

# RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



## ▲ Entrevista:

**Javier de Pinedo**

Presidente del Comité de Energía Nuclear de UNESA

## ▲ Radiaciones RF de Antenas de Telefonía y Salud Pública: El Estado Actual de la Cuestión.

## ▲ Nuevas aproximaciones para el estudio de los Mecanismos de Oncogénesis Hematológica Radioinducida.

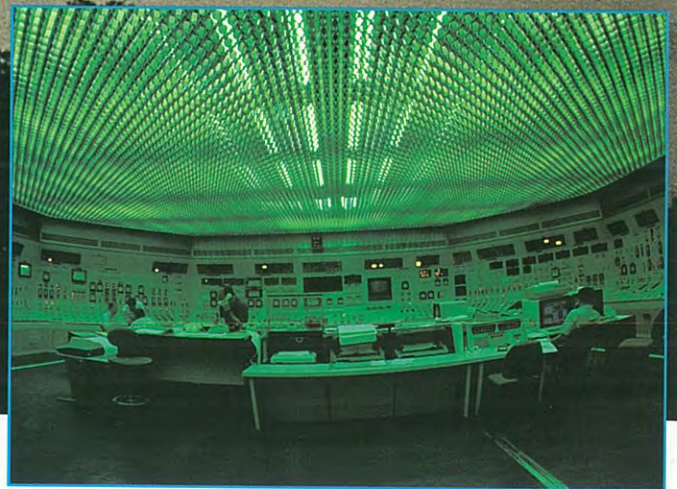
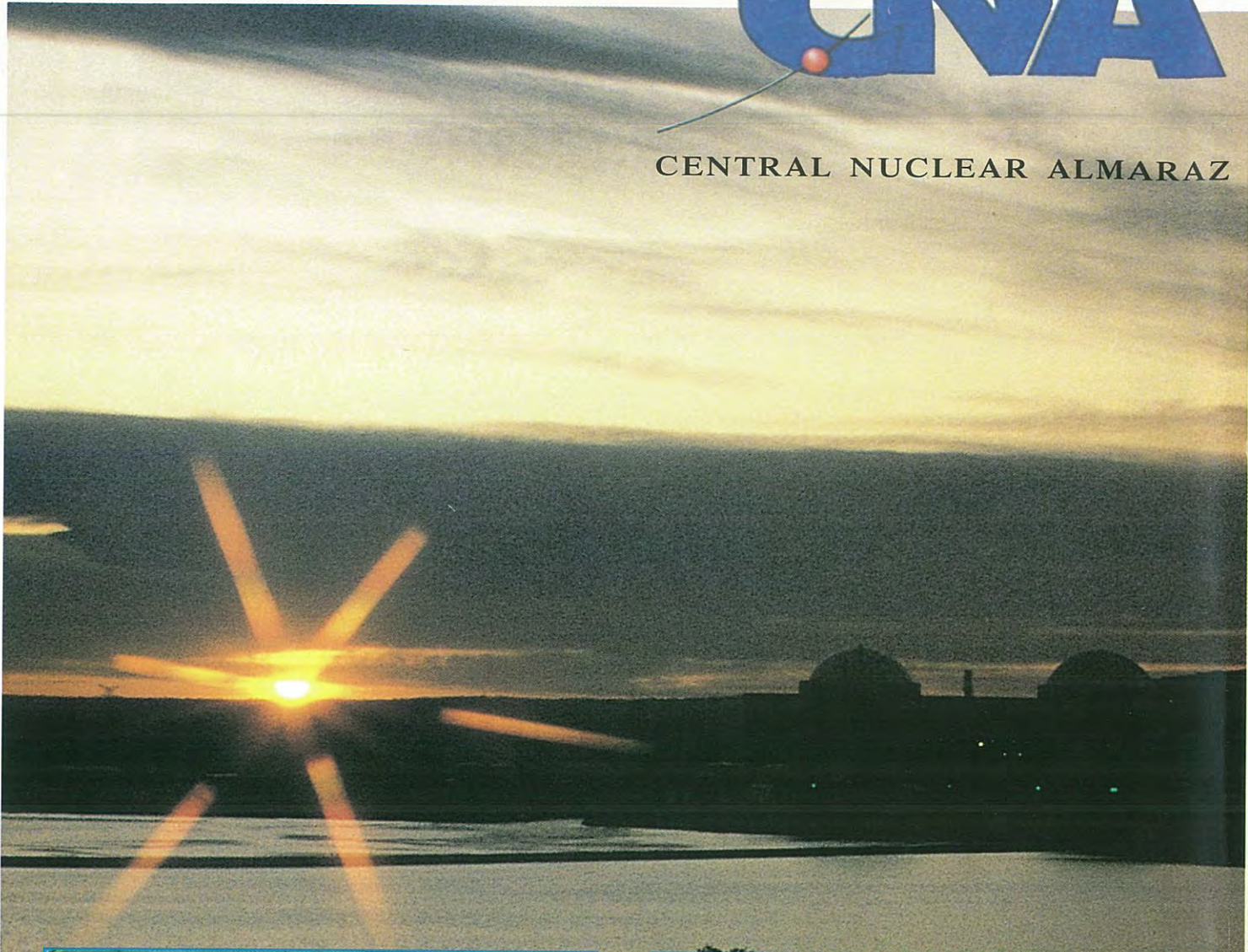
## ▲ Dosis controlables: Reflexión sobre el Control de las Dosis Individuales Originadas por cada Fuente de Radiación

