprecian 3 cromosomas dicéntricos (d) con sus correspondientes acéntricos (a) y un monocéntrico anormal (m).



FIG. 1 B: Anillo céntrico (n) con su correspondiente acéntrico (a).

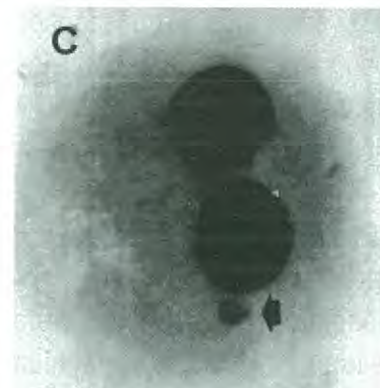


FIG. 1 C: Célula binucleada que muestra un micronúcleo en el citoplasma (flecha).

el primer ciclo (Fig. 1c). El conteo de micronúcleos en células binucleadas evita la dilución ocasionada por la inclusión en el conteo de células transitando por el primer ciclo, las cuales todavía no pueden mostrar micronúcleos.

Los SCEs son observados en la mitosis del segundo ciclo tras la irradiación en G_0 , ya que la técnica de tinción diferencial de las cromátidas requiere dos ciclos de incorporación de BrdU en el ADN, substituyendo a la timidina. Así, tras dos fases S consecutivas, obtenemos cromosomas cuyo ADN de una de las cromátidas está bromosubstituido en sus dos cadenas, mientras que el ADN de la cromátida hermana presenta una sola cadena bromosubstituida. Esta diferencia en el

nivel de bromosustitución es la base que permite realizar una tinción diferencial de las cromátidas hermanas, mediante la técnica de FPG (Perry y Wolff, 1974). La cromátida bibromosubstituida aparece pálida, mientras que la monobromosubstituida aparece normoteñida (Fig. 1d). Los SCEs observados entonces, son la suma de los originados en el primer y segundo ciclo tras la irradiación (Schvartzman, 1987).

El análisis comparativo de los resultados, descrito en la Tabla 1, muestra claramente que tras 3 Gy de Rx de 100 KVp, los niveles de las anomalías cromosómicas inestables analizadas, principalmente los dicéntricos, experimentaron un incremento muy notable con respecto a los niveles basales de dichas aberraciones. La fre-

cuencia de dicéntricos fue muy similar a la descrita por otros laboratorios (revisado en Bender et al., 1988a). Dado que los cromosomas dicéntricos presentan un nivel basal extremadamente escaso, son fácilmente reconocibles y son bastante específicos de las radiaciones ionizantes en estas condiciones, su empleo en dosimetría biológica es ya rutinario (Lloyd y Edwards, 1989).

Los micronúcleos también pueden emplearse para la dosimetría biológica de las radiaciones ionizantes, pues son más rápidamente analizables debido a la facilidad de su detección en las células binucleadas (Bilbao et al., 1989). Sin embargo, su nivel basal es más alto que el de los dicéntricos, presentando además un incremento alrededor de veintinueve veces menor que el de

FIG. 1: Anomalías citogenéticas en linfocitos expuestos a 3 Gy de Rx (100 KVp).

estos últimos, tras la exposición a 3 Gy de Rx de 100 KVp. Los micronúcleos no son tan específicos de las radiaciones ionizantes como los dicéntricos, ya que también pueden provenir de fragmentos de tipo cromatídico originados por agentes químicos que actuaron en G₀ o en el primer ciclo, antes de G₂. Además de derivarse de acéntricos, también pueden

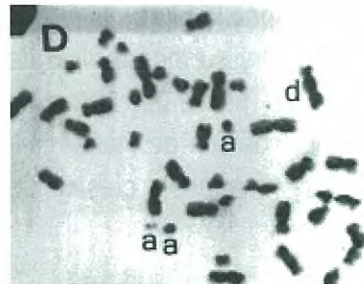


FIG. 1 D: Tinción diferencial de las cromátidas hermanas que permite contabilizar los SCEs. Igualmente se aprecian anomalías estructurales, como dicéntricos (d).

generarse a partir de uno o varios cromosomas enteros, es decir, por causas provocadoras de aneuploidías (Viaggi, 1987). Quizás por esto su nivel basal es

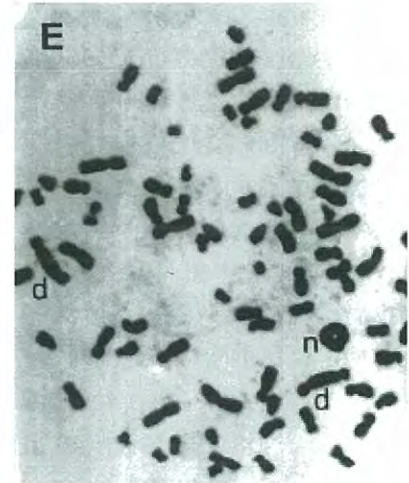


FIG. 1 E: Tetraploidía, con anomalías estructurales.

más acusado (Wakata y Sasaki, 1987). El nivel obtenido de micro-

TABLA 1. Frecuencias por célula de diferentes daños cromosómicos presentes en linfocitos. Los errores standard están basados en la distribución de Poisson.

	NIVEL BASAL (0Gy)	Rx 100KVp (3Gy)	INCREMENTO (promedio)
Cromosomas dicéntricos	0.00072±0.00041	0.675±0.041	937.5
Anillos céntricos	0.00024± ~ 0*	0.04±0.01	166.6
Acéntricos en exceso	0.0024±0.0012	0.33±0.029	137.5
Micronúcleos	0.008±0.0023**	0.26±0.028	32.5
SCEs	7.35±0.57	10.74±0.23	1.46
Tetraploidías	0.005±0.005	0.057±0.017	11.4

* Nuestro nivel basal de anillos, estimado en 400 mitosis, es 0. No obstante, con fines comparativos del incremento, preferimos incorporar el nivel de fondo derivado del estudio de Bender et al., 1988b, actualmente el más extenso, que refiere 17 anillos en 71.950 células.

** Tomado de Bilbao et al. (1989).



núcleos, tras 3 Gy de Rx, es muy próximo al de Fenech y Morley (1985), algo alejado del de Prosser et al. (1988), alrededor de 1,5 veces más bajo y sería cerca de 2 veces menor que los referidos por Littlefield et al. (1989) y Kormos y Koteles (1988). En este sentido, la revisión de Bauchinger (1990) señala una gran variabilidad entre los laboratorios en cuanto al test de micronúcleos y Savage (1988) sugiere que este sistema no permitiría obtener curvas dosis-respuesta fiables. Sin embargo, Fenech y Morley (1985) fueron los únicos que emplearon la energía de 100 KVp, similar a la de nuestro experimento. Los demás autores utilizaron energías de Rx más altas, posiblemente más efectivas. Cabe pensar que el nivel de células binucleadas podría sesgar los resultados. Nuestro nivel fue muy bajo, mientras que Littlefield et al. (1989) refieren la conversión en binucleadas del 90% de las células que responden al mitógeno, utilizando dosis más elevadas de citocalasina B. Todo esto sugiere una mayor estandarización de los procedimientos entre los diferentes laboratorios, así como una mejor definición de los posibles artefactos. Esta variabilidad, unida a su

menor especificidad, su mayor nivel basal y su menor nivel de incremento, hacen que el test de micronúcleos sea de menor calidad que el análisis clásico de dicéntricos.

Si comparamos los niveles de micronúcleos detectados tras 3 Gy de Rx, con los acéntricos que podrían dar lugar a dichos micronúcleos, observamos que sólo una fracción de los acéntricos logran aislarse del núcleo principal. Debemos tener en cuenta que no sólo los acéntricos en exceso, sino también los que acompañan a los dicéntricos y anillos céntricos pueden dar lugar a micronúcleos. En consecuencia, tras 3 Gy de Rx se originan 421 acéntricos en 400 células de los que sólo el 25% darán lugar a micronúcleos. Este es un resultado similar al descrito por Carrano y Heddle, 1973; Bauchinger et al., 1986 y Wakata y Sasaki, 1987. No obstante otros autores encuentran mayores porcentajes, entre el 50-75%, de acéntricos que originan micronúcleos (Ramalho et al., 1988; Littlefield et al., 1989). Aún así, este es un porcentaje aproximado, inferior al real, ya que algunos micronúcleos, pocos en el caso de las radia-

ciones ionizantes, procederían de uno o varios cromosomas enteros aislados o de fragmentos derivados de la rotura de puentes anafásicos (Cornforth y Goodwin, 1991). Actualmente es posible diferenciar los micronúcleos procedentes de acéntricos o de cromosomas enteros, gracias al empleo de anticuerpos anticinetocoro, ya que los cromosomas enteros mantienen la región centromérica de unión al huso mitótico (Eastmond y Tucker, 1989). Es de suponer que tras dosis altas de radiación, que dan lugar a un gran número de acéntricos, la probabilidad de que todos ellos se aislen del núcleo principal sea más baja. Además, al descondensarse, tendrían también mayor probabilidad de fusionarse entre ellos dando uno o pocos micronúcleos o de coalescer con el núcleo principal (Cornforth y Goodwin, 1991).

El estudio de la distribución intercelular de dicéntricos, acéntricos en exceso y micronúcleos, es presentado en la Tabla 2. El test U analiza el ajuste a la distribución de Poisson. Si el valor de U es menor o igual a 1.96, la distribución es poissoniana, con su varianza igual a su media, es decir, al azar. Cuando supera

TABLA 2. Análisis de la distribución intercelular de anomalías cromosómicas en linfocitos expuestos a 3 Gy de Rx de 100 KVp.

	0	1	2	3	4	Varianza/Media	U
Cromosomas Dicéntricos	200	141	48	11	0	0.93	-1.03
Acéntricos en exceso	265	99	18	0	0	0.92	-1.17
Micronúcleos	316	66	16	1	1	1.23	+3.20

dicho número, si el valor es positivo indica sobredispersión significativa, mientras que si es negativo, indica bajo-dispersión significativa. Los dicéntricos y los acéntricos en exceso siguen una distribución de Poisson, pero los micronúcleos se distribuyen en sobredispersión. La distribución poissoniana de los dicéntricos originados por irradiación homogénea con baja LET está bien reconocida (IAEA, 1986). También parecen estar de acuerdo los resultados de múltiples laboratorios en cuanto a la sobredispersión de los micronúcleos (Prosser et al., 1988; Bauchinger, 1990; Cornforth y Goodwin, 1991). Esta sobredispersión podría ser dependiente de procesos celulares que conducirían a una segre-

gación no al azar de los acéntricos (Cornforth y Goodwin, 1991). Sin embargo los estudios acerca de la distribución de los acéntricos en exceso parecen aportar resultados dispares, entre la distribución poissoniana y la sobredispersión (Bauchinger et al., 1983; Lloyd et al., 1986).

Analizando el nivel de dicéntricos en células en segundo ciclo tras la irradiación, diferenciables por presentar sus cromosomas con la tinción diferencial que permite observar los SCEs, se encontraron 60 en 200 mitosis (0.3 ± 0.039). En consecuencia, el 44.4% de los dicéntricos inducidos originalmente se mantenían tras la mitosis en el segundo ciclo, es decir, alrededor de la

mitad. Igualmente, si en el primer ciclo 90 mitosis de 400 (0.725 ± 0.85) presentaban aberraciones cromosómicas inestables, tras pasar la primera mitosis y analizar la segunda mitosis "in vitro", 80 células de 200 (0.4 ± 0.63) seguían mostrando dichas anomalías. Esto es, el 55.2% de estas células se mantenían. Los dicéntricos son aberraciones inestables, ya que estos cromosomas pueden unir microtúbulos del huso mitótico procedentes de un polo celular dirigidos a un centrómero y microtúbulos del polo celular opuesto dirigidos al otro centrómero.

El resultado es la formación de un puente anafásico responsable de la no viabilidad de la célula



(Carrano, 1973; Das y Sharma, 1987). Aunque los dicéntricos pequeños podrían ser teóricamente más fácilmente segregables, diversos estudios apoyan una probabilidad de alrededor de 0.5 de transmisión a las células hijas, a través de la mitosis (Evans 1974; Bauchinger et al., 1986; Das y Sharma, 1987).

Las tetraploidías se presentan en células que han pasado dos ciclos cinéticos consecutivos, dos fases S, pero sin división nuclear ni citoplásmica en la mitosis intermedia, fenómeno conocido como endomitosis (Therman, 1985). En consecuencia, estas células muestran cuatro copias de cada cromosoma en la mitosis del segundo ciclo (Fig. 1e). Su nivel basal es bajo, pero tras la dosis de radiación administrada, se incrementaron 11.4 veces. Este hecho sugiere que en algunas células, la radioexposición origina cierta inestabilidad en los procesos posteriores de control del acoplamiento entre la duplicación y la segregación del material genético o en el funcionalismo del aparato centriolar-huso mitótico.

Llama la atención en la Tabla 1 que el nivel de SCEs tenga un

incremento tan reducido, pues apenas se duplica el nivel basal, teniendo en cuenta que es el test más sensible para detectar numerosos agentes mutágenos sobre todo de naturaleza química. De hecho, en general, las dosis de esos agentes requeridas para obtener un incremento significativo del nivel de SCEs son alrededor de 10 a 200 veces más bajas que las necesarias para inducir aberraciones cromosómicas (Perry y Evans, 1975). Sin embargo, es conocido que la exposición a radiaciones ionizantes apenas incrementa la frecuencia de SCEs (Littlefield et al., 1979; Schwartzman et al., 1985). Todavía no se conoce claramente el mecanismo de constitución de un SCE, aunque existen teorías que implican recombinaciones en agrupaciones de replicones próximos, a través de alteraciones del patrón normal de replicación y maduración del ADN derivadas de lesiones del mismo (Painter, 1980; Dimitrov, 1987; Schwartzman, 1987). Tampoco se conoce si la formación de un SCE conlleva o no la reparación de la lesión del ADN que provocó su formación.

El bajo incremento de SCEs

originado por la radioexposición puede ser debido a que las radiaciones ionizantes originan lesiones en el ADN diferentes a las que conducen a la formación de SCEs (Ikushima, 1989). Así, en nuestros datos no se apreciaron diferencias significativas entre las frecuencias de SCEs en células que presentaban aberraciones cromosómicas inestables (10.87 ± 0.37) y en células sin dichas anomalías (10.64 ± 0.30). El análisis de SCEs no es pues adecuado para la detección de daño radioinducido en el genoma.

Nuestros resultados confirman la tendencia actual a enfatizar la importancia del contaje de dicéntricos como la mejor herramienta para una dosimetría precisa. Gran parte de la reciente metodología derivada de la genética molecular, se trata de aplicar para incrementar la rapidez y sensibilidad de las medidas obtenidas.

Agradecimientos:

Este trabajo fue realizado gracias a un contrato con el Consejo de Seguridad Nuclear.

BIBLIOGRAFIA

- BALCZON RD, BRINKLEY RB (1989): The kinetochore and its roles during cell division. En: Chromosomes: eukariotic, prokariotic, and viral. Vol I. Adolph KW ed. CRC Press, Boca Raton, Florida pp 167-189.
- BAUCHINGER M, SCHMID E, STRENG S, and DRESP J (1983): Quantitative analysis of the chromosome damage at first division of human lymphocytes after 60Co g-irradiation. *Radiat Environ Biophys* 22:225-229.
- BAUCHINGER M, SCHMID E, BRASELMANN H (1986): Cell survival and radiation-induced chromosome aberrations. II. Experimental findings in human lymphocytes analysed in first and second post-irradiation metaphases. *Radiat Environ Biophys* 25:253-260.
- BAUCHINGER M (1990): Radiation-induced micronuclei in human lymphocytes: an alternative assay to chromosome analysis to quantify low dose exposures. En 1ª Reunión Internacional sobre Dosimetría Biológica. Hospital Gregorio Marañón. Madrid.
- BENDER M, AWA A, BROOKS A, EVANS H, GROER P, LITTLEFIELD L, PEREIRA C, PRESTON R, WACHHOLZ B (1988a). Current status of cytogenetic procedures to detect and quantify previous exposures to radiation. *Mutation Res* 169:103-159.
- BENDER MA, PRESTON RJ, LEONARD RC, PYATT BE, GOOCH PC, SHELBY MD (1988b): Chromosomal aberration and sister chromatid exchange frequencies in peripheral blood lymphocytes of a large human population sample. *Mutation Res* 204:421-433.
- BILBAO A, PROSSER JS, EDWARDS AA, MOODY JC, LLOYD DC (1989): The induction of micronuclei in human lymphocytes by in vitro irradiation with alfa particles from plutonium 239. *Int J Radiat Biol* 56:287-292.
- CARRANO AV (1973): Chromosome aberration and radiation-induced cell death II. Predicted and observed survival. *Mutation Res* 17:355-366.
- CARRANO AV, HEDDLE JA (1973): The fate of chromosome aberrations. *J Theor Biol* 38:289-304.
- CORNFORTH MN, GOODWIN EI (1991): Transmision of radiation-induced acentric chromosomal fragments to micronuclei in normal human fibroblasts. *Radiat Res* 126:210-217.
- DAS BC, SHARMA T (1987): The fate of X-ray-induced chromosome aberrations in blood lymphocyte culture. *Mutation Res* 176:93-104.
- DIMITROV B (1987): Relationship between sister-chromatid exchanges and heterochromatin or DNA replication in chromosomes of *Crepis capillaris*. *Mutation Res* 190:271-276.
- EASTMOND DA, TUCKER JD (1989): Identification of aneuploidy-inducing agents using Cytokinesis-blocked human lymphocytes and an Antikinetochores antibody. *Environ Mol Mutagen* 13:34-43.
- EVANS HJ (1974): Effects of ionising radiation on mammalian chromosomes. En: Chromosomes and Cancer. J. German, ed. Wiley & Sons Inc, New York, pp 191-237.
- HEDDLE JA (1973): A rapid in vivo test for chromosomal damage. *Mutation Res* 18:187-190.
- IKUSHIMA T (1989): SCE Enigma: Methodology, Mechanism and meaning of sister chromatid exchange. *Annu Rep Res Reactor Inst Kyoto Univ* 22:57-77.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) (1986): Biological dosimetry: chromosomal aberration analysis for dose assessment. Technical reports series No. 260, IAEA, Vienna.
- IPCS INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (1985): Environmental Health Criteria 51. Guide to Short-term tests for detecting mutagenic and carcinogenic chemicals. World Health Organization. Geneva.
- KORMOS C, KOTELES GJ (1988): Micronuclei in X-irradiated human lymphocytes. *Mutation Res* 199:31-35.
- LITTLEFIELD LG, COLYER SP, JOINER EE, DU FRAIN RJ (1979): Sister chromatid Exchanges in human lymphocytes exposed to ionizing radiation during GO. *Radiat Res* 78:514-521.
- LITTLEFIELD LG, SAYER AM, FROME EI (1989): Comparison of dose response parameters for radiation-induced acentric fragments and micronuclei observed in cytokinesis-arrested lymphocytes. *Mutagenesis* 4:265-270.
- LLOYD DC, EDWARDS AA, PROSSER JS (1986): Chromosome aberrations induced in human lymphocytes by in vitro acute X and gamma radiation. *Radiat Protec Dosim* 15:83-88.
- LLOYD DC, EDWARDS AA (1989): Biological Dosimetry after radiation accidents. En: Chromosomal Aberrations. Basic and Applied aspects. Obe G y Natarajan AT, eds. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, pp 212-223.
- MORGAN WF, YATES BL, RUFER JT, ABELLA COLUMNA E, VALCARCEL ER



and PHILIPS JW (1991): Chromosomal aberration induction in CHO cells by combined exposure to restriction enzymes and X-rays. *Int J Radiat Biol* 4:627-634.

MULLER WV and STREFFER C (1991): Biological indicators for radiation damage. *Int J Radiat Biol* 4:863-873.

PAINTER RB (1980): A replication model for sister chromatid exchange. *Mutation Res* 70:337-341.

PERRY P, WOLFF S (1974): New Giemsa method for the differential staining of sister chromatids. *Nature* 251:156-158.

PERRY P, EVANS HJ (1975): Cytological detection of mutagen-carcinogen exposure by sister chromatid exchanges. *Nature* 258:121-124.

PROSSER JS, MOQUET JE, LLOYD DC, EDWARDS AA (1988): Radiation induction of micronuclei in human lymphocytes. *Mutation Res* 199:37-45.

RAMALHO A, SUNJEVARIC I, NATARAJAN AT (1988). Use of the frequencies of

micronuclei as quantitative indicators of X-ray-induced chromosomal aberrations in human peripheral blood lymphocytes: Comparison of two methods. *Mutation Res* 207:141-146.

SAVAGE JRK (1970): Sites of radiation induced chromosome exchanges. *Curr Top Radiat Res* 6:129-194.

SAVAGE JRK (1988): A comment on the quantitative relationship between micronuclei and chromosomal aberrations. *Mutation Res* 207:33-36.

SCHVARTZMAN JB, GOYANES VJ, CAMPOS A, LAGE AM, VEIRAS C, SILVA MC, RAMOS S (1985): Persistence of DNA lesions and the cytological cancellation of sister chromatid exchanges. *Chromosoma* 92:7-10.

SCHVARTZMAN JB (1987): Sister-chromatid exchanges in higher plant cells: past and perspectives. *Mutation Res* 181:127-145.

TAYLOR JH, WOODS PS, HIGHER WL (1957): The organization and duplication of chromosomes as revealed by autoradiographic studies using tritium-labelled thymidine. *Proc Natl Acad Sci USA* 43:122-128.

TEOULE R (1987): Radiation-induced DNA damage and its repair. *Int J Radiat Biol* 51:573-589.

THERMAN E (1985): Human chromosomes, structure, behavior, effects. Springer-Verlag, New York.

VIAGGI S, BONATTI S, ABBONDANDOLO A (1987): New evidence for the presence of chromosomes in micronuclei of human and Chinese hamster cells. *Mutagenesis* 2:367-370.

WAKATA A, SASAKI MS (1987): Measurement of micronuclei by cytokinesis-block method in cultured chinese hamster cells: comparison with types and rates of chromosome aberrations. *Mutation Res* 190:51-57.



MODELOS DE APOYO A LA EVALUACION TRAS UNA CONTAMINACION RADIATIVA DEL MEDIO AMBIENTE.



Dentro del proyecto sobre “*Optimización de las medidas de recuperación del emplazamiento después de accidentes nucleares*”, que se ha realizado con el patrocinio del programa de Radioprotección de la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE), se han desarrollado dos modelos: URBAPAT y AGROPAT, con el fin de obtener una simulación más realista

que con los actuales Códigos de Análisis de Consecuencias, del comportamiento de los radionucleidos depositados y las dosis resultantes, tanto por vía externa en las áreas urbanas como por ingestión de alimentos en las agrícolas. Dichos modelos podrían servir de apoyo para evaluar las medidas de protección que se pudieran adoptar tras un accidente radiactivo (utilizando, por ejemplo, técnicas de análisis coste/beneficio o de utilidad multiatributos), con el objetivo de mejorar la situación existente, y conseguir encontrar la solución más favorable para la sociedad y sus individuos.

José Enrique Martín García
y Eduardo Gallego Díaz

Cátedra de Tecnología nuclear
E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES
Universidad Politécnica de Madrid
c/ José Gutiérrez Abascal, 2
E-28006 Madrid



Los modelos desarrollados son lo suficientemente flexibles como para poder ser adaptados a diferentes emplazamientos, e incorporan la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad e incertidumbres de los parámetros que intervienen y de considerar una amplia gama de medidas de protección.

INTRODUCCION

La experiencia posterior al accidente nuclear de Chernobyl ha mostrado la importancia del conocimiento previo, con la mayor exactitud posible, de la distribución de los contaminantes radiactivos en el medio ambiente, a fin de poder evaluar la eficacia de las medidas de protección a adoptar. Para ello será necesario disponer de herramientas apropiadas que permitan simular la evolución espacial y temporal de los radionucleidos en diversos entornos, de forma natural o considerando las acciones adoptadas.

Este trabajo se enmarca dentro de la metodología ACA (Accident Consequence Assessment, en inglés, ó Análisis de Consecuencias de Accidentes, en castellano). Dicha metodología contempla diversos aspectos que van

desde la dispersión atmosférica de los contaminantes radiactivos, su distribución por el medio ambiente, el cálculo de las dosis potenciales a la población, los daños a la salud derivados y, dependiendo de las medidas de protección adoptadas para reducir las dosis, el coste económico asociado.

Existen diversos códigos de cálculo que contemplan todos estos aspectos conjuntamente, generalmente bajo un enfoque probabilista. Ejemplos recientes, con amplia difusión internacional, son el código de la U.S. NRC, MACCS (MELCOR Accident Consequence Code System, Ch90), o el desarrollado dentro del programa de investigación MARIA (Methods for Assessing the Radiological Impact of Accidents) de la CEE, llamado COSYMA (COde SYstem of MARIA program, CEC91). También, dentro de la

metodología ACA, se están desarrollando internacionalmente diversos códigos que contemplan la primera fase del accidente nuclear (fase de emergencia), funcionando generalmente en tiempo real, alimentados por datos radiológicos y atmosféricos.

Los códigos mencionados modelan adecuadamente la fase de emergencia y el problema ACA tratado en su conjunto de forma probabilista. Sin embargo, las fases intermedia y de recuperación o post-emergencia (largo plazo) aún no están modeladas con suficiente detalle. A la hora de calcular las dosis externas en zonas urbanas durante la fase de post-emergencia, utilizando los modelos de los códigos generales de naturaleza probabilista, se tiene un grado significativo de incertidumbre, ya que la evolución real de los radionucleidos está modelada en ellos de una

manera muy general, sin tener en cuenta la potencialidad de las propiedades de los diferentes tipos de superficies que existen en el entorno urbano. No se puede olvidar que la exposición externa es una de las vías que más pueden contribuir a las dosis individuales y colectivas a largo plazo. Igual sucede a la hora de calcular las dosis por ingestión de alimentos contaminados (la otra vía de exposición más significativa a largo plazo), para lo cual, en los códigos probabilistas generales, se suelen utilizar factores de transferencia desde suelo contaminado a cada tipo de alimento. Dichos factores engloban multitud de fenómenos, por lo que incorporan unas incertidumbres considerables.

Por todo ello, resulta necesario crear modelos que permitan una simulación realista del comportamiento de los radionucleidos depositados y de las dosis resultantes, tanto por vía externa en áreas urbanas como por ingestión de alimentos en zonas agrícolas; y que sirvan de ayuda para la evaluación de las medidas de protección que se pudieran adoptar tras un accidente radiológico. La adopción de decisiones en

tales circunstancias (utilizando, por ejemplo, técnicas de análisis coste/beneficio o de utilidad multiatributos) ha de tener como objetivo la mejora de la situación existente, de forma que se obtenga un beneficio neto positivo para la sociedad y sus individuos; buscando, en la medida de lo posible, hacerlo máximo, basándose en razonamientos objetivos, de tipo radiológico o socio-económico, entre otros (ICRP91). Los modelos desarrollados han de poderse adaptar a diferentes emplazamientos, permitir la realización de análisis de sensibilidad e incertidumbres de los parámetros que intervienen y poder considerar una gama suficientemente amplia de medidas de protección, evaluando en cada caso las dosis evitadas y los costes asociados a las mismas.

Dentro del proyecto sobre *"Optimización de las medidas de recuperación del emplazamiento después de accidentes nucleares"*, que se ha realizado con el patrocinio del programa de Radioprotección de la CCE, se han desarrollado dos códigos: URBAPAT (Ma92a), que modela la irradiación externa y la eficacia de las medidas de protección en

entornos urbanos y AGROPAT (Ma92b), que modela la contaminación de productos agrícolas, con o sin acciones correctoras.

CODIGO URBAPAT.

Para simular el comportamiento y evolución de los radionucleidos en entornos urbanos se ha optado por un modelo dinámico, basado en la teoría de modelos lineales multicompartimentales, donde se establecen tasas de transferencia de radionucleidos de un compartimiento a otro. Dicho código de cálculo se denomina URBAPAT (URBAN PATHway), está escrito en FORTRAN77, para poder ser adaptado fácilmente a cualquier ordenador, y modela entre otros los siguientes aspectos:

- Distribución del material depositado en diferentes superficies urbanas y su evolución espacial y temporal.
- Contribución de cada superficie a la tasa de dosis por exposición externa.
- Diferentes grupos de individuos, clasificados en función de sus tiempos de permanen-



cia en diversas ubicaciones urbanas.

- Consideración de diferentes métodos de descontaminación de superficies urbanas.
- Análisis *coste/efectividad* de las medidas de protección supuestas.
- Análisis de *sensibilidad/incertidumbres* en los parámetros principales del modelo.

El **modelo** consta de 21 compartimientos que simulan la evolución de los radionucleidos en cinco superficies urbanas: tejados, paredes, superficies no pavimentadas (jardines, parques y tierra), áreas pavimentadas y árboles. La Figura 1 muestra la estructura del modelo, con las vías de transferencia de un compartimiento a otro. Para el caso de superficies impermeables (como paredes, áreas pavimentadas y tejados) la actividad se pre-

sentará en cuatro formas, para poder simular con mayor exactitud su fijación a las superficies, o su desaparición por la acción de los agentes atmosféricos, humanos y de otro tipo. Las cuatro formas son: forma fija, forma móvil y dos formas meteorizadas. Las formas meteorizadas simulan la pérdida de los radionucleidos fijados a una superficie con dos constantes de tiempo: una fracción de la actividad fijada en cada superficie se perderá más rápida-

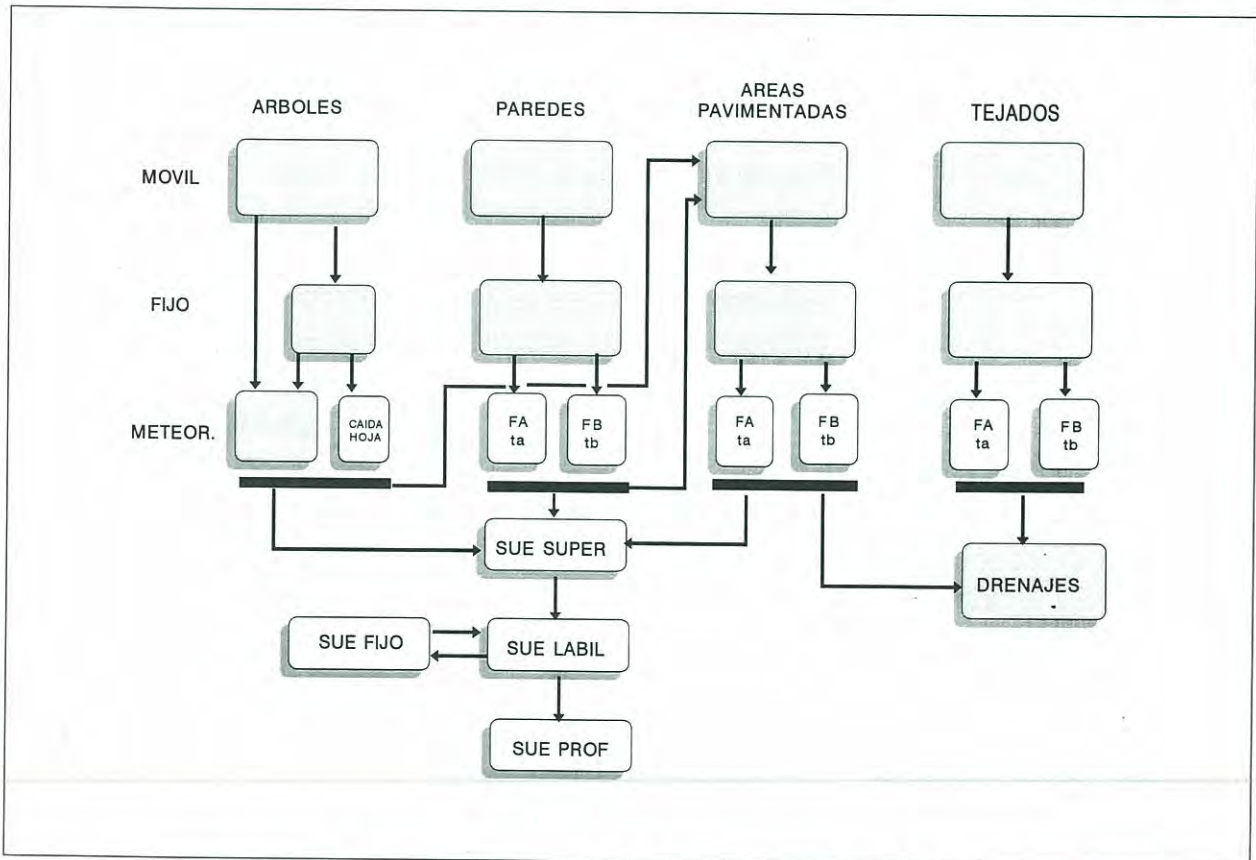


Fig. 1. Estructura del modelo con las posibles vías de transferencia en condiciones de deposición seca y durante el período de simulación anterior a la caída de la primera lluvia.

mente, debido a la acción de la lluvia y de las labores de limpieza municipal habituales; sin embargo, otra fracción quedará fuertemente adherida y su pérdida será más difícil, por lo que su constante de tiempo será más grande. Para simular la evolución del material radiactivo depositado en superficies permeables, jardines y tierra (que a la larga serán las superficies que más contribuirán a la tasa de dosis), se consideran cuatro compartimientos para poder tener en cuenta los siguientes fenómenos: la filtración; la adsorción de material radiactivo, o paso de forma lábil a fija; la desorción, o paso de forma fija a lábil y el fenómeno de lixiviación, con el paso de material radiactivo a capas más profundas del suelo. Los compartimientos empleados para simular estos fenómenos son: Suelo superficial (0-1 cm); suelo con radionucleidos en forma lábil (1-25 cm); con radionucleidos en forma fija (1-25 cm) y suelo profundo (>25 cm).

Parte de los parámetros y modelos considerados en el código están siendo contrastados en el ejercicio internacional VAMP (Validation of Models for the Transfer of Radionuclides in

Terrestrial, Urban and Aquatic Environments) propuesto por el OIEA y la CCE.

En URBAPAT se consideran tres entornos urbanos: rural, residencial y grandes bloques de edificios. En ellos, las personas pueden estar ubicadas en diferentes partes de los edificios, pudiendo recibir una tasa de dosis que dependerá del lugar donde se hallen y de las superficies contaminadas. Se tienen en cuenta cuatro radionucleidos que típicamente son de los que más contribuyen a las dosis por exposición a medio y largo plazo tras un accidente nuclear (Ke87): ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , y ^{132}Te .

El código estima la tasa de dosis individual partiendo de los trabajos realizados por Meckback y otros (Me88), donde se calcula el Kerma en aire en diferentes ubicaciones del entorno urbano, debidas al material radiactivo depositado en varias superficies. En dicho trabajo se consideran cuatro entornos urbanos caracterizados por el tipo de edificios, cuyas dimensiones y materiales de construcción responden a los que generalmente se utilizan en Europa. Las tasas de dosis de

referencia se han calculado por el método de Monte-Carlo para emisores monoenergéticos de 0.3, 0.662 y 3.0 MeV.

La **tasa de dosis por exposición externa**, D_{ni} , a un órgano n , por cada radionucleido, para los miembros del grupo de población i , debido a la actividad depositada en suelo, $A(\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2})$, se calcula de la siguiente forma:

$$\dot{D}_{ni} = \sum_j p_{ij} \cdot \sum_k A \cdot r_k(t) \cdot f_{jk} \cdot k_n,$$

donde

p_{ij} es la fracción del tiempo de los individuos del grupo i en la ubicación j ;

k_n la tasa de dosis equivalente para un órgano n ($\text{pSv} \cdot \text{s}^{-1}$ por $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$) por unidad de actividad depositada en suelo;

f_{jk} el factor de localización, que es el cociente entre el kerma debido a la exposición de un radionucleido depositado en una superficie k , en una ubicación j , y el kerma de referencia en suelo; y



$r_k(t)$ la intensidad relativa de las fuentes de radiación en la superficie k , con respecto a la intensidad que daría una fuente de radiación en un plano infinito de suelo, tras una deposición seca.

Una vez conocidas las dosis que se recibirían potencialmente, el código puede considerar una serie de medidas de protección para su reducción, tales como la

descontaminación, la prohibición temporal de uso de propiedades, el traslado de la población y la expropiación definitiva de propiedades. En un mismo cálculo, se pueden especificar varias estrategias de cara a reducir las dosis lo máximo posible, combinando la descontaminación y el traslado de la población. Los costes ocasionados al aplicar dichas medidas de protección se evalúan empleando los modelos del programa MECA2 (Model for Econo-

mic Consequence Assessment) (Ga92), por lo que, al combinar factores radiológicos y económicos en las estimaciones, se podría elegir la mejor estrategia desde el punto de vista del análisis *coste/efectividad* o del análisis de *utilidad multiatributo*. Como ejemplo, se ha considerado una contaminación por ^{137}Cs , para evaluar la efectividad de varias estrategias de intervención, combinando la descontaminación de distintas superficies, con diversos

TABLA I
PARAMETROS QUE DEFINEN LAS ESTRATEGIAS ANALIZADAS

ESTRATEGIA	SUPERFICIE	METODO	FD o FRD	COSTE ECU/m ²	INICIO TRASLADO	FINAL TRASLADO
1	Sup no pav	Retirada vegetal	1.5	.02	15	35
2	Paredes	Agua a presión	1.75	1.5	15	75
	tejados	Agua a presión	2.	3		
	Suelo pav	Agua a presión	2.	1		
	Sup no pav	Retirada vegetal	1.5	.02		
3	Paredes	Arena a presión	10	12	15	95
	tejados	Arena a presión	20	20		
	Suelo pav	Sustitución	100	3		
	Sup no pav	Retirada vegetal	1.5	.02		
4	lo mismo que en la estrategia 1				10	600
5	lo mismo que en la estrategia 2				10	700
6	lo mismo que en la estrategia 3				10	300
7	Sin descontaminar				10	700

factores, y el traslado de la población durante la descontaminación o durante un período de tiempo prolongado. Para cada estrategia se toma en cuenta la dosis que se evitaría al aplicarla y los costes que se ocasionarían.

La tabla I muestra los parámetros que definen cada una de las siete estrategias consideradas en el cálculo. Las tres primeras tienen en cuenta la descontaminación acompañada del traslado de la población durante su realización. Las tres siguientes utilizan las mismas técnicas de descontaminación de superficies que las tres primeras, pero considerando

que la población va a estar trasladada durante un período de tiempo más prolongado. La última estrategia tiene en cuenta únicamente un traslado prolongado de la población, dejando que las superficies se descontaminen de forma natural.

La tabla II muestra los resultados para cada estrategia analizada. Estos resultados vienen dados en forma de "costes de la estrategia / dosis evitada" para las tres zonas urbanas consideradas. Los costes se expresan en ECU/persona y la dosis evitada en nSv por unidad de actividad depositada ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ de ^{137}Cs

depositado en suelo). Se observa claramente que, para las tres zonas urbanas, los cuatro primeros lugares los ocupan las estrategias 1^a, 2^a, 3^a y 6^a respectivamente, dándose unos valores relativamente bajos para el caso de la zona rural, con respecto a las otras zonas. Seguidamente están las estrategias 4^a y 5^a, con valores parecidos, seguidas por último de la estrategia 7^a. Las tres estrategias primeras se caracterizan porque la reducción de la dosis es pequeña y en el caso de tener una contaminación apreciable es posible que al aplicarlas no se alcancen niveles aceptables, lo cual debería ser un criterio adicional para la selección.

Este mismo ejemplo se ha analizado con el programa RADE-AID (Wa90) para establecer la clasificación de las estrategias de intervención empleando las técnicas del *análisis de utilidad multiatributos*. Para ello, se han utilizado los datos anteriores para las siete estrategias de intervención, considerando además la no intervención. Asignando un peso idéntico a los atributos (0.5 para el % de la dosis evitada y 0.5 para los costes totales) y usando funcio-

TABLA II
RESULTADO DEL EJERCICIO PARA CADA ESTRATEGIA ANALIZADA
(Coste de la estrategia en ECU/persona) /
(Dosis evitada en nSv/Bq \cdot m⁻² de ¹³⁷Cs)

ESTRATEGIA	ZONA RURAL	ZONA RESIDENCIAL	ZONA GRANDES BLOQUES
1	75	103	495
2	183	252	993
3	371	452	1099
4	1624	2066	8492
5	1698	2111	8403
6	1260	1533	5364
7	5051	6349	20312



nes de valor lineales, se obtiene un resultado similar al proporcionado por el análisis coste/beneficio. Por ejemplo, para la zona residencial, las estrategias 1 y 2 toman igual valor (0.85), seguidas por la 3ª (0.84) y la 6ª (0.63); después aparecen la estrategia 4ª (0.51), la 5ª (0.5) y la no intervención (0.5), con valores muy parecidos; por último se encuentra la estrategia 7ª, que posee un valor muy bajo (0.17). Con ese tipo de análisis se podrían considerar más atributos, aparte de los radiológicos y económicos, como por ejemplo los socio-políticos. También cabría emplear funciones de valor no lineales y realizar análisis de sensibilidad al variar los factores de ponderación asignados a los atributos.