Nº 20 • Vol. VII • 1999





CENTRAL NUCLEAR ALMARAZ







**SOCIEDAD  
ESPAÑOLA  
DE PROTECCIÓN  
RADIOLÓGICA**

**Secretaría Técnica**

Capitán Haya, 60 - 28020 Madrid  
Tel.: 91 749 95 02 - Fax: 91 749 95 03  
e-mail: edicomplet@medynet.com

**Junta Directiva**

Presidente: *Xavier Ortega*

Vice-presidente: *Ignacio Hernando*

Vice-presidente (Congreso 2000): *Roberto Martín*

Vice-presidente (Asuntos Especiales): *Leopoldo Arranz*

Secretaría: *María Luisa España*

Tesorero: *Pío Carmena*

Vocales: *Juan Manuel Campayo, Antonio Delgado, Antonio López, María Jesús Muñoz, Cristina Núñez de Villavicencio*

**Comisión de Asuntos Institucionales**

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

Responsable: *Xavier Ortega*.

**Comisión de Actividades Científicas**

*Ignacio Amor, Leopoldo Arranz, Josep Baró, Francisco Fernández Moreno, José Hernández Armas, Jerónimo Iñiguez, J. Carlos Sáez, Ricardo Torres*

Responsable: *Ignacio Hernando*.

**Comisión de Normativa**

*Asunción Díez, Manuel Fernández Bordes, Joan Font, Rafael García-Bermejo, Andrés Leal, Pilar López Franco, María Teresa Ortiz*

Responsable: *María Luisa España*.

**Comisión de Comunicación y Publicaciones**

*Isis Corpas, José Miguel Fernández, José Gutiérrez, María Teresa Macías, Paloma Marchena, Teresa Navarro, Carlos Prieto, Eduardo Sollet*

Responsable: *Antonio López Romero*.

**Comisión de Asuntos Económicos y Financieros**

*Mercedes Bezares, Juan Manuel Campayo, Jesús de Frutos, Marisa Marco, Patricio O'Donnell, María Teresa Ortiz, Félix Recio*

Responsable: *Pío Carmena*.

# RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

**Director:** *Eduardo Sollet*

**Coordinadora:** *Paloma Marchena*

**Comité de Redacción**

*José Miguel Fernández Soto, José Gutiérrez, Antonio López Romero, Teresa Navarro y Matilde Pelegrí*

**Comité Científico**

Coordinador: *José Gutiérrez*

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

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

Directora: *Matilde Pelegrí*

Isla de Saipán, 47 - 28035 Madrid

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

e-mail: senda@sendaeditorial.com

**Impresión:** Neografis, S.L.

**Comercio:** Récord

**Depósito Legal:** M. 17.158-1993

**ISSN:** 1133-1747



## S U M A R I O

- **Editorial** **3**
- **Noticias** **4**
  - de la SEPR 4
  - de España 44
  - del Mundo 47
  - del GRIAPRA 50
- **Entrevista** **11**

*Javier de Pinedo Cabezado*  
Presidente del Comité de Energía Nuclear de UNESA
- **Contribución invitada** **18**

Dosis controlables: Reflexión sobre el Control de las Dosis Individuales Originadas por cada Fuente de Radiación  
*Profesor Roger H. Clarke*
- **Colaboraciones** **24**
  - Radiaciones RF de Antenas de Telefonía y Salud Pública: El Estado Actual de la Cuestión 24  
*Alejandro Úbeda Maeso, María Angeles Trillo Ruiz*
  - Nuevas aproximaciones para el estudio de los Mecanismos de Oncogénesis Hematológica Radioinducida 37  
*Almudena Real Gallego, Montserrat Ortega Cordote, José A. Casado Olea, Cristina Bauluz, Rosa de Vidania*
- **Publicaciones** **51**
- **Convocatorias** **55**

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





# SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

afiliada a la

INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION (I.R.P.A.)

Correo electrónico: [sepr@sepr.org](mailto:sepr@sepr.org)

## SOLICITUD DE ADMISIÓN

### Datos personales:

Apellidos		Nombre	
Dirección particular			
Código postal y Población			
Teléfono	Fax	Fecha nacimiento	
Empresa o Centro de trabajo		Cargo	
Dirección			
Código postal y Población			
Teléfono	Fax	e-mail	
Estudios o formación			
Enviar Correspondencia a: Dirección particular <input type="checkbox"/> Lugar de trabajo <input type="checkbox"/>			

### Socios que avalan su candidatura

D/D <sup>o</sup>
D/D <sup>o</sup>

El abajo firmante solicita su ingreso en la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA comprometiéndose a cumplir sus Estatutos, en calidad de socio: Numerario  Agregado

..... Firma..... Fecha.....

### Sectores de actividad

Para su participación en la SEPR indique actividad profesional y/o área de interés.  
(Debe adscribirse por lo menos a un sector)

Reglamentación y Normativa  Medicina y Salud Pública  Investigación y Docencia   
Industria, Energía y Medio Ambiente  Actividades Técnicas y Comerciales

## DOMICILIACIÓN BANCARIA

Entidad	Sucursal	D.C.	Número de Cuenta
CUENTA CARGO .....			

Sr. Director de		
Calle/Plaza		
Localidad	Provincia	C. Postal

Muy Sr. Mío:

Le ruego que, hasta nueva orden, abonen con cargo a mi cuenta/libreta en esa Entidad, los recibos que a mi nombre les presente al cobro la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.

Atentamente,

Nombre y Apellidos.....(firmado)



# Editorial

La aparición del primer número de 1999 de *RADIOPROTECCIÓN* marca una nueva etapa en su trayectoria, constatable por el cambio del grupo Editorial que a partir de este año colaborará con la Sociedad en dar continuidad a la labor fructífera que se ha venido realizando y adaptarla a los nuevos retos y necesidades que la Sociedad y la Revista deben afrontar.

Merece destacarse en este número la referencia que se hace a los primeros resultados, ciertamente modestos, de la puesta en marcha de las nuevas Comisiones de la Junta Directiva, recientemente constituidas. El camino iniciado no está exento de dificultades propias de una Organización que tradicionalmente se ha movido bajo los impulsos y el tesón de unos pocos esforzados miembros, y que debe hacer compatibles las necesarias iniciativas individuales con la deseable ordenación y apoyo institucional que la SEPR precisa.