Cuando no se tienen en cuenta las **incertidumbres de los parámetros del modelo**, como en el caso anterior, se obtiene un único valor para cada estrategia en el análisis coste/beneficio, por lo que se puede establecer claramente su orden de preferencia. Sin embargo, cuando se consideran las incertidumbres en los parámetros de entrada, es posible que en unos cálculos resulten como estrategias más convenientes

unas y en otros otras diferentes. Como demostración, y sobre el ejemplo anterior, se han considerado incertidumbres en 26 parámetros de entrada y se ha ejecutado el código 60 veces, obteniendo el resultado que se muestra en la Figura 2. Pueden observarse claramente tres tipos de estrategias. En las tres primeras se advierte que la incertidumbre en los costes es muy pequeña, debido a que estarán muy influidos por el coste de la descontaminación, cuya incertidumbre no se ha considerado. Para las demás estrategias se aprecia un aumento de la incertidumbre en el coste al aumentar la dura-

ción del período de traslado de la población. Además, para la estrategia 7, la incertidumbre en la dosis evitada resulta pequeña debido a que el cálculo no está afectado por ningún parámetro relacionado con la descontaminación de superficies. En los anteriores análisis sin considerar incertidumbres, las estrategias 4ª y 5ª resultaban similares y no se podía dar una preferencia clara. El análisis de incertidumbres, representado en la figura 2, proporcionaría un mejor elemento de juicio para la elección entre una u otra: En general, si se desea evitar una mayor dosis, a costa de aumentar los costes económicos,

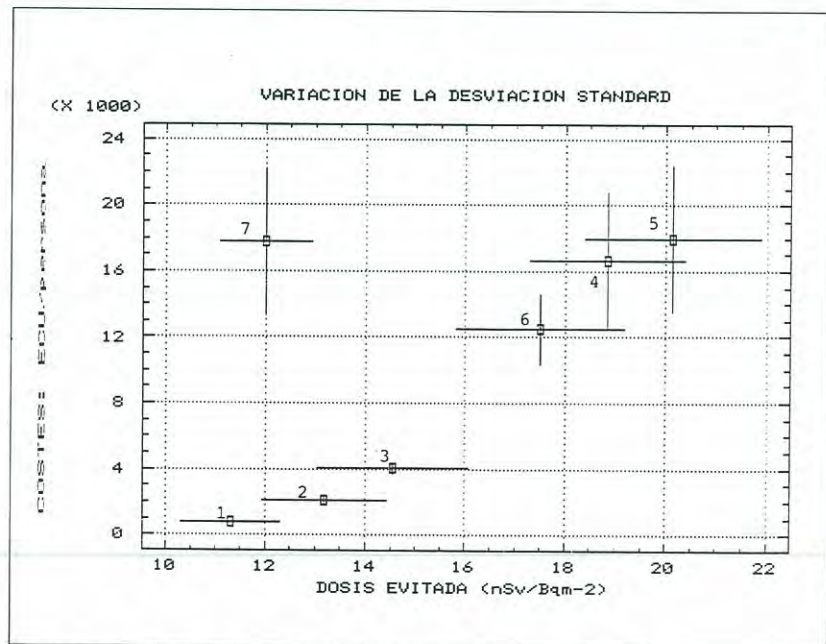


Fig. 2. Variación de la desviación estándar para las dosis evitadas y los costes de las estrategias en la zona residencial.

se elegiría la estrategia 5; en caso contrario, cuando la preferencia sea por reducir los costes, aun sin evitar mucha dosis, se elegiría la 4.

CODIGO AGROPAT.

El código AGROPAT (Ma92b) se ha desarrollado para simular la evolución de los radionucleidos en diferentes subsistemas agrícolas, permitiendo calcular la efectividad de distintas medidas de protección frente a la contaminación de los alimentos, de forma que sirva como instrumento de apoyo a la toma de decisiones en ese sentido. Para ello, se han creado cuatro programas independientes para los principales subsistemas: (1) alimento-vaca-carne y leche; (2) cereales-carne de cerdo, carne de pollo y huevos; (3) verduras y (4) patatas. Los programas han sido escritos en MS-FORTRAN empleando el paquete TIME-ZERO (Ki90), pudiéndose instalar fácilmente en un PC compatible. Además, dicho paquete está preparado para su manejo interactivo por el usuario, por lo que los códigos de cálculo resultan muy flexibles, permitiendo variar los parámetros, ejecutar y observar los resultados gráfica-

mente por medio de menús. También incorpora la posibilidad de poder realizar fácilmente análisis estadísticos de sensibilidad e incertidumbre de los parámetros que se consideren inciertos o que varíen. Los modelos son adaptables a las características del emplazamiento y pueden considerar la variación estacional de distintos parámetros, como la dieta animal y los periodos de cosecha: dos factores claves para predecir la contaminación de los productos y, por tanto, las dosis por ingestión. Se han realizado validaciones parciales frente a datos reales del escenario CB (Ejercicio VAMP del OIEA y de la CCE, ref.VAMP92).

Para simular la evolución de los radionucleidos en los subsistemas agrícolas, se utilizan modelos dinámicos basados en la teoría de modelos lineales compartimentales, donde se establecen tasas de transferencia de radionucleidos de un compartimento a otro, teniendo en cuenta diversos fenómenos físicos, como: interceptación de material radiactivo por las plantas (considerando el estado de crecimiento de las mismas); meteorización; translocación; crecimiento de las plantas;

absorción por raíz; recolección; resuspensión del material radiactivo desde el suelo; filtración; lixiviación; fijación del material radiactivo por el suelo y otras. Como ejemplo, la figura 3 muestra la estructura del submodelo ALIMENTO — VACA — LECHE & CARNE con los compartimentos y fenómenos físicos que se tienen en cuenta.

Los modelos estiman la concentración, en varios productos agrícolas, de los radionucleidos más significativos para la dosis por ingestión (^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr), por unidad de actividad depositada en el suelo, que podemos llamar CIT_{rp} una vez integrada en el tiempo (para el radionucleido r en el producto p , en $\text{Bq}\cdot\text{d}\cdot\text{Kg}^{-1}$ por $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ depositado en suelo).

A partir de estas concentraciones, la **dosis individual a un órgano o por ingestión del producto p** , DIP_{rpo} (en Sv) para un radionucleido r , será:

$$\text{DIP}_{rpo} = F_r \cdot \text{CIT}_{rp} \cdot \text{TI}_p \cdot \text{FCD}_{ro}$$

donde

F_r es la actividad del radionucleido r depositada en el suelo ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$);

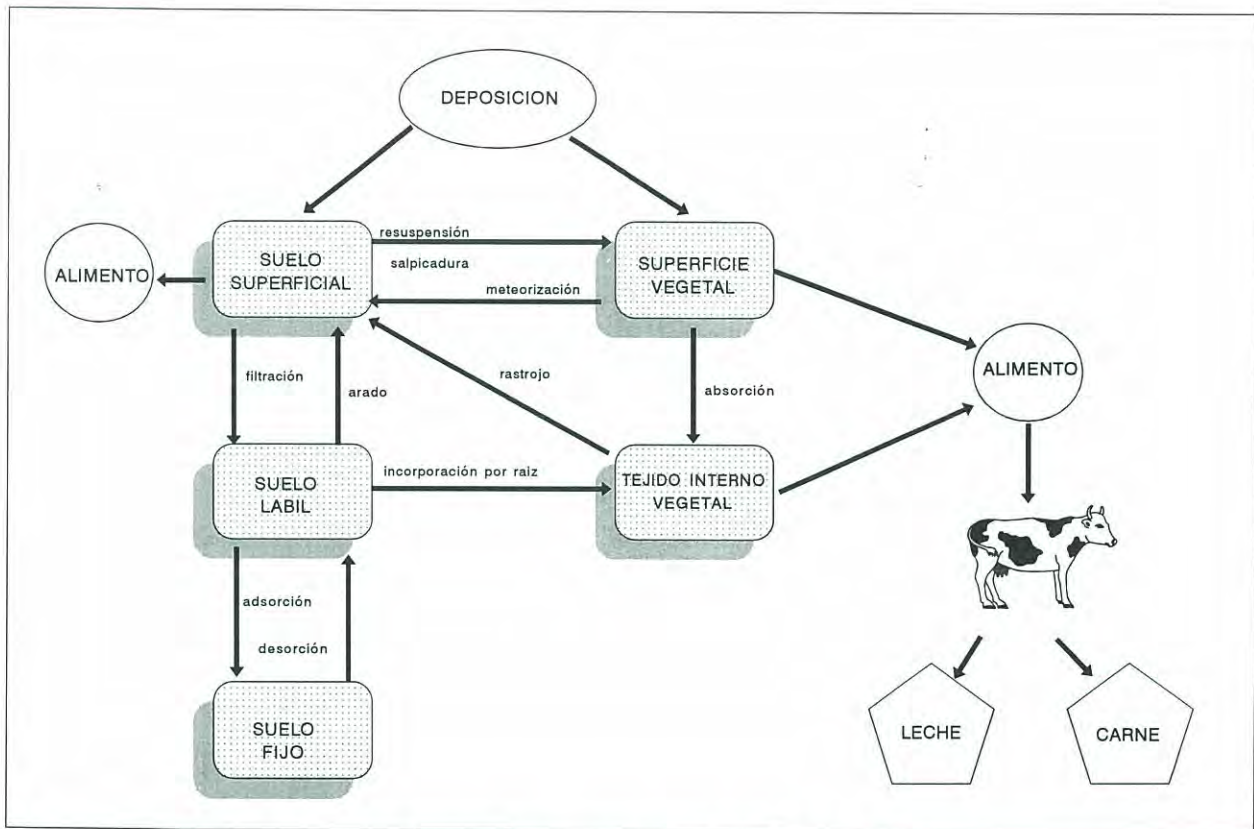


Fig. 3. Estructura del submodelo PASTO_VACA_LECHE & CARNE.

TI_p la dieta del individuo o tasa de ingestión del producto p ($kg \cdot d^{-1}$);

FCD_{ro} el factor de conversión a dosis para el órgano o y el radionucleido r ($Sv \cdot Bq^{-1}$).

Análogamente, para calcular la dosis colectiva por ingestión, bastaría con sustituir la tasa de ingestión individual del producto, por la producción agrícola o ganadera del mismo en la región considerada.

Se ha establecido una **metodología para evaluar la eficacia de las medidas de protección** y estimar cuando se aplicaría cada una de ellas, dependiendo del nivel de contaminación que se alcanzase en el alimento. A falta de normativa nacional específica, la metodología se basa en los principios básicos recomendados por la CIPR para intervenciones o situaciones post-accidentales (ICRP91):

- La puesta en práctica de una medida de protección debe

producir “más beneficio que daño”, es decir que debe estar **justificada**.

- Si una medida protectora está justificada, entonces debe ser implantada en las mejores condiciones (forma, escala, duración...), ha de ser **optimizada**.

A partir de dichos principios es posible establecer “**niveles de intervención**”, que se utilizarían para decidir sobre la aplicación de cada medida de protección. A

continuación se presenta la aplicación de la metodología para las medidas cuyo objetivo es reducir el nivel de contaminación en productos agrícolas. Para simplificar el caso, se considera la contaminación de un producto agrícola con un único radionucleido; pudiéndose ampliar fácilmente el supuesto a varios radionucleidos y varios productos agrícolas.

Justificación de una medida de protección.

Ante una situación en la que se haya producido la contaminación radiactiva de productos alimenticios, siempre cabe plantearse la elección entre tres alternativas: (1) confiscar los productos agrícolas o los alimentos contaminados; (2) adoptar alguna medida especial de protección o (3) simplemente no actuar. Si en la decisión se toman en cuenta como únicos factores las dosis evitadas y los costes de cada alternativa, el índice más adecuado para comparar unas frente a otras será el coste monetario ocasionado por unidad de dosis evitada. Para el primer caso valdrá:

$$A = \frac{CP}{D}$$

Donde **CP** sería el coste ocasionados por la confiscación del producto, estando incluidos los costes de su gestión como residuo radiactivo, si hiciera falta considerarlos. **D** serían las dosis esperadas por el consumo de ese alimento, que se evitarían completamente en el caso de resultar confiscado. Para el segundo caso, el coste por unidad de dosis evitada vendría dado de la siguiente forma:

$$B = \frac{CC}{D - D_c}$$

Donde **CC** sería el coste de la medida de protección y **Dc** la dosis esperada después de aplicar la medida. Por lo tanto, el denominador representaría la dosis evitada. En base a lo anterior, se puede afirmar que la medida de protección estaría justificada frente a la confiscación total cuando B sea menor que A, o lo que es lo mismo

$$\frac{CC}{CP} < \mu, \text{ donde } \mu = \frac{(D - D_c)}{D};$$

habiendo definido μ como la relación entre dosis evitada y la dosis esperada sin ninguna medida de protección, es decir, la fracción de dosis evitada.

Establecimiento de los niveles de intervención para cada medida de protección.

Es posible asignar un valor monetario, α , a la unidad de dosis evitada, que represente la cantidad que se estaría dispuesto a pagar para reducir el riesgo que tal dosis representaría para los individuos de la sociedad en su conjunto. A partir de α , y del coste unitario del producto a controlar, CP, se puede establecer un "nivel óptimo" de contaminación de un producto $U_{opt}(Cr91)$ que sería un valor indicativo de la concentración límite de un radionucleido en un producto agrícola que se podría considerar aceptable para una región o país:

$$U_{opt} \left(\frac{Bq}{kg} \right) = \frac{CP \left(\frac{ECU}{kg} \right)}{\alpha \left(\frac{ECU}{Sv} \right) \cdot H_e \left(\frac{Sv}{Bq} \right)}$$

donde H_e es la dosis efectiva comprometida por unidad de actividad ingerida ($Sv \cdot Bq^{-1}$). Dado que los costes de la sustitución de los productos alimenticios, y el valor asignado a la unidad de dosis evitada, variarán con el nivel de vida de un país, es razonable pensar que el nivel "óptimo" sea similar en todos los países,



con independencia de su nivel de desarrollo.

Resulta ahora conveniente referir la contaminación real a U_{opt} . Cuando la concentración U del radionucleido en el producto agrícola sea menor de U_{opt} se tendrán dos alternativas a la hora de actuar: no hacer nada y dejar que los individuos reciban dosis bajas, a cambio de no tener ningún coste monetario; o invocar alguna medida de protección para que las dosis se reduzcan, a cambio de tener unos costes monetarios asociados. Por el contrario, si la concentración U del radionucleido en el producto agrícola fuese mayor que U_{opt} se tendrían como alternativas: o prohibir el consumo del producto o alimento para no tener ninguna dosis por ingestión, a cambio del coste monetario asociado a su sustitución, generalmente elevado; o invocar alguna medida de protección para que las dosis se reduzcan, a cambio de tener unos costes monetarios menores asociados. Ante estas alternativas se debería tomar una decisión por medio del análisis coste/beneficio, pudiéndose alcanzar como conclusión que la medida será conveniente cuando

el nivel de contaminación esté comprendido entre los valores

$$\frac{CC}{CP} \cdot \frac{1}{\mu} \cdot U_{opt} \text{ y } \left(1 - \frac{CC}{CP}\right) \cdot \frac{1}{1-\mu} \cdot U_{opt}$$

A partir de los razonamientos expuestos se puede construir un gráfico como el de la Figura 4, donde se puede observar fácilmente cuándo sería conveniente aplicar la medida de protección,

dependiendo del nivel de contaminación que se haya alcanzado en el producto agrícola, normalizado dividiendo por U_{opt} ; de la relación entre el coste de la medida de protección y el coste del producto (CC/CP) y de la fracción de dosis evitada con la contramedida μ , pudiendo definir en la gráfica una zona delimitada por las rectas que representan a μ . Para los puntos dentro de dicha área estaría justificada la implantación de la medida, además de ser útil,

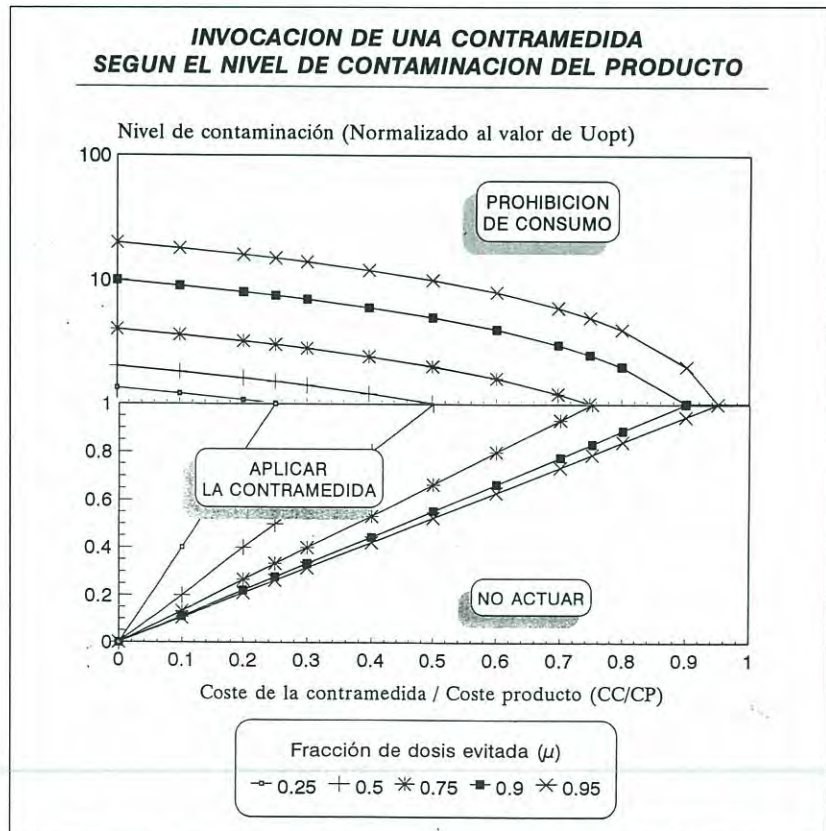


Fig. 4. Invocación de una contramedida dependiendo del nivel de contaminación alcanzado en el producto normalizado al nivel de intervención y de la relación entre Coste de la contramedida/Coste del producto, para distintos valores de la fracción de dosis evitada.

pudiendo determinarse los niveles superior e inferior de intervención respecto de la misma. Después, con los valores de la contaminación del producto normalizada al nivel de contaminación óptimo y CC/CP se puede buscar en la gráfica si el punto que representan cae dentro o fuera de la zona de aplicación de la medida. Si cayese dentro, ésta podría aplicarse; en caso contrario, o bien no se tomaría ninguna acción o se prohibirá el consumo del producto, según que su nivel de contaminación fuese menor o mayor que U_{opt} .

Optimización en la elección de las medidas de protección.

Una vez determinados los niveles entre los que cabría aplicar las medidas de protección, para cumplir con el principio básico de "optimización de la intervención" habría que hacer una valoración entre los beneficios y los daños derivados de dicha aplicación, buscando la mejor opción de entre las justificables. Para ello se podría aplicar la técnica del análisis coste/beneficio, tomando en cuenta únicamente las dosis evitadas y los costes económicos ocasionados;

o la técnica del análisis de utilidad multiatributos, con la que se podrían considerar también atributos de otra naturaleza, socio-

políticos o psicológicos por ejemplo.

CONCLUSIONES.

** Con el código URBAPAT se dispone de una herramienta para simular la evolución del material radiactivo depositado en entornos urbanos, así como las dosis potenciales que recibiría la población que habite esas zonas por exposición externa, y la eficacia de las medidas de protección aplicables para su reducción: descontaminación de superficies con diferentes factores y traslado de la población, pudiendo incluir diferentes combinaciones de las mismas. A la simulación se incorpora la consideración de las incertidumbres en los datos de entrada. Como instrumento de apoyo a la toma de decisiones, después de una contaminación radiactiva del medio urbano, el código permite analizar las diferentes alternativas desde el punto de vista del coste-efectividad, proporcionando información útil para el empleo de otras técnicas alternativas, como el análisis de utilidad multiatributo.*

** El código AGROPAT reúne varios submodelos para calcular las concentraciones de radionucleidos en diferentes productos agrícolas y ganaderos tras una contaminación radiactiva del medio agrario. Los cálculos pueden considerar la incertidumbre en los parámetros que definen los modelos. El código ofrece flexibilidad para considerar diversas medidas de protección frente a la contaminación de alimentos, que pueden evaluarse desde el punto de vista de su coste-efectividad. Junto con el código, se ha presentado una metodología útil de cara a la fijación de niveles de intervención, teniendo en cuenta los principios básicos de protección radiológica aplicables a tales situaciones.*

** Ambos modelos constituyen un primer paso en el desarrollo de aplicaciones de apoyo a la evaluación de las medidas de protección post-accidente, requiriéndose esfuerzos adicionales para su adaptación a emplazamientos concretos, para la consideración de un mayor número de radionucleidos y para la mejora de su facilidad de empleo por cualquier usuario.*



AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo ha sido patrocinado por la Comisión de las Comunidades Europeas, contrato BI6-227, sobre "Optimización de las medidas de recuperación del emplazamiento después de accidentes nucleares".

REFERENCIAS.

- | | | | | | |
|-------|--|--------|---|--------|--|
| CEC91 | COSYMA: A New Program Package for Accident Consequence Assessment. Radiation Protection; C.E.C., Informe EUR-13028 EN, 1991. | ICRP91 | 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP PUBLICATION 60. Annals of the ICRP 21, Pergamon Press Inc. Oxford. 1991. | Ma93 | Martín J.E., Nuevos modelos para analizar las medidas de protección en caso de contaminación radiactiva del medio ambiente. Tesis Doctoral, E.T.Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid (1993). |
| Ch90 | Chanin D.I., Sprung J.L., Ritchie L.T., MELCOR Accident Consequence Code System (MACCS Version 1.5). U.S. NRC Informe NUREG/CR-4691. (SAND86-1562). Sandia National Laboratories (1990). | Ke87 | Kelly G.N. The importance of the urban environment for accidental consequences. Radiation Protection Dosimetry, 21 N 1-3 (1987) | Me88 | Meckbach R., Jacob P., Paretzke H.G. "Gamma exposures due to radionuclides deposited in urban environment" Radiation Protection Dosimetry, 25; N° 3 pp 167-179 (1988) |
| Cr91 | Crick M. J., Derived intervention levels for invoking countermeasures in the management of contaminated agricultural environments. International Seminar on Intervention Levels and Countermeasures for Nuclear Accidents (Cadarache, 7-11 October 1991) CEC, Radiation Protection 54, EUR 14469 (1992). | Ki90 | Kirchner T. B. TIME-ZERO, Integrated modeling environment. Quaternary Software Inc. Colorado (1990). | VAMP92 | IAEA,CEC VAMP multiple Pathways assesment, Revised and completed scenario description of test scenario CB. IAEA, CEC, (1992). |
| Ga92 | Gallego, E., MECA2: A model for Economic Consequence Assessment. Version 2, Reference Guide. Cátedra de Tecnología Nuclear, Informe CTN-43/92 Madrid 1992. | Ma92a | Martín J.E., Gallego E., Modelado de la irradiación externa y de la eficacia de las medidas de protección en entornos urbanos contaminados radiológicamente. Cátedra de Tecnología Nuclear, Informe CTN-62/92, Madrid (1992) | Wa90 | Wagenaar G., Ehrhardt J., Morrey M.E., Van der Bosch C.J.H., Robinson C. y Steinhauer C., RADE-AID: The development of a Radiological Accident Decision Aiding System (Final report 1988-1989). T.N.O. Division of Technology for Society (Holanda, 1990). |
| | | Ma92b | Martín J.E., Gallego E., AGROPAT: modelo para calcular contaminación de productos agrícolas, dosis por ingestión y la eficacia de las medidas de protección tras un accidente radiológico. Cátedra de Tecnología Nuclear, Informe CTN-63/92, Madrid (1992). | | |



PERSPECTIVAS DE LA PROTECCION RADIOLOGICA ANTE EL DESARROLLO DE LAS NUEVAS TECNOLOGIAS MEDICAS CON RADIACIONES IONIZANTES

El desarrollo tecnológico médico con radiaciones ionizantes va e irá acompañado de un esfuerzo por controlar y reducir los riesgos inherentes además de hacer de él un instrumento seguro que proporcione diagnósticos cada vez más exactos y tratamientos más eficaces. Sin embargo no es previsible lograr una disminución de la dosis equivalente efectiva anual per cápita debida a la irradiación médica (1.06 mSv en los países de la OCDE), dado que la población general seguirá creciendo, así como la población de más edad (con mayor morbilidad).

El cambio de siglo nos traerá una era de mayor ahorro de costes, pero también una exigencia de mayor calidad de vida. Las tecnologías de alto costo favorecen los procesos diagnósticos y terapéuticos y, por lo tanto, su utilización y difusión están plenamente justificadas, ateniéndonos a los objetivos de la política de la salud. Pero su difusión deberá hacerse con criterios de eficiencia y equidad.

Leopoldo Arranz
Hospital Ramón y Cajal
Carretera de Colmenar, km. 9
E-28034 Madrid



1. INTRODUCCION

La Protección Radiológica en el campo de la Salud está ligada al impresionante desarrollo tecnológico que se está incorporando progresivamente en los procesos diagnósticos y terapéuticos con gran eficiencia.

El diagnóstico por imagen fue revolucionado cuando se introdujo la informática con el tomógrafo computarizado (CT) en la década de los años setenta. Desde entonces, han aparecido nuevas tecnologías de diagnóstico por imagen, tales como la Angiografía por Sustracción digital, los ultrasonidos (US), la Resonancia Magnética (MR) o la Tomografía por Emisión de Positrones (PET), aunque ninguna de las tecnologías se ha difundido a la velocidad que el CT.

En la década de los noventa, la tecnología de diagnóstico por imagen está dando otro gran paso adelante con la introducción de sistemas basados en la digitalización integral de la adquisición, archivo y comunicación de imágenes. Las implicaciones generales que sobre los Servicios de Salud tendrán tales sistemas

PACS (Picture Archiving and Communications Systems) son difíciles de predecir, pero obviamente van a ser muy importantes (1,2).

En la vertiente terapéutica, los desarrollos de modernos sistemas de planificación y tratamiento en teleterapia y de los anticuerpos monoclonales en la radioinmunoterapia, entre otras técnicas, configuran el advenimiento de una familia de potentes tecnologías médicas con gran potencial para solucionar, mejorar e incluso reemplazar procedimientos invasivos.

Las nuevas tecnologías ampliarán el espectro de disponibilidad del médico y por lo tanto, deberá poseer una sólida formación clínica de forma que la elección y planificación del estudio oportuno sean las más adecuadas.

Por otra parte, el número de exploraciones y tratamientos con radiaciones ionizantes aumentará en el futuro, con lo que aumentará la dosis per cápita, por el creciente número de personas ancianas, con su morbilidad asociada.

Los países de la OCDE, dedican progresivamente, por esta razón, un mayor porcentaje de su Producto Interior Bruto (PIB) a los gastos de salud (1,3). El gasto sanitario, en 1990, medido como porcentaje del PIB, tuvo de media, en los países de la OCDE el 7.6 % del PIB, siendo máximo en los Estados Unidos con el 12.4%, seguido de Canadá (9.0 %), Francia (8,9 %) y Suecia (8.8%). Alrededor del 6.6 % estuvieron España y Japón. Los porcentajes menores correspondieron a Gran Bretaña (6.2 %), Grecia (5,5 %) y Turquía (4.0 %).

El desarrollo y la aplicación tecnológica médica están limitados por la economía, ya que, como dijo Drummond, no hay, y nunca habrá, suficientes recursos para satisfacer completamente la demanda humana (5).

La futura difusión y uso de las nuevas tecnologías médicas dependerá, pues, no solo de su efectividad y seguridad sino también de su coste. Estos tres aspectos están altamente relacionados, son complejos y a menudo se deben comparar con la tecnología existente. A menos que una nueva tecnología sea total-

mente innovadora, el problema es saber si su efectividad y seguridad son de suficiente magnitud como para reemplazar a la tecnología existente. Determinar tales aspectos suele requerir estudios clínicos no exentos de dificultades (1,6). A este hecho se añade la gradual variación en el campo de las indicaciones de uso, por cambios producidos en y por la propia tecnología, por lo que proporciona una complejidad adicional a las previsiones de su difusión.

Este problema llevó a la Organización Mundial de la Salud a incluir en el programa "Salud para todos en el año 2000" el objetivo 38: "Antes de 1990, todos los Estados Miembros, deberán establecer un mecanismo oficial de valoración sistemática del adecuado uso de las tecnologías sanitarias, de su eficacia práctica y económica, de su seguridad y aceptabilidad, así como de la medida en que responden a los programas sanitarios y a las restricciones económicas nacionales" (7).

2. PERSPECTIVAS DE FUTURO

2.1 RADIODIAGNOSTICO

En pocos campos ha incidido de una forma tan especial la informática como en la obtención, almacenamiento y procesado de señales biológicas. En el campo del hardware, la evolución actual es hacia ordenadores más potentes, de menor tamaño, más económicos y con memorias de mayor capacidad, con acceso más rápido a la información. Además es previsible una evolución en la búsqueda de un software más inteligible. Esto está comportando un desarrollo impresionante de la tecnología diagnóstica. Desde hace años, el tratamiento digital de las imágenes biomédicas se utiliza en técnicas como la tomografía computarizada (TC), la angiografía digital, la medicina nuclear, la imagen por resonancia magnética (MR) y ultrasonidos (US). Hasta hace poco los métodos de digitalización de las imágenes de radiología convencional - los cuales representan un 75-80% del total de las producidas por un hospital - no podían tener mucha difusión ya que cada imagen radiográfica, posee una gran

resolución espacial y de contraste, por lo que requiere entre 3 y 6 Mbytes de capacidad de memoria, necesidad informática impenable hace unos años (8). Hoy, el desarrollo de la informática permite la manipulación de las imágenes, su postproceso, la transmisión de dichas imágenes a larga distancia y la posibilidad de utilizar un archivo electrónico. Todo ello, disminuyendo la dosis de radiación y disminuyendo el número de estudios repetidos por errores en la técnica de exposición (9).

2.1.1 Sistemas de adquisición de imagen digital en radiología convencional

Existen varios sistemas de adquisición de imagen digital aplicables a la radiología convencional, siendo cuatro los implantados en la actualidad (10):

1. Radiografía computarizada (CR)
2. Fluoroscopia y fluorografía digital
3. Digitalización de la película radiográfica
4. Radiografía digital de barrido con ecualizador



En un futuro, se incorporarán los sistemas que utilizan detectores de selenio, actualmente en fase de experimentación y desarrollo (11, 12).

La radiografía computarizada (CR) con soporte luminiscente, es un sistema que permite obtener imágenes directamente digitales utilizando los equipos radiológicos y las instalaciones ya existentes, con las técnicas de exploración habituales en los servicios de radiología. El soporte de imagen absorbe los rayos X quedando latentes en su estructura química hasta que, al ser estimulados por un laser, la energía absorbida se emite en forma de luz. Los soportes de imagen presentan una respuesta a la radiación muy lineal, una sensibilidad mayor que la combinación convencional de película-pantalla de refuerzo y un espectro de detección de varios órdenes de magnitud superior al sistema tradicional de película. Este sistema puede ser utilizado en todas las exploraciones de radiología convencional, especialmente en radiografía pediátrica, radiología de urgencia, estudios osteoarticulares y en radiografías de tórax (13).

En la fluoroscopia digital, la señal analógica procedente de la cámara de televisión se digitaliza mediante un convertidor analógico-digital con un procedimiento de barrido secuencial de video a una velocidad de más de 8 imágenes por segundo. Puede proporcionar imágenes digitales fijas disponibles en cualquier momento y una imagen en movimiento de elevada calidad. En la fluorografía digital se utilizan técnicas radiográficas equivalentes a las convencionales, pero utilizando como elemento sensor/receptor, el tubo intensificador de imagen cuya salida, al igual que el anterior, es digitalizada.

La digitalización de la película radiográfica convencional se realiza mediante un sistema de video cámara ó un scanner-laser que mide punto a punto la densidad óptica de la película y la transforma en imagen digital. Este sistema es imprescindible para el archivo y transmisión de radiografías, siendo su uso rutinario, fácil y económico.

La radiografía digital de barrido con ecualizador permite obtener imágenes digitales, fundamentalmente de tórax, modulando la

intensidad de los rayos X en función de la atenuación producida por el paciente (9).

2.1.2 PACS

Los sistemas de digitalización de la radiografía convencional que he mencionado son la puerta de entrada para su integración en los sistemas de archivo y comunicación de imágenes digitales, PACS (Picture Archive and Communication Systems), que permiten disponer de todo tipo de imágenes médicas de cada enfermo, con sus correspondientes informes radiológicos en un archivo digital. Un PACS se compone de múltiples estaciones de trabajo con una o varias pantallas gráficas interconectadas con una red local, y con una memoria en discos magnéticos de algunos gigabytes y con un archivo en discos ópticos para almacenar definitivamente toda la información. Con la visualización de las imágenes en las estaciones de trabajo, sus pantallas de alta definición distribuidas por todo el hospital, se hace posible la eliminación de la película radiográfica y se facilita el acceso instantáneo del médico a toda la información de diagnóstico por imagen de una

manera cómoda y ordenada, sin posibilidad de pérdidas ni retrasos. La red local más utilizada actualmente es la Ethernet (10 Mbits/seg.) por cable coaxial, pero los equipos más recientes están ya utilizando el nuevo standard FDDI (100 Mbits/seg.) sobre fibra óptica (8).

Estas redes se han de integrar con los sistemas HIS (Hospital Information System), sistema que aporta la documentación de identificación personal y demográfica del paciente, así como los datos más relevantes de su historial clínico, y con los sistemas RIS (Radiologic Information System), que a partir de los datos vía HIS, realiza las funciones de citación, práctica de la exploración, realización de informe radiológico, facturación y control estadístico (14).

Con la integración de estos tres grandes sistemas informáticos (PACS, HIS y RIS) se conforma un servicio de diagnóstico por imagen y un hospital inteligentes.

Se cree que sobre 1995 los PACS llegarán al nivel de producto estable. No obstante, su difusión en todos los departamentos

hospitalarios, empezarán después del año 2000, por el abaratamiento del producto por su producción a mayor escala, especialmente gracias al desarrollo de los sistemas de telecomunicación de banda ancha.

2.1.3 La Telerradiología

Los sistemas de telerradiología transmiten electrónicamente imágenes radiográficas y texto de un lugar a otro, por lo que permiten establecer unos mecanismos de consulta de expertos desde puntos alejados geográficamente, utilizando la red telefónica, la fibra óptica, la vía satélite, etc.

Desde el punto de vista técnico, un negatoscopio, una cámara con video de alta resolución, un ordenador personal (PC 486 o Apple Macintosh) con pantalla de alta resolución y un software de digitalización de imagen de video serían los requisitos mínimos para digitalizar imágenes. Conectando este ordenador con un modem a la línea telefónica, se puede comunicar con cualquier otro punto que tenga un sistema similar.

La telerradiografía puede ser

muy útil en países donde el número de radiólogos no sea muy elevado y exista una red extensa de hospitales comarcales y centros de asistencia primaria.

Actualmente, se están estudiando protocolos de comunicación de imágenes entre diversos hospitales europeos dentro del programa RACE de la CCE.(8).

2.1.4 Los tubos de rayos X

Independientemente del desarrollo de la obtención y del tratamiento de la imagen, no se puede olvidar que la fuente de radiación de los equipos de radiodiagnóstico es el tubo de rayos X anódico rotatorio. Desde su invención, en 1929, ha habido una incesante evolución, especialmente en el perfeccionamiento de las técnicas de la disipación calorífica. La última aportación de tecnología en este campo, ha sido el optimizar el sistema de rodamiento del ánodo, en 2 sentidos (15):

- Mediante un sistema de deslizamiento sobre colchón hidráulico, se reduce el desgaste mecánico y se prolonga, casi con carácter indefinido, la vida del tubo.



- El colchón hidráulico permite una mucho más eficaz evacuación del calor generado en el ánodo.

2.1.5 Consideraciones sobre la protección radiológica

Los avances tecnológicos en radiodiagnóstico implican una reducción efectiva de la dosis por exploración salvo en casos como el CT, que ofrece una excelente

representación de las estructuras del bajo contraste y ofrece la posibilidad de visionarlas de forma menos invasivas que otros procedimientos, especialmente en los equipos más desarrollados de giro helicoidal, pero en cambio, las imágenes se obtienen muchas veces con lentitud y con pocas posibilidades de reducir la dosis.

Estudios de dosimetría en pacientes han demostrado una

reducción de dosis (10, 16) en la radiología digital, particularmente en las exploraciones diagnósticas de mayor riesgo (estudios digestivos y urológicos), donde las reducciones de dosis varían entre el 32% al 69%. Fig. 1 (17).

Además, los sistemas digitales permiten un amplio rango dinámico, es decir, una capacidad de producir una imagen correcta a partir de un gran margen de error en la dosis de radiación empleada.

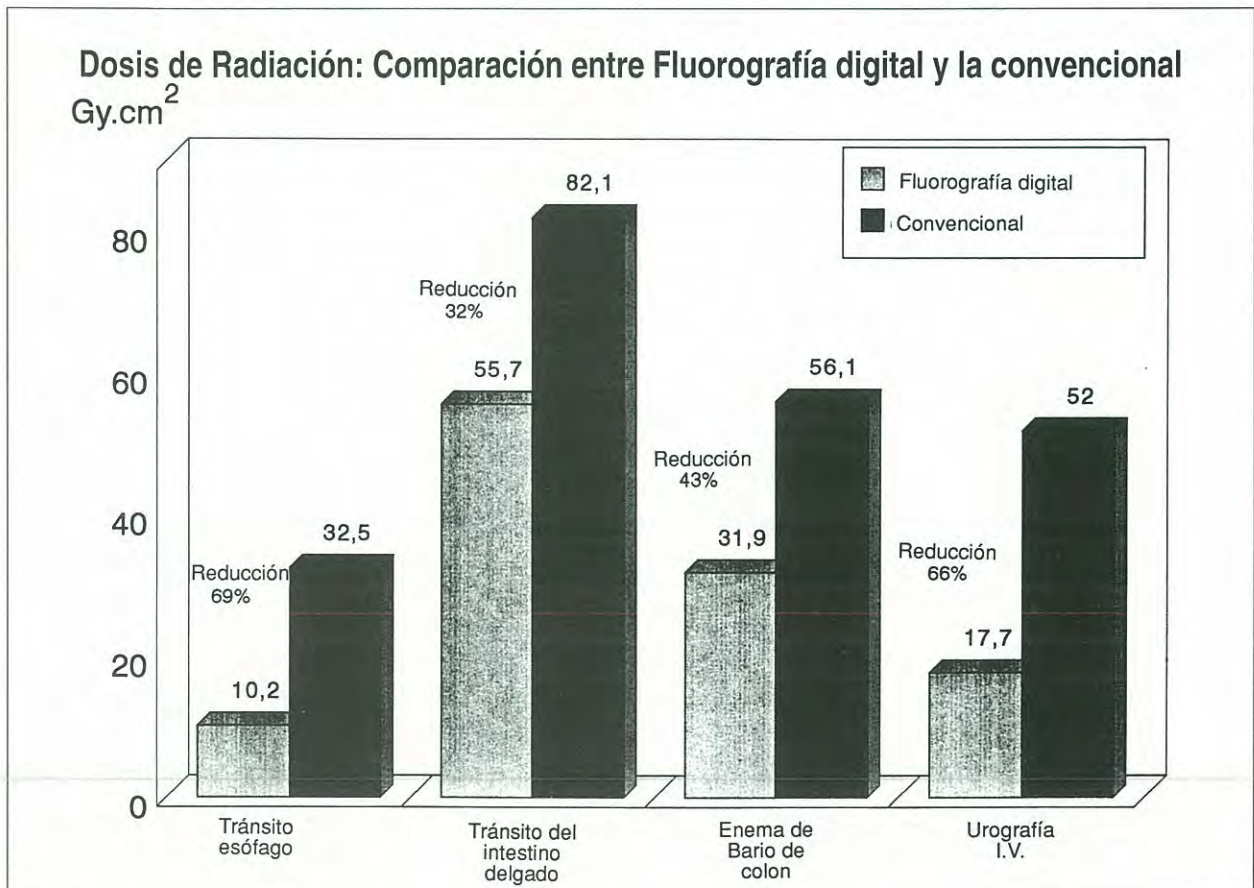


Fig. 1

da por lo que se consigue una importante disminución del número de exploraciones repetidas por errores de la técnica de exposición. Ello es muy importante en el caso de la radiografía pediátrica por la dificultad de calcular la dosis correcta para cada exploración y edad y la necesidad de lograr una dosis lo más pequeña posible (18).

Sin embargo, para obtener unos resultados óptimos en los sistemas digitales (mejor calidad de imagen con la menor dosis razonablemente posible) es necesario un programa de garantía de calidad, con equipos de alta precisión, en toda la cadena de imagen (19). La vigilancia de la dosis en los pacientes es un punto esencial en la intervención del proceso de optimización para que cualquier reducción de dosis pueda ser cuantificada.

2.2 LA INSTRUMENTACION EN MEDICINA NUCLEAR

El futuro de la medicina nuclear está en el desarrollo del SPECT y de la radiofarmacología para la obtención de fármacos que, marcados con emisores gamma, per-

mitan incidir en las mismas líneas diagnósticas que el PET.

Se utilizarán cada vez más gammacámaras con multidetectores y otros tipos de sistemas de detección en estado sólido que ofrezcan mayor sensibilidad y resolución, lo que permitirá mayor rapidez y calidad en la obtención de imágenes y una reducción de dosis al paciente.

2.2.1 EI SPECT

El desarrollo instrumental ha permitido evolucionar la antigua cámara de Anger (con la que se obtienen imágenes bidimensionales), en la tomografía por emisión de rayos gamma (Single Photon Emission Computerized Tomography, SPECT) que proporcionan, gracias a la informática incorporada para el tratamiento de datos, tomografías coronales, sagitales, transversales, o bien longitudinales, en las que la actividad de fondo está prácticamente eliminada lo que da lugar a un alto contraste de imagen, pudiéndose observar, además, la distribución tridimensional de la actividad.

2.2.2 EI PET

La tomografía por emisión de rayos gamma comenzó a desarrollarse hace varias décadas, con las técnicas del fotón doble por aniquilación de positrones (Positron Emission Tomography, PET). Se emplean radionucleidos que emiten positrones para obtener imágenes tomográficas cuantitativas. Debido a la perfecta colinearidad de los dos rayos gamma emitidos por la reacción de aniquilación, el PET no necesita colimadores, con lo cual se aumenta la sensibilidad de los detectores en varios órdenes de magnitud. Por otra parte, la alta energía de los fotones (511 KeV) requiere la utilización de cristales relativamente gruesos para mantener la eficiencia a un nivel aceptable. Circuitos coincidentes permiten reconocer la llegada simultánea de los fotones en cada proceso de aniquilación. La imagen se obtiene a partir de un ordenador y de un algoritmo de reconstrucción esencialmente idéntico al utilizado para el CT.

La principal ventaja del PET en las aplicaciones médicas y biológicas es que se emplean diversos elementos que forman parte de



los principales constituyentes de la materia viva:

Carbono - 11 ($T_{1/2}$ 20 minutos),
Nitrógeno - 13 ($T_{1/2}$ 10 minutos),
Oxígeno - 15 ($T_{1/2}$ 2 minutos) y
Fluor - 18 ($T_{1/2}$ 110 minutos).

Las imágenes con positrones pueden revelar la capacidad funcional de diferentes partes del cerebro, a diferencia de otras técnicas de imagen que revelan variaciones de densidad en la materia (CT) o bien tiempos de relajación spin-spin o spin-lattice (MR). Pueden proporcionar imágenes de lesiones estructurales y funcionales en procesos demenciales, enfermedades neurodegenerativas, infarto cerebral agudo, etc. Asimismo, se pueden estudiar "in vivo" funciones sensorial, motora, memoria y cognoscitiva, proporcionando amplias mejoras en la información fisiológica diagnóstica.

Sin embargo, a pesar de su probada eficacia, el PET se ha difundido poco debido a su elevado coste, ya que necesita un pequeño ciclotrón (capaz de proveer deuterones de 18 MeV como mínimo y protones de al menos 16 MeV) y a la dificultad de su ubicación en instalaciones hospi-

talarias por sus necesidades de seguridad ante los altos niveles de radiación existentes en sus alrededores.

La tecnología de la tomografía de emisión de positrones se halla en pleno desarrollo, especialmente para obtener una mejor resolución espacial de la imagen y aumentar la densidad de los detectores, desarrollo que al ir en paralelo con el de la informática, logrará una reducción de los costes.

2.2.3 Consideraciones sobre la Protección Radiológica

Teniendo en cuenta la complejidad de los procedimientos de la Medicina Nuclear, no sorprende que el rendimiento varíe no sólo con los distintos instrumentos y radiofármacos, sino también cuando se utilizan procedimientos en teoría idénticos. Esta falta de uniformidad se debe a variaciones en la capacitación y experiencia del personal (médicos, físicos, técnicos, etc.) y a modificaciones en el funcionamiento del instrumental y en la calidad de los radiofármacos. Para conseguir

una utilización efectiva del instrumental de la medicina nuclear y para mantener normas elevadas de seguridad y exactitud en el diagnóstico, será preciso que exista un programa de garantía de calidad. Como parte de este programa, se deberá aplicar periódicamente pruebas de control de la calidad al instrumental, a los radiofármacos y, en la medida de lo posible, a la totalidad del proceso diagnóstico (20).

2.3 ANTICUERPOS MONOCLONALES

2.3.1 Investigación + Desarrollo

Los reactivos marcados que van a diseñar las líneas del futuro de la Medicina Nuclear, son los anticuerpos monoclonales (AcM) por ser capaces de fijarse sobre los antígenos exteriores de las membranas celulares. Con radioisótopos, como el Iodo -131, el Indio -111 ó el Tecnecio - 99m, bien adaptados para llegar a las células tumorales en el organismo, se obtendrán unas imágenes del tumor con gran exactitud, por su gran especificidad.

Con otros radioisótopos de gran poder de ionización, los AcM

podrán alcanzar dianas tumorales para destruirlas.

Si para la imagen escintigráfica, el rango de energía utilizado es de 100 a 300 KeV, para la terapia, hace falta emisores más potentes para tener una eficacia local máxima, particularmente cortando el ADN (emisores β ó α) y que tengan un período lo más corto posible. Tabla 1 (21).

El Iodo -131, el Itrio -90 y el Samario -153 pueden estar ya disponibles, pero por desgracia, en la actualidad resulta muy difícil tener acceso a los isótopos del Renio. En el desarrollo futuro, no podemos olvidar la posibilidad de utilizar el Bismuto -212, aunque la manipulación de los emisores sea difícil.

En el campo del diagnóstico, es posible disminuir el tamaño de los AcM quitando la parte Fc y siendo deseable no dejar más que la parte cercana al lugar de reconocimiento. El tamaño más reducido será el más favorable a la cinética de fijación. En los próximos años, probablemente ya estarán disponibles fragmentos de Fab' modificados por ingeniería genética.

Una vez seleccionada la diana clínica, hay que obtener los AcM por inmunización (por ahora en período de experimentación en la rata) contra el epitopo seleccionado como marcador del tumor. Habrá que transformarlo, por ingeniería genética, para neutralizar su respuesta en el hombre y luego producirlo en formas aceptables para la inyección (22). Estas técnicas están disponibles, por el momento, a nivel pre-industrial en la investigación farmacéutica.

2.3.2 Consideraciones sobre la Protección Radiológica

Si bien están claros los beneficios, no lo están los riesgos. Los AcM son un reactivo muy particular pues provocan muy frecuentemente una respuesta immune en el organismo humano, por lo que en la actualidad se están investigando para su utilización clínica. Cuando el tratamiento es repetitivo, el problema puede agravarse por la respuesta inmunitaria del organismo debido a la previa sensibilización del enfermo. De todas formas, habrá de valorarse este

riesgo frente al posible beneficio y analizarlo comparándolo con otras técnicas alternativas, como ha sido el caso del estudio de Mariani y cols. (23).

Desde el punto de vista de protección radiológica, cada paciente exige una estrategia clínica y dosimétrica particularizada. Los radiofísicos deberán ser capaces de estimar las dosis en los tumores y en otros órganos especialmente en el hígado, pulmones, riñones y médula ósea (Tabla 2)(24), y evaluar la toxicidad del tratamiento por radioinmunoterapia (RIT). Por otra parte habrá que evaluar las medidas a tomar en relación a:

1. Radiomarcado, manipulación dosis terapéutica ⇔
Almacenamiento de residuos de alta actividad específica.
2. Transporte de la dosis terapéutica al paciente ⇔
Manejo de la dosis.
3. Paciente radiactivo ⇔
Control niveles habitación
Control personal sanitario
Manejo residuos
Tiempo permanencia:



- personal sanitario
- visitantes.

La radioinmunoterapia (RIT), como tantas otras disciplinas médicas, deben hacer intervenir numerosos profesionales (especialistas en Medicina Nuclear, radiofísicos, radiobiólogos, etc.) para dominar la acción del compuesto farmacéutico "AcM- radioisótopo" y hacer óptima la relación coste-beneficio. (25).

2.4 RADIOTERAPIA

Las tendencias e innovaciones tecnológicas de la radioterapia están encaminadas a aumentar la precisión de los tratamientos (respetando las estructuras críticas adyacentes), los controles de calidad de los tratamientos y la seguridad (26, 27):

- En Braquiterapia, se están automatizando los sistemas de carga diferidos.
- En Radiocirugía, se están desarrollando los sistemas de colimación para lograr haces finos para el tratamiento de malformaciones vasculares y tumores intracraneales (por lo que se evitan otros procedi-

mientos quirúrgicos de alto riesgo).

- Mediante las redes integradas, se logran interconectar los diferentes elementos de un Departamento de Radioterapia (Unidades de tratamiento, simulación, planificación, etc) con objeto de optimizar la información entre ellos y minimizar el riesgo de errores humanos en la transmisión manual de datos.
- Para la planificación de los tratamientos, los grandes adelantos tecnológicos en diagnóstico, (CT, MR, radiología digital) permiten localizaciones más exactas de los tumores. Un ordenador especializado recibe de forma directa dicha información y procede al cálculo de las distribuciones de dosis en cualquier combinación de campos. Las distribuciones de isodosis son representadas en líneas continuas, y pueden ser codificadas con colores para una rápida identificación visual. Los mejores sistemas permiten representaciones espaciales del paciente en tres dimensiones

junto con las distribuciones de dosis en cualquier plano.

Asímismo, se están logrando importantes avances en la radioterapia externa, con el desarrollo de sistemas aplicados al acelerador lineal (26,28,29):

- Sistemas de control. El ordenador, se ha incorporado al acelerador lineal en un primer nivel haciendo de interfase entre el usuario y la máquina, y en un segundo nivel controlando integramente el equipo (desde las posiciones del gantry y mesa hasta los sistemas de seguridad redundantes). En cuanto a los tratamientos, ofrece la posibilidad de conservar los datos de cada paciente, lo que en la práctica se traduce en menores tiempos de preparación de las sesiones de un mismo paciente.
- Sistemas de imágenes portales. El proceso de radioterapia solo es completo cuando se mantiene la precisión a lo largo de todas sus fases. En este sentido, la fase final de posicionamiento es, si cabe, la más importante, por lo que

este sistema permite obtener una imagen, prácticamente en tiempo real, del campo final de irradiación. Los sistemas más avanzados permiten comparar el campo de irradiación y el campo de simulación, detectando de forma automática errores de posicionamiento. Una s ventajas añadidas que tienen, son el poder generar un registro permanente de las imágenes del campo en todas las sesiones, pudiendo comparar las imágenes del tratamiento con las del simulador, por lo que pueden ser empleadas para hacer un control de calidad rápido del equipo.

- Sistema de colimadores multihojas. El término de "terapia conformada" se refiere a las técnicas dedicadas a impartir una alta dosis en una zona con la forma del haz fielmente conformada con la del tumor. Mediante el uso de un colimador multihojas y un ordenador que controla la forma del haz, la energía, el ángulo de irradiación, la tasa de dosis, la posición de la mesa de tratamiento, etc., se

consigue una radioterapia dinámicamente conformada.

3 CONCLUSIONES

3.1 Aumento progresivo de las exploraciones y tratamientos con radiaciones ionizantes

De acuerdo con los últimos datos de la UNSCEAR (30) la dosis equivalente efectiva per cápita de la población de los países de OCDE, debida a la exposición médica, es de 1.06 mSv (el 94% debido a los exámenes de radiodiagnóstico, el 5% a la Medicina Nuclear y el 1% al radiodiagnóstico dental) basada en una cifra media de 800 exploraciones

por 1000 habitantes al año, cifra muy superior, como es lógico, a la correspondiente a los países menos desarrollados (0.29 mSv per capita, con una media de 22 a 150 exploraciones por 1000 habitantes al año) (31).

A pesar del esfuerzo actual en la optimización de las técnicas es de esperar, en un futuro próximo, que las exploraciones y tratamientos con radiaciones ionizantes seguirán aumentando dado que la población mundial habrá crecido así como la población de más edad (lo que supone también un incremento de la morbilidad), por lo que es presumible un aumento de la dosis per capita. Y ello, a pesar de que las técnicas mencionadas proporcionarán diagnósticos más exactos y con

TABLA 1

ISOTOPOS UTILIZADOS EN RADIOINMUNOTERAPIA

ISOTOPO	VIDA MEDIA
I - 131	8.1 d β
y - 90	64.0 h β
Re - 186	90.6 h β
Re - 188	17.0 h β
Sm - 153	46.0 h β
At - 211	7.2 h α
Bi - 212	60.6 min α



TABLA 2

Anticuerpos monoclonales

DOSIS DE RADIACION ABSORBIDA EN TUMOR Y TEJIDO NORMAL (Gy) ESTIMADA A PARTIR DE ESTUDIOS DE BIODISTRIBUCION

	I - 131 - F (ab') ₂	I - 131 - intact mAbs
Tumor	91.7	94.2
Sangre	22.2	31.2
Riñón	14.5	11.5
Pulmón	14.0	15.8
Estómago	10.4	4.8
Hígado	5.8	11.2

Ref: Mach JP, Pelegrin A, Buchegger F. 1991

menor dosis por exploración y que los ultrasonidos y exploraciones por MR, sustituirán, cada vez más, técnicas con radiaciones ionizantes.

3.2 Dificultad de determinar la estrategia diagnóstica óptima

El médico, ante la gran cantidad de medios de diagnóstico disponibles, se encontrará con la dificultad de determinar la estrategia óptima a emplear en cada caso. La superposición de las indicaciones de varios procedi-

mientos, las diferencias en su agresividad y riesgo, y los altos costes (tanto dosimétricos como económicos) que implicaría su uso indiscriminado, obligarán a que el médico deba tener un conocimiento más profundo de las bases científicas de la toma de decisión correlacionando costes y eficacia diagnóstica, partiendo de la idea básica, muchas veces olvidada, que las exploraciones complementarias que no modifican la actitud terapéutica no están justificadas.

Por todo ello, se deberá llevar a cabo un análisis de la eficacia y la eficiencia de los procedimien-

tos radiológicos en situaciones determinadas, y su comparación con métodos alternativos que no utilicen radiación ionizante, así como una evaluación de los datos para la cuantificación de los riesgos. En este sentido se dirigen las líneas prioritarias de investigación en el campo de la "Reducción de la exposición del paciente" del Programa de Seguridad en la Fisión Nuclear (1991-1994) de la CCE. Ello no será posible sin un esfuerzo en la formación de la profesión sanitaria (médicos, físicos, técnicos, etc.) y en la coordinación entre los médicos que solicitan las exploraciones diagnósticas, los médicos que las realizan e interpretan y los radiofísicos responsables de la protección radiológica.

3.3 Necesidad de un programa de garantía de calidad

Las futuras tecnologías médicas favorecerán los procesos diagnósticos y terapéuticos y en consecuencia la calidad de vida, por lo que su utilización y difusión están plenamente justificadas. Pero deberá hacerse con un proceso de selección y normaliza-

ción de los criterios y parámetros que aseguren la calidad de los equipos, de los procedimientos y de la información clínica, es decir, de todo el proceso diagnóstico ó terapéutico.

3.4 Uso racional de la tecnología

Es de esperar que el cambio de siglo nos traerá una era de mayor ahorro de costes y también una exigencia de mayor calidad de vida. Economistas y planificadores de la salud deberán evaluar si la adquisición de un equipo o la aplicación de un tratamiento compensan los costes, teniendo como objetivo último la consecución

del bienestar individual y social, lo que llevará sin duda al uso racional de la tecnología,

favoreciendo su correcta utilización y difusión (con criterios de eficiencia y equidad) (1, 32).

Agradecimiento

Quiero expresar mi sincera gratitud, por su aportación técnica y asesoramiento para la realización de este trabajo a:

Angel Crespo, José Angel García, Eduardo Guibelalde, Emilio Iranzo, Luís Miguel Martín-Curto, Francisco Javier Martín-Santos, Shirley Mc Graph, Germán Rey, Maribel Romero, Jesús Santín, Hannelord Schibilla y Adolfo Velasco.

Asimismo, deseo agradecer al FIS su ayuda económica que me facilitó el poder presentar este trabajo en el Workshop de la OCDE sobre la Protección Radiológica en el cambio de Siglo, celebrado en París del 11 al 13 de enero de 1.993.

BIBLIOGRAFIA

<p>1. Lázaro, P. Evaluación de Servicios Sanitarios: La alta tecnología médica en España. Pub. Fondo de Investigación Sanitaria. Madrid. 1991.</p> <p>2. Lemke, H.U. Picture Archiving and Communication Systems. In planning Considerations in Diagnostic Imaging and Radiation Therapy. Editado por A. Chielsa, R. Gasparotti y R. Maroldi. Clas International: 198-208, 1988.</p> <p>3. Thurow, L.C. Can We Afford the New Medical Technologies? IEEE Eng. in</p>	<p>Med. and Biol. Mag. 7: 70-73, 1988.</p> <p>4. OCDE en chiffres. Ed. 1992. Supplément à "l'Observateur de l'OCDE". n° 176. París 1992.</p> <p>5. Drummond, M.F.: Economic Aspects of the global Programe for Appropriate Health Care Technology (ATH/GLO). Health Economics Research Unit, Department of Community Medicine. Aberdeen, United Kingdom, 1986.</p>	<p>6. Gelfand, D.W.; Ott, D.J.: Methodologic Considerations in Comparing Imaging Methods. AJR 144: 1117-1121, 1985.</p> <p>7. Ministerio de Sanidad y Consumo. World Health Organization, Regional Office for Europe. Cooperative Medium Term Programe Between Spain and the Regional Office for Europe of the World Health Organization: 1986-87. 1986.</p>
--	--	--



8. Carreño, J.C.; Piqueras, J.; Lucaya, V. Digitalización de la imagen en radiología. *Jano* 1992; 995: 121-130.
9. Cruz Díaz, M.A.; Martín Santos, F.J. y cols. Radiología digital: conceptos generales. *Radiología* 1992, 34, 7: 461-471.
10. Lee, K.R.; Siegel, E.L.; Templeton, A.W.; Dwyer, S.J.; Murphy, M.D.; Wetzal, L.H. "State of the art digital radiography". *Radiographics* 1991, 11: 1013-1025.
11. Arnold, B.A. Digital imaging techniques for general radiography. *Radiology: Diagnosis - imaging - intervention*. Vol 1, J.B. Lippincott Company, Philadelphia, 1991.
12. Oestmann, J.W.; Greene, R.E. Components and system layout for digital radiography - Computed digital radiography in clinical practice. Thieme Medical Publishers, New York 1992.
13. Prokop, M.; Galanski, M.; oestmann, J.W. Storage phosphor versus screen-film radiography: effect of varying exposure parameters and unsharp mask biltering on the detectability of cortical bone defects. *Radiology* 1990 - 177: 109-113.
14. Bauman, R.A. Radiology Information Systems. *Radiology: Diagnosis - imaging - intervention*. Vol 1. J.B. lippincott Company, Philadelphia, 1991.
15. Behling, R.: The MRC 200: a new high-output X-ray tube Medical Mundi, 1990- 135:57-64.
16. Greene, R.E.; Oestmann, J.W. Computed digital radiography in clinical practice. Thieme Medical Publishers. New York, 1992.
17. Drouillard, J. Evaluation of the DSI digital fluorography System. *Medicamundi* 1991, 1: 3 - 13.
18. Carreño, J.C.; Piqueras, J.; Lucaya, J. Radiología computarizada: Aplicación en pediatría. *Radiología* 1992. 34. 7: 529-537.
19. Busch, H.P.: "Digital radiography a new horizon in diagnostic imaging". Digital Radiography Workshop. Quality Assurance and Radiation Protection. Schetztor - Verlag GmbH. Konstanz. 1992.
20. Organización Mundial de Salud. "Garantía de la calidad en Medicina Nuclear". Pub. cient. nº 470. Washington, D.C. 1984.
21. Eary, J.F.: Fundamentals of Radioimmunotherapy. *Nucl. Med. Biol.* 1991. Vol 18. Nº 1. 105-108.
22. Waldmann, T.A. Monoclonal Antibodies in Diagnosis and therapy. *Science* 1991. Vol. 252: 1658-1662.
23. X Mariani, G.; Bianchi, R.; Bellina, C.R.; Guzzardi, R.; Rosa, C.; Mazzuca, N.; Molea, N. " Diagnosis efficacy of immunoscintigraphy with radioactive monoclonal antibodies (versus bidimensional echography)". *Radiation Protection. Progress Report Programme 1985-89*. Vol 3. CEC-EURATOM. Publ. EUR 13268: 3207-3216. Luxembourg, 1991.
24. Mach, J.P.; Pelegrin, A.; Buchegger, F.: Imaging and therapy with monoclonal antibodies in non-hematopoietic tumors. *Current opinion in Immunology* 1991, 3: 685-693.
25. Mornex, F.: The place of radioimmunotherapy in the therapeutic strategy of cancer. *IRIST* 1991. Lausanne
26. Velasco, A.; Santín, J.: Estado de la tecnología aplicada a la radioterapia de alta energía. Pub. Hospital General de Catalunya. Barcelona 1991.
27. Laughlin, J.S. Development of the technology of radiation therapy. *Radiographics*, 1989. Vol 9. 6: 1245-1265.
28. Green D.: Linear accelerators for radiation therapy. *Medical Physics Handbooks* 17. 1986.
29. Hounsell, A.R.; Sharrock, P.J.; Moore, C.J.; Shaw, A.J.; Wilkinson, J.M.; Williams, P.C. Computer-assisted generation of multi-leaf collimator settings for conformation therapy. *The British Journal of Radiology*, 1992. 65, 321-326.
30. UNITED NATIONS. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly, with annexes. United Nations sales publication E.88.IX.7. (New York: UN) 1988.
31. Bennet, B.G.: Exposures from Medical Radiation World-Wide. *Radiation Protection Dosimetry* 1991. Vol 36. N. 2/4: 237-242.
32. Meantfor, G.: "Towards 2000: The Radiology Business". *British Journal of Radiology*. 1988, 61: 794-799.



EL PROGRAMA DE I+D EN PROTECCION RADIOLOGICA DE LA COMUNIDAD EUROPEA



Las instituciones españolas que desarrollan actividades en protección radiológica iniciaron su incorporación al Programa de I+D en Protección Radiológica de la CE inmediatamente después del ingreso de España a la Comunidad Europea.

Para la investigación española en protección radiológica la existencia de ese programa significó una buena oportunidad debido a que el mismo ofrecía una amplia cobertura de los principales temas en ese campo. Es de interés recordar en este punto la existencia en España de cuatro programas de investigación en estos temas aunque de alcances más específicos y orientados (el Plan de Investigación Energética, el Plan de I+D del Consejo de Seguridad Nuclear, el Programa de I+D del Plan General de Residuos Radiactivos, y el Fondo de Investigaciones Sanitarias).

Francisco Mingot Buades (*)

Instituto de Medio Ambiente CIEMAT
Avda. Complutense, 22. E-28040 Madrid.

(*) Miembro del Comité de Gestión
y Coordinación del Programa de I+D en
Protección Radiológica de la CE.



Transcurridos seis años desde el inicio de la participación en el programa comunitario, el programa se encamina ahora hacia una nueva etapa en el Cuarto Programa Marco de Investigación de cuyas convocatorias empezaremos a oír hablar en el otoño del próximo año.

Con la intención de contribuir a la difusión del programa y de propiciar la participación de instituciones españolas de cara a esa nueva etapa, se presenta a continuación un breve análisis de la última convocatoria del programa, con los datos seguros disponibles en enero de 1993.

El Programa de investigación de la acción "Protección contra las Radiaciones" (y en concreto, la convocatoria 1992 a la que se hace referencia explícita) ha estado constituido básicamente por tres áreas de trabajo divididas a su vez en diferentes apartados que se relacionan a continuación:

- I. Exposición del hombre a la radiación y a la radiactividad**
 - I.1. Dosis de radiación: forma de medirla e interpretarla.
 - I.2. Transferencia y comportamiento de los radionúclidos en el medio ambiente.

- II. Consecuencias para el hombre de la exposición a las radiaciones: su evaluación, prevención y tratamiento**
 - II.1. Efectos estocásticos de la radiación.
 - II.2. Efectos no estocásticos de la radiación.
 - II.3. Efectos de la radiación sobre los organismos en desarrollo.

- III. Riesgos y gestión de la exposición a las radiaciones**
 - III.1. Evaluación de los riesgos y la exposición del hombre a las radiaciones.
 - III.2. Optimización y gestión de la protección contra las radiaciones.

La convocatoria basada en este programa tuvo lugar durante 1992 y en lo que sigue se analizarán brevemente sus resultados.

Un análisis no puramente contable de la participación española ha de orientarse a la identificación de las causas que condicio-

nan el nivel de participación de cada país. Este es el objetivo que ahora perseguimos.

Trataremos primero los resultados de España como un todo, dando paso luego a un breve comentario sobre la estructura de la participación española.

El cuadro 1 presenta la distribución por países de los siguientes parámetros:

1. Número de propuestas presentadas.
2. Número de propuestas aprobadas.

CUADRO 1

PAIS	PROPUESTAS PRESENTADAS		PROPUESTAS APROBADAS		COSTE TOTAL		IMPORTE SOLICITADO		IMPORTE CONCEDIDO	
	Nº	%	Nº	%	KECU	%	KECU	%	KECU	%
ALEMANIA	124	20,13	72	19,20	23.400	20,84	14.190	21,75	4.270	21,81
BELGICA	50	8,12	26	6,93	8.809	7,85	5.560	8,52	1.587	8,11
DINAMARCA	19	3,08	15	4,00	2.549	2,27	1.369	2,10	610	3,12
ESPAÑA	45	7,31	26	6,93	7.387	6,58	4.326	6,63	1.208	6,17
FRANCIA	94	15,26	59	15,73	19.976	17,79	9.955	15,25	3.243	16,56
GRECIA	24	3,90	10	2,67	2.508	2,23	1.669	2,56	415	2,12
HOLANDA	55	8,92	34	9,07	10.084	8,98	6.891	10,56	1.722	8,80
IRLANDA	22	3,57	13	3,47	2.219	1,98	1.689	2,59	565	2,89
ITALIA	46	7,47	29	7,73	11.590	10,32	6.687	10,25	1.369	6,98
LUXEMBURGO	1	0,16	1	0,27	89	0,08	71	0,11	60	0,31
PORTUGAL	9	1,46	6	1,60	963	0,86	560	0,86	220	1,12
REINO UNIDO	127	20,62	84	22,40	22.701	20,22	12.277	18,82	4.308	22,01
Total CE	616	100,00	375	100,00	112.275	100,00	59.926	100,00	20.336	100,00
NORUEGA	17		14		1.700		1.419		440	
SUECIA	32		23		4.260		2.106		848	
SUIZA	23		14		5.276		2.810		940	
OTROS	7		1		930		590		95	
TOTAL	695		427		124.441		66.851		22.659	



3. Coste total de los proyectos presentados.
4. Importe total solicitado.
5. Importe total concedido.

El cuadro 2 presenta los valores por países de las siguientes relaciones:

1. Relación del importe total solicitado frente al coste total de los proyectos presentados.
2. Relación del importe total concedido frente al importe total solicitado.
3. Relación del importe total concedido frente al coste total de los proyectos presentados.

4. Relación del importe total concedido frente al coste total de los proyectos aprobados.

El análisis de cada uno de los parámetros se realiza diferenciando a los doce países de la CE de otros países EFTA que participan en este programa contribuyendo con sus propias sub-

CUADRO 2

PAIS	% SOLICITADO vs. COSTE TOTAL	% CONCEDIDO vs. SOLICITADO	% CONCEDIDO vs. COSTE TOTAL PRESENTADOS	% CONCEDIDO vs. COSTE TOTAL APROBADOS
ALEMANIA	60.64	30.09	18.25	30.95
BELGICA	63.12	28.54	18.02	26.04
DINAMARCA	53.71	44.56	23.93	30.06
ESPAÑA	58.56	27.92	16.35	29.54
FRANCIA	49.83	32.58	16.23	24.80
GRECIA	66.55	24.87	16.55	34.82
HOLANDA	68.34	24.99	17.08	28.36
IRLANDA	76.12	33.45	25.46	42.23
ITALIA	57.70	20.47	11.81	26.15
LUXEMBURGO	79.78	84.51	67.42	67.42
PORTUGAL	58.15	39.29	22.85	28.06
REINO UNIDO	54.08	35.09	18.98	25.90
NORUEGA	83.47	31.01	25.88	31.43
SUECIA	49.44	40.27	19.91	30.33
SUIZA	53.26	33.45	17.82	31.77
OTROS	63.44	16.10	10.22	35.58

venciones. Se añade un OTROS que incluye a organizaciones internacionales que se presentan al programa (ICRP, ICRU, OIEA).

Los cuadros son autoexplicativos; si bien, cabe decir que:

- tras la observación del cuadro 1 se pone claramente de manifiesto el desequilibrio entre países miembros.
- el nivel de financiación solicitado (y, por ende, el obtenido), está afectado por la proporción de instituciones de cada país que se presentan a

“costes marginales”, como es el caso de las Universidades. El mayor peso de organismos que presupuestan a coste real (DK, ES, FR, GB) disminuye apreciablemente la relación entre el coste solicitado y el coste total.

- en cualquier caso, se constata que el nivel de financiación medio de la CE al conjunto de los proyectos aprobados es del orden del 30%.
- la causa del desequilibrio entre países no parece

guardar relación directa con su nivel de contribución a la CE, como se observa en el gráfico 1 al representar lo obtenido por cada país frente a su contribución a los presupuestos comunitarios.

- el gráfico 2 es, seguramente, la explicación. Se observa que el porcentaje de financiación de la CE es lineal con la capacidad de propuesta. Sugiriendo que los niveles de retorno son la consecuencia del tejido en I+D de cada país.

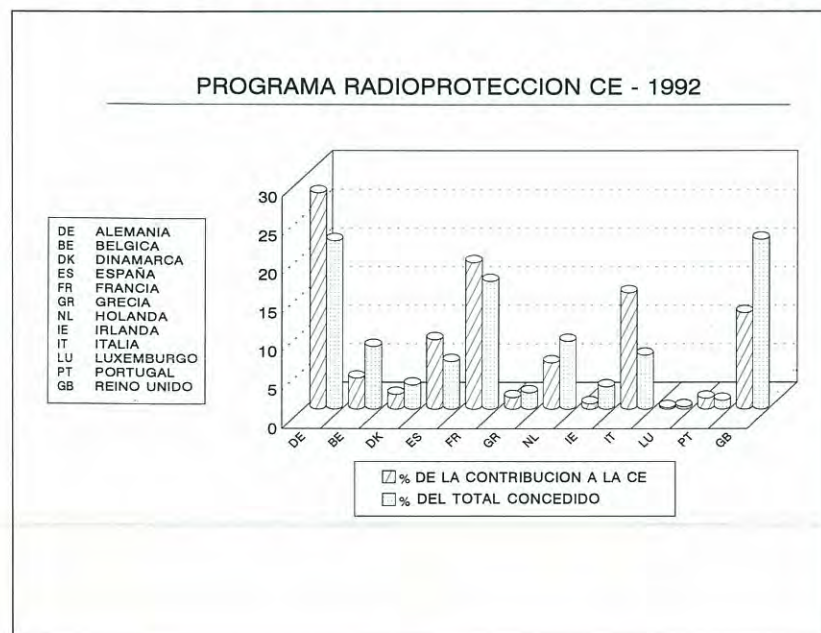


Gráfico 1

Se puede concluir de esta faceta del análisis que el desarrollo de la investigación en un tema a nivel nacional, y en concreto en protección radiológica, al permitir una mayor capacidad de propuesta, mejora el retorno obtenido por el país en su participación en los programas comunitarios sobre dicho tema.

El gráfico 3 muestra la estructura de la participación española. Se observa una importante parti-

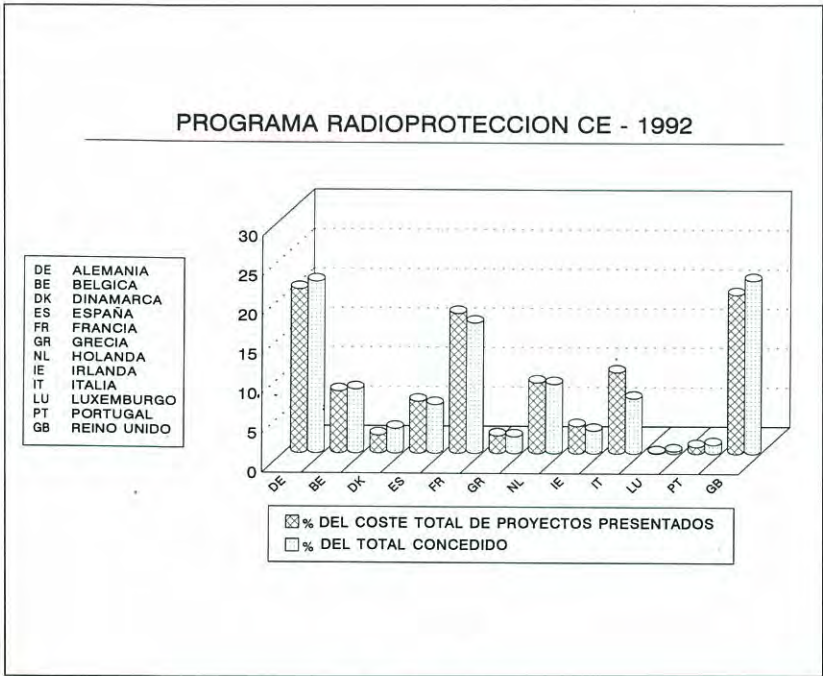


Gráfico 2

participación de las Universidades seguida de una notable participación de OPIS que en este caso se debe básicamente a la participación del CIEMAT. Sigue la participación de hospitales y empresas aunque estas últimas no vieran aprobados sus proyectos.

La estructura es similar a la media europea y pone de manifiesto el carácter precompetitivo de las actividades de este programa, pese a su evidente componente aplicada.

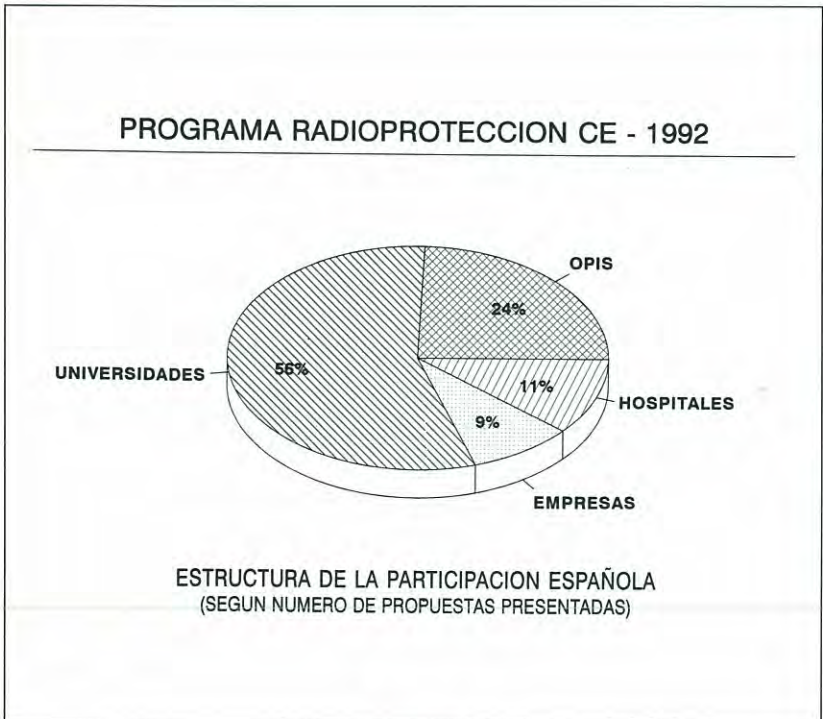


Gráfico 3

Esta presentación del Programa de I+D en Protección Radiológica de la CE y de la participación española en él, intencionadamente breve, pretende dar pie a una mas amplia consideración de este programa como objetivo de muchos de los que trabajamos en este campo.

La posición española es buena, pero también resulta evidente que puede ser mejorable. La SEPR, como consecuencia de la implicación de varios de sus miembros, está en condiciones de ser vehículo para la difusión de este programa y sus características.



**I JORNADA NACIONAL DE
DOSIMETRIA EXTERNA E
INTERNA
SEPR - CSIC**

El pasado 28 de abril se celebró la I Jornada Nacional de Dosimetría Externa e Interna, organizada por la Sociedad Española de Protección Radiológica (Sección de Investigación y Docencia Biológica) en colaboración con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Los objetivos fundamentales fijados para esta I Jornada fueron: una valoración general de los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes, análisis de distintos aspectos de la dosimetría externa, tanto físicos como clínicos, en exposiciones consideradas como normales o en situaciones de sobreexposición. En cuanto a la dosimetría interna, se trató de proporcionar un conocimiento claro de los conceptos utilizados, técnicas empleadas y validez de las mismas.

Esta Jornada Científica, cuya celebración tuvo lugar en la sede Central del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), fue seguida por un centenar de profesionales que desarrollan su trabajo en el área de las radiaciones ionizantes.

Durante todo el día de la Jornada estuvieron instalados en el recinto de CSIC dos Contadores de Radiactividad Corporal (CRC) cedidos por la AMYS/UNESA, siendo visitados por todos los participantes.

En el próximo número de la revista ampliaremos la información sobre este acontecimiento.

**CONFERENCIA
INTERNACIONAL CONJUNTA
AIRP/SEPR/SFRP SOBRE
"ARMONIZACION EN
PROTECCION CONTRA
RADIACIONES:
DE LA TEORIA A LA
APLICACION PRACTICA"**

En la última semana de abril se celebró en Roma la segunda reunión del Comité de Programación de la Conferencia que, va a celebrarse conjuntamente entre las Sociedades española, francesa e italiana de protección contra las radiaciones. El tema

PROXIMO CONGRESO SEPR - 5

La organización del próximo Congreso de la SEPR será efectuada en conjunto con los colegas de Portugal.

Podemos avanzar que está previsto realizarlo en Santiago de Compostela durante el mes de abril de 1994 y que en la organización intervendrá D. Miguel Pombar Camean.



principal de la Conferencia es de enorme relevancia y en ella se va a pasar revista a una serie de aspectos importantes y de gran actualidad. Se expondrán las tendencias actuales en la radioprotección considerando el tratamiento que se le está dando en cada uno de los Estados. Para cada tema seleccionado se analizarán las convergencias y divergencias existentes, con la finalidad de tratar de llegar al mayor consenso posible en cuanto respecta al desarrollo de las Normativas, al de las Guías de aplicación y a su traslado a procedimientos prácticos de actuación.

En adición a las comunicaciones conjuntas, preparadas por especialistas elegidos por cada una de las Sociedades colaboradoras en la Conferencia, se presentarán comunicaciones específicas, desarrolladas por expertos interna-

cionales invitados. Los temas que desarrollarán además de los trabajos en progreso en la ICRP, CE y otros Organismos internacionales, serán los correspondientes a estudios epidemiológicos, desarrollo del concepto de riesgo contra las radiaciones, y aspectos puntuales de la exposición del público a las fuentes naturales y artificiales de radiación, y establecimiento de niveles de exención, exclusión y no consideración (clearance).

En consideración a los temas establecidos, las comunicaciones invitadas, las comunicaciones conjuntas y los 24 comunicaciones libres que se han presentado hasta la fecha límite de aceptación, se estableció el programa científico provisional, que comprende 8 sesiones con presentaciones orales y una de Posters. Los Posters estarán expuestos

durante toda la celebración del Congreso y para todos aquellos que todavía puedan estar interesados, se decidió **prolongar su aceptación**, para presentación como tales, **hasta el 31 de Agosto de 1993**.

El segundo anuncio del Congreso se enviará, a todos los interesados, en la primera decena del próximo mes de junio. Tanto por el interés de la temática como por la calidad de los ponentes la belleza e interés cultural de la zona elegida para su sede, pensamos que este primer Congreso conjuntamente organizado por las Sociedades española, italiana y francesa de protección contra las radiaciones, ha de constituir un hito importante e inolvidable en las futuras relaciones y colaboración de los expertos de esta región del mar Mediterráneo.

FALLECIMIENTO:

Comunicamos con pesar que el día 26 de abril ha fallecido nuestro amigo y socio D. Juan Lobo Méndez.



NUEVA COMPOSICION DE LA COMISION INTERNACIONAL DE PROTECCION RADIOLOGICA (CIPR)

La actual composición de la Comisión Principal finaliza el próximo mes de julio 1993. Tres de sus miembros anunciaron su intención de finalizar en ese momento: Prof. Gusko-va, Dr. Shigematsu y Dr. Silini. La Comisión ha invitado al Prof. Ilyin, Prof. Kaul and Dr. Matsudaira para formar parte de la nueva Comisión. La composición para el período 1993-97 será la siguiente:

Presidente: R.H. Clarke
(Gran Bretaña)

Vice-Presidente: C.B. Meinhold
(USA)

Presidente Comité 1: W.K. Sinclair
(USA)

Presidente Comité 2: A. Kaul
(Alemania)

Presidente

Comité 3: H.P. Jammet
(Francia)

Presidente

Comité 4: D. Beninson
(Argentina)

Secretario

Científico: H. Smith
(Gran Bretaña)

Otros miembros:

H.J. Dunster (Gran Bretaña)

W. Jacobi (Alemania)

J. Linecki (Polonia)

F.A. Mettler (USA)

L.A. Ilyin (Rusia)

Li Deping (China)

H. Matsudaira (Japón)

EL pasado Abril la Comisión seleccionó a los miembros de los Comités y comenzó la preparación de los lineamientos de su programa de trabajo para los próximos cuatro años. La nueva Comisión se reunirá con los nuevos Comités en Septiembre de 1993.

El Comité Científico de la revista está en condiciones de informar que, por prime-

ra vez, ha sido seleccionado un científico español para integrar uno de los Comités de la CIPR. Se trata de D. Pedro Ortiz López, miembro de nuestra Sociedad, quien ha sido invitado a incorporarse al Comité 3 sobre Aplicaciones Médicas. Este hecho es un motivo de orgullo para nuestra Sociedad y desde estas páginas expresamos nuestras más calurosa felicitación a D. Pedro Ortiz.

EL ACCIDENTE DEL COMPLEJO MILITAR TOMSK-7, RUSIA

La explosión ocurrida el pasado 6 de abril ha dado lugar a noticias de diverso tipo, no siempre coherente desde el punto de vista técnico. En cualquier caso no deja de causar cierto asombro, la existencia de ciudades "secretas" formadas a expensas de complejos militares nucleares en los territorios de la ex-Unión Soviética.

En lo que sigue se expondrá un breve resumen, no oficial, sobre el accidente,



después de consultar a diferentes fuentes de información y seleccionar las que, a nuestro entender, resultaron ser técnicamente cualificadas.

El complejo químico siberiano es una instalación militar dedicada, entre otras cosas, al reprocesado de elementos combustibles irradiados mediante la utilización del proceso Purex, ubicada a unas 1700 millas al este de Moscú y a unas 12 millas al noroeste de Tomsk, ciudad ésta que cuenta con unos 500.000 habitantes.

El complejo ocupa una superficie muy grande, de forma aproximadamente elíptica con un perímetro cercado de unos 100 kilómetros de longitud, en la que existen gran número de instalaciones e inclusive la ciudad denominada Tomsk-7 en la que habitan los trabaja-

dores y sus familias en un número cercano a 150.000 habitantes.

La instalación en la que se produjo el accidente se denomina N15 y está ubicada a unos 7 km. de Tomsk-7 y a unos 9 km de la cerca medidos en la dirección del viento en el momento del suceso. El accidente comenzó en un tanque de unos 35 m³ de capacidad ubicado en un recinto subterráneo con muros de hormigón de gran espesor revestidos internamente con acero inoxidable. El tanque contenía unos 25 m³ del licor resultante de la primera etapa de extracción del proceso Purex en la que se separa la mayor parte del plutonio, el estroncio y el cesio, por lo que esencialmente era una solución de uranio. Los expertos de la instalación estiman que la solución contenía:

- * 8733 kg de uranio
- * 310 gramos de plutonio, equivalentes a 19 Ci
- * total de emisores alfa incluyendo plutonio: 22 Ci
- * total de emisores beta + gamma: 536 Ci

El accidente se originó por la incorporación errónea de ácido nítrico en el tanque, que entró en reacción con el resto de solventes orgánicos presentes en él produciéndose un rápido (aunque no explosivo) aumento de presión que, después de vencer la resistencia elástica del tanque en su parte superior, hizo lo propio con la losa de hormigón que separaba el recinto subterráneo con el resto de la instalación ubicada a nivel de superficie. Parte de los vapores liberados pasaron entonces al recinto superior y se dispersaron en dos galerías, de

-ESTADO ACTUAL DE LA REVISIÓN DE LAS NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

En la Comunidad Europea, se está preparando la revisión de la Directiva sobre las Normas Básicas para la protección de la salud de los trabajadores y el público en general contra los riesgos de las radiaciones ionizantes.

En paralelo también se está desarrollando la revisión de los "Basic Safety Standards" por parte de seis agencias internacionales (OIEA, AEN, OMS, OPS, OIT, FAO).

Directiva Europea

El Grupo de Expertos para el artículo 31 del tratado Euratom aprobó finalmente el borrador de la Directiva el verano pasado. El documento pasó de la Comisión al Comité Económico y Social. Luego de con-

siderar los comentarios la Directiva irá al consejo de Ministros, el cual primeramente debe referirlo al Grupo de Cuestiones Atómicas donde los representantes de cada estado miembro la considerarán en detalle. Todo este proceso se espera esté finalizado a finales de 1993.

Hay dos cuestiones que volverán a ser tratadas en el Grupo de Expertos en Junio 1993. Ellas son el Anexo II de la Directiva (dosis por unidad de incorporación) y los

unos 30 metros y 100 metros aproximadamente. En algún momento posterior se produjo la ignición de la mezcla existente en las galerías debido a una causa aún no determinada con certeza, aunque se supone la ocurrencia de un cortocircuito. Esta reacción fue explosiva y se estima que liberó unos 4 Ci de actividad total, prácticamente a nivel del suelo.

Adicionalmente, el aumento de presión descrito anteriormente en el recinto subterráneo provocó la rotura de filtros en el sistema de ventilación existente, conectado a una chimenea de unos 150 m. de altura, por la que se estima que se liberaron unos 40 Ci de actividad total, dispersados por el viento reinante y depositados sobre el terreno. Las autoridades rusas definieron como área contaminada la determinada por la isodosis corres-

pondiente al fondo natural de radiación del lugar, medido como de 10 microröntgen/hora, y abarca unos 200 km². La zona de máxima tasa de dosis medida ha sido de 400 µR/h y la isodosis de 100 µR/h se ubica junto a un poblado pequeño, consistente en unas 20 casas y menos de 200 habitantes, denominado Georgievka. En la zona no existía ningún tipo de cultivo y estaba totalmente cubierta de nieve. La comunidad realiza muy elementales tareas de granja de autosubsistencia y recoge leña de los bosques cercanos para calefacción y cocina. En el poblado, unos 10 días después del accidente las medidas no superaron los 30 µR/h. Los responsables rusos han explicado que en los puntos en que se habían observado valores de 100 µR/h se había retirado la porción de nieve contaminada.

En lo que respecta a los trabajadores involucrados en el accidente, la máxima dosis externa recibida ha sido del orden de unos 0.5 rem (5mSv).

En el momento de redactar este informe todavía no se habían difundido los resultados de la misión del OIEA que se desplazó a la zona, a excepción de las noticias de prensa con comentarios generales dejando en claro que la situación no revestía gravedad. En las próximas semanas debería producirse información más detallada sobre los aspectos dosimétricos, confirmación de la magnitud y composición del vertido accidental y sobre las consecuencias radiológicas dentro del complejo químico-militar.

valores para notificación y autorización previa del Anexo I (cantidades exentas).

Normas Básicas OIEA, AEN, OMS, OPS, OIT y FAO

Después del Borrador de junio 92 y los comentarios recibidos de todo el mundo se preparó una segunda versión. Esta fué analizada del 14 al 18 de Diciembre en Viena por un amplio Comité Técnico.

Se logró consenso sobre el conte-

nido pero existen dificultades sobre los valores numéricos a ser incluidos en los anexos. La primera mitad de 1993 posiblemente sea empleado en discusiones de Grupos de trabajo sobre esos aspectos específicos.

Estos aspectos son: los valores de exención, niveles de intervención después de un accidente, niveles de acción para radón, restricción de dosis para exposiciones ocupacionales, del público y médicas, niveles derivados en minas, restric-

ción para las exposiciones potenciales. Para todos estos temas existen acciones organizadas por la Secretaría conjunta.

La Secretaría se reunirá a fines de Abril y espera preparar una nueva versión. Este cuarto borrador (existió un tercer documento de trabajo) será distribuido oficialmente. Posiblemente, se pueda finalizar el proceso con una última reunión de un Comité Técnico en el segundo semestre de 1993.



- VERTIDO DE RESIDUOS RADIATIVOS EN EL ARTICULO

En 1991 y 1992 comenzaron a aparecer varios informes sobre supuestas actividades de vertidos de residuos radiactivos realizadas por la antigua Unión Soviética en zonas del Océano Artico. En 1992 durante la XV reunión consultiva del Convenio de Londres se anunció el establecimiento de una Comisión de Investigación por el Presidente de la Federación Rusa, la

cual debería completar un informe sobre el tema para Marzo de 1993. Según se desprende de declaraciones de expertos rusos parece claro, no obstante, que hayan tenido lugar vertidos de residuos radiactivos entre el comienzo de los años 60 y el final de los 80 en las proximidades de Novaya Zemlya en los mares de Barent y Kara. Tales actividades habrían implicado la eliminación de residuos radiactivos líquidos, residuos sólidos empaquetados, componentes de reactores nucleares y vasijas enteras.

Como autoridad asesora responsable de los aspectos radiológicos del Convenio de Londres 1972, el OIEA ha comenzado a realizar evaluaciones de la naturaleza, escala e impacto de los residuos radiactivos vertidos por la antigua URSS en los mares árticos. En una reunión internacional celebrada en Oslo (1-5 Febrero de 1993), organizada conjuntamente por el OIEA y los gobiernos de Noruega y la Federación Rusa, se ha definido el mecanismo de actuaciones a seguir para lograr una evaluación de los

- CUARTO SEMINARIO SOBRE OPTIMIZACION DE LA PROTECCION RADIOLOGICA DE LA CE

La Comisión de Comunidades Europeas, mediante la colaboración de las Direcciones Generales XI y XII, ha celebrado en Luxemburgo, del 20 al 22 de abril de 1993, el IV Seminario Científico Europeo sobre Optimización de la Protección contra las radiaciones. El Seminario tenía como finalidad, por una parte, la consideración de los avances prácticos obtenidos en la aplicación de este principio a las "prácticas" relacionadas, principalmente, con la industria nuclear, en su incidencia tanto sobre los trabajadores como sobre el público. Por otra parte, la identificación y discusión de los temas y actividades que, en ambos aspectos, están surgiendo y que no son solamente objeto de la industria nuclear si no también de las aplicaciones industriales,

médicas y de investigación de las radiaciones ionizantes.

Las comunicaciones presentadas y las discusiones mantenidas, de gran interés, pusieron de manifiesto tanto la gran consideración prestada a la optimización por los técnicos y especialistas de la protección radiológica, como su diferenciación del criterio de minimización que en ocasiones se aplica y produce cierta confusión con respecto a aquella.

En el próximo número de la Revista se expondrán, con detalle, las importantes aportaciones y conclusiones deducidas de este Seminario.



riesgos presentes y futuros asociados con los vertidos citados. Dicho proceso consta de las siguientes etapas a realizar en un periodo de tres años.

a) reunir la información disponible sobre naturaleza y formas de los vertidos realizados.

b) formular el escenario de predicción de la tasa de liberación para los diferentes tipos de residuos vertidos.

c) modelizar los procesos de transporte en el mar para predecir las concentraciones de radionucleidos en las vías potenciales de exposición.

d) definir tales vías en el contexto de una información demográfica apropiada y estimar las dosis individuales y colectivas correspondientes.

e) evaluar los riesgos ambientales y a la salud por causa de los vertidos realizados.

f) evaluar las posibles acciones de remedio (intervención) para reducir las consecuencias de las dosis asociadas a los vertidos.

- ESTADO ACTUAL Y EVOLUCION PREVISIBLE DE LA PROTECCION RADIOLOGICA EN LA UTIMA DECADA DEL SIGLO XX

El Comité de Protección Radiológica y Salud Pública (CRPPH) de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE, celebró en París, del 11 al 13 de enero de 1993, una Reunión de Trabajo dedicada a revisar y discutir los logros conseguidos en la aplicación de las normativas vigentes de protección radiológica en las diversas actividades de aplicación de las radiaciones ionizantes y de la energía nuclear. De forma especial se abordó la estimación de los aspectos que deberán tenerse en cuenta y desarrollarse en la última década del siglo para conseguir, de forma satisfactoria, la resolución de las implicaciones que, en los diversos aspectos legislativos y de aplicación práctica, han de tener los nuevos criterios establecidos en las recomendaciones de la ICRP-60.

La reunión fué muy interesante, tanto desde el punto de vista de las presentaciones realizadas como de las discusiones mantenidas. En el próximo número de la revista se dará información más detallada de la reunión y de las conclusiones más relevantes que se obtuvieron.



NORMAS OIEA SOBRE RESIDUOS RADIATIVOS (RADWASS)

El OIEA, dentro de su programa "Radioactive Waste Safety Standards" (RADWASS) ha publicado el primer documento de la serie.

El programa tiene como objetivo producir unas 17 Guías de Seguridad, 6 Normas y un documento sobre Principios de Seguridad (Safety Fundamentals) además de otras guías sobre diversas prácticas específicas.

El primer documento "Application of Exemption Principles to the Recycle and Reuse of Materials from Nuclear Facilities" fue publicado en diciembre 1992. El

mismo describe los métodos para la obtención de niveles derivados de exención; evalúa diversos escenarios de exposición; y presenta los niveles de exención derivados de las evaluaciones. El programa RADWASS se lleva a cabo en la División del Ciclo de Combustible Nuclear y Gestión de Residuos del OIEA.

NUEVAS PUBLICACIONES DE LA NEA/OECD

“Off - Site Nuclear Emergency Exercises". Proceedings of a NEA Workshop, The Hague, Netherlands, 12 - 15 November 1991. OECD - Paris.

Después del accidente de Chernobyl, las disposiciones previstas a nivel nacional e internacional para enfrentar los accidentes nucleares han sido extendidas. Los ejercicios de intervención son particularmente útiles para probar la eficacia de los planes de emergencia. En esta publicación se exponen los resultados de una reunión de trabajo de la NEA/OECD organizada para analizar la experiencia adquirida con los ejercicios de emergencia fuera de las instalaciones y debatir sobre la organización de ejercicios a escala internacional.

"Work Management to reduce Occupational Doses". Proceedings of an NEA Workshop, Paris 4 - 6 de febrero 1992.

La protección de los trabajadores en las instalaciones nucleares ha sido objeto de preocupación para el Comité de Protección Radiológica y Salud Pública (CRPPH) de la NEA/OECD. Para conocer la situación actual, el Comité ha organizado una reunión de especialistas sobre la gestión de la exposición profesional en las instalaciones nucleares. Esta publicación contiene las ponencias presentadas en la reunión y un resumen de las conclusiones y recomendaciones producidas.

NUEVAS PUBLICACIONES DE LA NCRP

NCRP Report N° 113. Exposure Criteria for Medical Diagnostic Ultrasound: I. Criteria Based on Thermal Mechanisms

NCRP Report N° 114. Maintaining Radiation Protection Records

NCRP Statement N° 7. The Probability That A Particular Malignancy May Have Caused by A Specified Irradiation

Taylor Lecture N° 16. Dose and Risk in Diagnostic Radiology: How Big? How Little? by Edward W. Webster.



Debo confesar, Sr. Director, que me siento obsesionado por el contenido científico de la Publicación 60 (1991) de la ICRP. Mi espíritu matemático se “revuelve” cuando se intenta justificar matemática o estadísticamente aspectos que obedecen a un deseo benefactor de protección contra las radiaciones ionizantes.

La ICRP, con justa apreciación, nos indica que se pongan sobre el “tapete” los riesgos y/o detrimentos asociados a otras actividades, además de la nuclear, que puedan incidir negativamente sobre el hombre y su medio.

¡Aún no he visto ningún estudio sobre estos riesgos (o detrimentos) enfocados, de la manera tan social y benévola como con la que la ICRP trata el asunto de las radiaciones ionizantes!

En sus nuevas recomendaciones, la ICRP baja los límites de dosis, no en base a descubrimientos científicos, que reconoce noblemente que no existen, sino en base a unas correlaciones estadísticas, con enormes márgenes de incertidumbre. Con respecto hacia todos los que disienten de estas, quizás “obsesivas”, ideas que tengo, como espero de ellos que lo tengan con respecto a ellas, voy a proponer un ejercicio práctico que demuestra, o al menos lo intenta, la poca base científica en la que se basan las nuevas recomendaciones de la ICRP.

En el ejercicio práctico que propongo me voy a referir a la figura B-5 (página 109) de la publicación 60. En dicha figura, si extrapolamos la curva A- la sigmoide-, y lógicamente desde su tramo intermedio (que es rectilíneo), al campo de las bajas dosis, ya que en esta zona no existe experiencia ni resultados concretos, nos encontramos con que dicha extrapolación da como resultado una línea recta que corta al eje de abcisas, es decir ¡hay un umbral!; cosa que la ICRP no puede, ni debe, aceptar.

Para que pase por el origen de coordenadas, la ICRP introduce el parámetro DDREF lo que permite que la recta extrapolada sufra una variación en su pendiente y la hace pasar por el origen (¡ya no hay umbral!). La ICRP reconoce que el parámetro DDREF varía entre 2 y 10 y que toma para sus recomendaciones $DDREF = 2$ por razones de seguridad y protección. De esta guisa la figura B-5 tiene la forma que vemos.

Pero por aquello de que a “bueno” no me gana nadie, tomo un valor para DDREF más conservador; elijo $DDREF = 1$, y, ante mi sorpresa, la recta extrapolada no pasa por el origen sino que corta al eje de abcisas.

Pero por aquello también de que a “malo” no me gana nadie, tomo un valor para DDREF menos conservador; elijo $DDREF = 3$ (no olvidemos que la ICRP nos dice que puede llegar a valer hasta 10, por tanto no soy tan “malo”), y, ante mi sorpresa, la recta extrapolada corta al eje de ordenadas. La lectura que



se hace es pues que incluso con dosis cero o negativas (“antidosis”) se producirían daños inducidos. No obstante, acato lo de “dosis-efecto sin umbral”; y entonces, para los dos valores de DDREF que he elegido, o bien he de cambiar la sigmoide, con lo que varían todos los valores de esta curva y por tanto la Figura B-5 tomaría otro aspecto o bien habría que redefinir lo que se entiende por zona de extrapolación.

Por ello concluyo que no ha sido por “humanidad” el que la ICRP tome $DDREF = 2$, sino simplemente porque si no lo hace así “se le caen los palos del sombrero” al no pasar la curva por el origen de coordenadas.

Este es, Sr. Director, uno, entre varios, de los ejemplos que para mi no están resueltos en el “nebuloso” mundo de la Protección Radiológica desde el punto de vista de las nuevas recomendaciones de la ICRP.

so” mundo de la Protección Radiológica desde el punto de vista de las nuevas recomendaciones de la ICRP.

Si alguno de los colegas me pudiera sacar del “pozo” de la incertidumbre en el que estoy sumergido y ver claro de lo que va el “rollo” (pido disculpas por mi vulgar y moderno modo de expresarme) se lo agradecería enormemente.

¡Dejaría de ser un “ICRPescéptico”!

F. Díaz de la Cruz

CURSOS CIEMAT

. Operadores de radiodiagnóstico

Madrid, del 27 de Septiembre al 1 de Octubre. 30 horas

Objetivo: Garantizar la formación necesaria para acreditar ante el C.S.N. los conocimientos y adiestramiento adecuados para operar los equipos de Rayos X de diagnóstico.

Se requiere titulación de Bachiller Superior, FP-II o equivalente y experiencia en Rayos X.

Cuota: 65.000 ptas.

. Operadores de instalaciones radiactivas

Madrid, 10 al 27 de Mayo. 50 horas.

Objetivo: Garantizar la adecuada formación de las personas que necesiten optar a la Licencia de Operador de Instalaciones Radioactivas.

Programa homologado por el C.S.N.

Cuota: 75.000 ptas.

. Medida de la radiación en centrales nucleares

Madrid, 21 al 25 de Junio. 30 horas.

Objetivo: Proporcionar los conocimientos teórico-prácticos sobre metrología nuclear, mediante la utilización de las principales técnicas de radiometría y espectrometría.

Número de plazas limitado a un máximo de diez.

Cuota: 80.000 ptas.

. Supervisores de instalaciones radiactivas

Madrid, 4 al 30 de Octubre. 90 horas.

Objetivo: Capacitar a los técnicos interesados en adquirir la formación necesaria para optar a la Licencia de Supervisor de II.RR.

Se requiere titulación media o superior.

Programa homologado por el C.S.N.

Cuota: 80.000 ptas.

. Hematología experimental

Madrid, 31 de Mayo al 4 de Junio. 30 horas.

Objetivo: Proporcionar los conocimientos teórico-prácticos de la tecnología de manipulación de médula ósea necesario para evaluar el daño hematopoyético inducido por agentes físicos, químicos y biológicos. Reconocido por la U.C.M. Como Curso de doctorado.

Cuota: 40.000 ptas.
Socios de ASEICA: 20.000 ptas.

. Normalización de procedimientos y medidas en el Plan Revira

Madrid, 7 al 11 de Junio. 30 horas.

Objetivo: Proporcionar a los expertos que participan en la red de vigilancia radiológica ambiental la información y conocimientos necesarios para la obtención de resultados homogéneos.

Cuota: 65.000 ptas.

. Metrología de Radionucleidos mediante técnicas avanzadas de espectrometría por centelleo líquido.

Madrid, 22 al 26 de Noviembre. 27 horas.

Objetivo: Proporcionar los fundamentos teórico-prácticos de las técnicas básicas de espectrometría por centelleo líquido. Entrenar a usuarios en la utiliza-

ción del método CIEMAT/NIST para la medida de radionucleidos.

Se requiere titulación media o superior.

Cuota: 65.000 ptas.

Inscripciones: Hasta 15 días antes del comienzo del curso

Información adicional: CIEMAT Instituto de Estudios de la Energía. Avda. Complutense, 22. 28040-Madrid.

Tfn: (91) 346.62.92
Fax: (91) 346.60.05

CURSOS CE

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

Radiation Protection DG XI

. Optimisation of Radiological Protection in the Design and Operation of Nuclear and Industrial Facilities

Ringhall, Sweden, 8 - 12 November

. Dignosis and Treatment of Radiation Accident Victims

INSTN - Saclay, France, 15th - 19th November 1993

. Summer School on Radioecology and Enviromental Monitoring in Normal and Accidental Situations

Budapest - Hungary, 26 July -7 August 1993
National Research Institute of Radiobiology and Radiohygiene.

. Off-Site Emergency Planning and Response to Nuclear Accidents

Mol, Belgium, 21-25 June 1993
Studiecentrum voor Kernenergie

. Optimisation and Radiation Protection for Radiological Imaging in Dentistry

Göteborg (SW), 2nd - 3rd September, 1993
European Radiation Protection Education and Training (ERPET)

OTROS CURSOS

. Planning for radiation emergencies

University of Surrey, 5 - 9 July 1993

If you would like further details, please send a Fax with your: Name, Job Title, Company, Division, Address, Post Code, Country, Telephone and Fax Number

to: Professor J.R.A. Lakey, MOS Ltd, 17 Wrotham Road, Gravesend, Kent DA11 OPA.

Tel:(0474) 35.05.80 (Int: ++44 474 35.05.80)

Fax:(0474) 32.00.42 (Int: ++44 474 32.05.42)

Course fee £400 (Delegates from UK Local Authorities or Emergency Services in the UK may attend for a reduced fee of £300 or £65 for a single day)

CONVOCATORIAS

. International Conference on INDIVIDUAL MONITORING OF RADIATION

VILLIGEN, Switzerland, 5 - 7 May

Sponsor: Commission of the European Communities; Paul Scherrer Institute; US Department of Energy

Dr H G Menzel,
DG XII/D/3, CEC, Arts 3/61

rue de la Loi 200
B-1049 Brussels
Belgium

Tel. 322 235 9298
Fax: 322 236 6256

. Annual BRACHYTHERAPY Meeting

PADUA, Italy, 12 - 14 May

Sponsor. European Society for Therapeutic Radiology and Oncology Capucijnenvoer 33, (ESTRO) ESTRO Secretariat, .Univ. Hospital St. Rafael, Radiotherapy Department,



B-3000 Leuven,
Belgium
Tel. 0032/16/212 213
Fax. 0032/16/212 228

. 31st Annual Meeting of the American Society of NEURO-RADIOLOGY

NASHVILLE, Tennessee, USA,
14 - 15 May
Ame. Soc. Neuroradiology,
2210 Midwest Road, Ste. 207,
Oak Brook, IL 60521,
USA
Tel. 001/708/574-0220
Fax. 001/708/574-0661

. Annual Congress of the British Institute of RADIOLOGY (RADIOLOGY & ONCOLOGY '93)

GLASGOW, Scotland, UK, 17 -
19 May
Ms E Carruthers
BIR
36 Portland Place
London W1N 4AT
UK
Tel. 071-436-7807
Fax. 071-255-3209

. 1st Asian-Pacific Congress of CARDIOVASCULAR AND INTERVENTIONAL RADIOLOGY

SEOUL, Republic of Korea,
24 - 27 May
Sponsor: Department of Diag-
nostic Radiology, Seoul National
University Hospital
Jae Hyung Park, MD
Dept Diagnostic Radiology
Seoul Natl Univ Hospital
28 Yong-dong, Chongno-gu
Seoul 110-744
Republic of Korea
Abstract deadline: 31 Jan 1993
Tel. (822) 741-4581
Fax. (822) 743-6385

. International Symposium on the MEASUREMENT ASSU-

RANCE IN DOSIMETRY
VIENNA, Austria, 24 - 27 May
Sponsor: International Atomic
Energy Agency
Conference Service Section,
IAEA,

P.O.Box 100,
A-1400 Vienna,
Austria
Tel. 43 1 2360 1310
Telex 1-12645
Fax. 43 1 234564
Cable: INATOM VIENNA

. Annual Meeting on NUCLEAR TECHNOLOGY 93

KOELN (Cologne), Germany,
25 - 27 May
Sponsors: German Atomic
Forum; Germany
German Nuclear Society
Deutsches Atomforum e.v.,
Heussallee 10,
D-W-5300 Bonn 1,
Germany
Tel. (0228)507-0
Telex 8 869 444 datf d
Fax. (0228) 507-219

. 2nd Biennial Meeting on PHYSICS IN CLINICAL RADIOTHERAPY

PRAGUE, Czech & Slovak Fed.
Rep., 28 - 29 May
ESTRO Secretariat
Radiotherapy Dept., Univ.
Hospital St. Rafael
Capucijnenvoer 35
B-3000 Leuven
Belgium
Tel. 32-16-21
Fax. 32-16-21,22,28

. 4th International Conference on SIMULATION METHODS IN NUCLEAR ENGINEERING MONTREAL

Quebec, Canada, 2 - 4 Jun
Sponsors: Canadian Nuclear
Society; American Nuclear
Society
Mr A F Oliva, H11 D12
Ontario Hydro
700 University Avenue
Toronto, Ontario
Canada M5G 1x6
Tel. +1/416/592-7670

. 40th Annual Meeting of the Society of NUCLEAR MEDICINE

TORONTO, Ontario, Canada,
6 - 9 Jun
Society of Nuclear Medicine,

Dept. of Meeting Services,
136 Madison Avenue,
New York, NY 10016-6760,
USA
Tel. (212)889-0717

. 30th Congress of the European Society of PEDIATRIC RADIOLOGY

LONDON, UK, 7 - 11 Jun
Abstract deadline: 31 Jan 1993
Ms Jane Hill, CASL
Congress House
55 New Cavendish Street
London W1M 7RE
UK
Tel. 071 486 0531
Fax. 071 935 7559

. Conference and International Symposium on RADIONUCLIDE METROLOGY AND ITS APPLICATIONS

TEDDINGTON, UK, 7 - 11 Jun
Topics: preparation of sources &
reference materials; absolute
counting & standardisation with
emphasis on liquid scintillation
counting & novel methods;
radiation detectors; metrological
problems in low level assay &
contamination monitoring; medi-
cal applications; nuclear decay
data

ICRM '93, Div.Rad.Science
National Physical Laboratory
Queens Road
Teddington, MiddxTW11 OLW
UK
Fax. +44 81 943 6161 or 2155
Telex 262 344 npl g
E-mail SAWlat NEWTON.
NPL.CO.UK

. 25th Annual Meeting of the European Society for RADIATION BIOLOGY

STOCKHOLM, Sweden,
11 - 14 Jun
Dr M Harms-Ringdahl,
Dept. of Radiobiology,
University of Stockholm,
10691 Stockholm,
Sweden
Tel. 08-16-20-00
Fax. 08-16-64-88

. International Conference on SAFE MANAGEMENT AND DISPOSAL OF NUCLEAR WASTE (SAFEWASTE 93)

AVIGNON, France, 14 - 18 Jun
Sponsors: French Nuclear
Energy Society (SFEN); Europe-
an Nuclear Society
(In co-operation with the Interna-
tional
Atomic Energy Agency)
Mr P. Tanguy,
Electricité de France,
32, rue de Monceau,
F.75384 Paris Cedex 08,
France
Tel. (1) 40 42 71

. International Congress on RADIATION ONCOLOGY

Kyoto, Japan, 21 - 25 Jun
Prof M. Abe, Dept. of Radiology,
Kyoto University, Shogoin
Kawaharacho, Sakyo-ku, Kyoto
606, Japan

. 7th International Symposium on COMPUTER ASSISTED RADIOLOGY AND EXHIBITION

Berlin, Germany, 24 - 26 Jun
Prof. Heinz o Lemke
Technische Unviersität Berlin
CG FR 3-3 Franklinstr. 28/29
D-1000 Berlin Germany.
Tel. 49 30 3147 3100

. 1st International Workshop on INDOOR RADON REMEDIAL ACTIONS

Rimini (Bologna), Italy, 27 Jun -
10 Jul
Dr. Martial Olast
DGXII-D-3 (ARTS 3/51), Rue de
la Loi 200, B- 1049 Brussels,
Belgium
Tel. +32 2 235 0723
Fax: +32 2 236 6256

. Intenational Meeting of the Association for RADIATION RESEARCH

Guildford, Surrey, UK,
12 - 15 Jul
John Peacock
Radiothaerapy Research Unit
Institute of Cancer Research

15 Cotswold Road
Sutton, Surrey SM2 5MG UK
Tel. 081 643 8901
Fax: 081 770 7893

. Annual Meeting of American HEALTH-CARE RADIOLOGY ADMINISTRATORS

Orlando, Florida, USA,
12 - 22 Aug
Mr P.J. Cryan, AHRA
P O Box 910, Sudbury, MA
01776, USA

. RADIATION FILD CONTROL Seminar

Seattle, Washington, USA, 16 - 18 Aug
Abstract deadline: 15 Mar 1993
Sponsor: Electric Power Research Institute (EPRI)
(Open to EPRI- member personnel only)
Ms Linda Nelson
EPRI, P O Box 10412
Palo Alto, CA 94303-9743
USA
Tel. 415/855-2127
Fax: 415/855-2041

. International Symposium on the BIOLOGICAL EFFECTS OF LOW-LEVEL EXPOSURES TO RADIATION AND RELATED AGENTS.

Changchung, China,
19 - 23 Aug.
Prof Shu-Zheng Liu, Dept.
Radiation Biology, Norman Bethune University of Medical Sciences, 6 Xinmin St, Changchung, Jilin 130 021, China

. International Conference on ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY IN THE ARTIC AND ANTARCTIC

Kirkenes, Norway, 23 - 27 Aug.
Abstract deadline: 1 Mar 1993
v/Kari Thumen
Nat'l Ins of Rad Hygiene
P O Box 55
N-1345 Oesteras
Norway
Tel. + 472 -24-41-90
Fax: + 472 -24-74-07

. International Workshop on

RADIATION PROTECTION IN DENTAL PRACTICE (Satellite to the World Dental Congress 1993)

Goeteborg, Sweden, 28 - 29 Aug.
D. Teunen, CEC
DGXI. A. 1, rue Alcide de Gasperi, L - 2920 Luxembourg
Tel. + 352/4301 6389

. Workshop on RADIATION ECOLOGY OF FRESHWATER ECOSYSTEMS

Lisbon, Portugal, September
Sponsors: Commission of the European Communities; US Department of Energy
G. Desmet
CEC, DG XII/D/3
200 rue de la Loi, B-1049 Brussels
Belgium
Tel. + 32/2/2357 155

. International Conference on NUCLEAR WASTE MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL REMEDIATION

Prague, Czech & Slovak Fed.Rep., 5 - 11 September
Sponsor: American Society of Mechanical Engineers, Czech & Slovak Mechanical Engineering Society; Czech & Slovak Nuclear Society.
Mr. Radovan Kohout, Ontario Hydro H11 A20, 700 University Avenue, Toronto, Ontario M5G 1X6, Canada
Tel. (416) 592 - 5384
Fax: (416) 592 - 4485

. Biennial Congress of the International NUCLEAR LAW Association (NUCLEAR INTER JURA '93)

Theme: nuclear energy and sustainable development - the role of law
Rio de Janeiro, Brazil,
12 - 17 September
Ms Ninon M F Leme Franco
Rua General Severiano 90
Sala 200D
222 94-900 Rio de Janeiro Brazil
Tel. (55 (0) 21) 546-2338

Telex 2121 280 cnen br
Fax: (5521) 546-2442

. International Conference on FUTURE NUCLEAR SYSTEMS: EMERGING FUEL CYCLES AND WASTE DISPOSAL OPTIONS (Global '93)

Seattle, Washington, USA,
12 - 17 Sep
Sponsor: American Nuclear Society
GLOBAL '93
Westinghouse Handford Co.,
PO Box 1970, MS HO-32, Richland, WA 99352
USA
Tel. (509)376-5514
Fax.: (509)376-6282

. 8th European RADIOLOGY Congress

Vienna, Austria, 12 - 17 Sep
Abstract deadline: 1 Mar 1993
ECR '93 Secretariat
Neutorgasse 9/2a
A-1010 Wien
Austria
Tel. + 43-1-533 4064
Fax: + 43-1-533 40649

. Workshop on INTAKES OF RADIONUCLIDES, DETECTION, ASSESSMENT & LIMITATION OF OCCUPATIONAL EXPOSURE.

Bath, England, UK, 14 - 17 Sep
Sponsors: Commission of the European Communities, US Department of Energy; National Radiation Protection Board
Abstract deadline: 1 Feb 1993
H. Menzel
CEC, DG XII. D.3
200, rue de la Loi
B-1049 Brussels
Belgium
Tel. + 32/2/23 59 298

. International Workshop on DATA ANALYSIS IN QUALITY CONTROL AND RADIATION PROTECTION OF THE PATIENT IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY AND NUCLEAR MEDICINE.

Grado, Italy, 29 Sep - 1 Oct
Sponsor: Commission of the

European Communities
Abstract deadlines: 28 Feb 1993
H. Schibilla, CEC
DG.XII D.3., rue de la Loi 200,
B-1049 Brussels,
Belgium
Tel. + 32/2/23 56 469
Fax: + 32/2/23 66 256

. International NUCLEAR Conference and Exhibition.

Theme: Towards a better future.
Toronto, Ontario, Canada,
4 - 8 Oct.
Sponsor: Canadian Nuclear Association; Canadian Nuclear Society (In co-operation with the International Atomic Energy Agency)
Canadian Nuclear Society, 111 Elizabeth Street, Toronto, Ontario, Canada M5G 1P7
Tel. (416)977-7620
Fax: (416)979-8356

. Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española

Sociedad Nuclear Española
Cáceres, España, 6 - 8 Oct.

. Conferencia Internacional sobre Armonización en protección contra las radiaciones: De la teoría a las aplicaciones prácticas

Taormina (Italia), 11 - 13 Oct. 1993
Organizado conjuntamente por la Société Française de Radioprotection (SFRP), Associazione Italiana di Protezione contro le Radiazioni (AIRP), Sociedad Española de Protección Radiológica (SERP), con la colaboración de Associazione Italiana di Radioprotezione Medica (AIRM) Sociedad Española de Protección Radiológica
Tel: 593.11.55
Pza. de Chamberí, 10 4ª izq.
28010 Madrid

. International Symposium on Remediation and Restoration of Radioactive - Contaminated Sites in Europe

Antwerp (Amberes), Belgium,
11 - 15 Oct. 1993



Commission of the European Communities
Further Information:
F.LUYKX
Commission on the European Communities
DG XI
Wagner Building C-354
L-2920 Luxembourg
Tel. (352) 4301 363991
Telex: 3423 comeur lu
Fax: (352) 4301 36280

. Asia Congress on RADIATION PROTECTION
Beijing, China, 18 - 22 Oct.
Sponsors: International Radiation Protection Association;

China Society of Radiation Protection; Japan Health Physics Society
Abstract deadline: 1 Feb 1993
ACRP Secretariat
P O Box 120
Taiyuan, Shanxi 030006
China
Tel. (860351) 740 266
Fax: (380351) 740 407

. 3rd International Symposium on STABILIZATION/SOLIDIFICATION OF HAZARDOUS WASTES
Williamsburg, Virginia, USA, 1 - 5 Nov.
Ms. Dorothy Savini

Symposia Operations, ASTM
1916 Race Street
Philadelphia, PA 19103-1187
USA
Tel. 215/299-5413
Fax: 215/977-9679

. 2nd Regional Congress on HEALTH PHYSICS AND NUCLEAR SAFETY
Mexico City, Mexico, 8 - 12 Nov.
Sponsors: Mexican Health Physics Society; Mexican Nuclear Society
Dr. Raul Ortiz
Sociedad Mexicana de Seguridad, Dr. Barragan 779, Col

Navarte CP 03020, Mexico DF, Mexico
Tel. 2 934 0266
Fax: 2 937 9116

. 12th Annual Meeting of the European Society for THERAPEUTIC RADIOLOGY AND ONCOLOGY
Jerusalem, Israel, 14 - 19 Nov.
ESTRO Secretariat,
Dept. of Radiotherapy, A Z St. Raphael, Kapucijnenvoer 35, B - 3000 Leuven, Belgium
Tel. 32/16/ 21 22 13
Fax: 32/16/ 21 22 28



Resumen de los Estatutos:

Art. 5 Los socios podrán ser:

a) Numerarios.- Podrán ser socios numerarios las personas que estando en posesión de un Título Académico Superior desarrollen o hayan desarrollado una actividad profesional directamente ligada a la Protección Radiológica.

b) Agregados.- Podrán ser socios agregados las personas que no cumpliendo los requisitos necesarios para ser admitidos como socios numerarios tengan, sin embargo, una actividad profesional con experiencia reconocida en Protección Radiológica

Art.6 Adquisición de la calidad de socio: La adquisición de la calidad de socio se realizará de la siguiente forma:

a) Los socios numerarios y/o agregados enviarán a la Junta Directiva una solicitud de admisión avalada por dos socios numerarios. La Junta Directiva examinará y, en

su caso, aprobará esta solicitud.

Art.7 Derecho de los socios: Los socios tienen derecho a:

- Voz en las Asambleas Generales ordinarias y extraordinarias
- Ser Informados de la marcha de la S.E.P.R.
- Participar en las actividades que la S.E.P.R. promueva o de las que forme parte siguiendo las indicaciones de la Junta Directiva.

Unicamente los socios numerarios tienen derecho a voto en las Asambleas generales ordinarias y extraordinarias a ser candidatos a los cargos directivos de la Sociedad y a solicitar convocatoria de Asamblea general extraordinaria cuando lo acuerden al menos la cuarta parte de los mismos.

Cuota de adhesión a la Sociedad:
5.000 ptas (IVA incluido)



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCION RADIOLOGICA
afiliada a la
INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION (I.R.P.A.)

SOLICITUD DE ADMISION

Datos personales:

Apellidos..... Nombre.....

Fecha de nacimiento Dirección particular.....

..... Teléfono (.....)..... Empresa o centro de trabajo

Departamento Dirección

Teléfono (.....)..... Cargo o puesto que ocupa

Estudios o formación

Experiencia profesional relacionada con la protección radiológica

Enviar correspondencia a:

Dirección particular

Lugar de trabajo

Publicaciones y trabajos relacionados con protección radiológica

(resumen)

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



Otra experiencia profesional :

.....
.....
.....
.....

Socios que avalan su candidatura:

D/D^a firma

D/D^a 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

Sr. Director de:

Sucursal:

Calle/Plaza

Localidad

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:.....

Cuenta/libreta N°:



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, Pza. Chamberí, 10 -4º Izda., 28010 MADRID.

1. Manuscritos:

1.1. Los trabajos estarán redactados en español y no pueden tener una extensión mayor de diez (10) folios, tamaño DIN-A4, de 36 líneas cada uno, mecanografiadas a doble espacio y numeradas correlativamente.

1.2. Los gráficos, dibujos, 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 "Word Perfect" 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:

Tendrá una extensión máxima de 150 palabras y deberá estar redactado de forma que dé 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, produciendo que la información no se duplique entre sí.

Las **fotografías** se enviarán sobre papel blanco brillante y con un buen contraste. El tamaño será 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

Tecnología ... Calidad ... Servicios ...

ENUSA

Santiago Rusñol, 12
28040 MADRID - ESPAÑA
Tel. (91) 347 42 00
Fax. (91) 347 42 15