Otro hito de relieve a señalar es la publicación de una iniciativa, protagonizada por el Director de la NRPB, R. Clarke, basada en la introducción del concepto de dosis controlable y de un conjunto de ideas que pueden ser de interés en el desarrollo futuro del sistema de protección radiológica. La IRPA ha solicitado de las diversas Sociedades la apertura de un debate al respecto, y la Revista *RADIOPROTECCIÓN* es un vehículo idóneo para transmitir dicha propuesta. Las correspondientes aportaciones de los miembros de la SEPR se recogerán a través de la Comisión de Actividades Científicas.

En el capítulo de novedades, cabe saludar la próxima publicación del Protocolo Español de Control de Calidad en Medicina Nuclear que ha sido elaborado en colaboración con la Sociedades Españolas de Física Médica y Medicina Nuclear.

También hay que destacar, por su interés general, la publicación del borrador de la Guía de Seguridad 7.2 del CSN relativa a las certificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes y para ejercer las funciones propias de un Servicio o Unidad de Protección Radiológica.

Finalmente, y en relación con las iniciativas de la Junta Directiva, merece constatar el esfuerzo que se está realizando para disponer de un conocimiento más amplio de los miembros de la Sociedad. A la campaña, aún abierta, para conseguir que todos los asociados puedan estar distribuidos en Sectores de actividad, se suma la ficha que se ha redactado para actualizar sus datos personales y profesionales y que se remitirá próximamente.

Es de esperar que todas estas iniciativas redunden en una mayor aproximación de las actividades de la SEPR a los centros de interés de sus miembros.







## Actividades de la Comisión de Normativa de la SEPR

Las Comisiones creadas en la Estructura Funcional de la SEPR desarrollan los trabajos encomendados por la Junta Directiva según las actividades asignadas a cada Comisión. Durante los últimos meses, los trabajos desarrollados han sido:

### a) Comisión de Asuntos Institucionales

- Análisis de las actividades internacionales de la Sociedad:
- Relaciones con la UE y Sociedades europeas.
- Colaboración con Sociedades Iberoamericanas.
- Revisión de las actividades del IRPA.
- Candidatura española del IRPA 11.
- Política de financiación de las actividades de la Sociedad.

### b) Comisión de Actividades Científicas

- Definición y elaboración del Programa de Actividades Científicas (Cursos, Jornadas, Reuniones, Informes Técnicos, Estudios, etc.) previsto para el año 1999 y apoyo para su desarrollo.
- Creación de un grupo de trabajo (en fase de iniciación) para analizar el documento remitido por IRPA sobre el concepto de dosis controlable y evaluar sus posibles implicaciones en las Normas Básicas relativas a la Protección Sanitaria de los trabajadores y de la población (Directiva 96/29 del Euratom).

### c) Comisión de Normativa

- Análisis, evaluación y comentarios de las propuestas de normativa siguientes:

- Real Decreto sobre el control de calidad en instalaciones de radiodiagnóstico médico.

- Guía de Seguridad CSN/GS-10.5 sobre garantía de calidad de pruebas, inspecciones y control de procesos en instalaciones nucleares.

- Guía de Seguridad CSN/GS-10.7 sobre garantía de calidad de instalaciones nucleares en explotación.

- Guía de Seguridad CSN/GS-1.11 sobre modificaciones de diseño en centrales nucleares.

- Guía de Seguridad CSN/GS-7.2 sobre cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes para ejercer las funciones propias de un servicio o unidad técnica de protección radiológica.

### d) Comisión de Comunicación y Publicaciones

- Participación en la edición de la Revista de Radioprotección como Comité de Redacción.

- Comparación de ofertas y selección del editor del Protocolo de Control de Calidad de la instrumentación radiológica empleada en Medicina Nuclear.

- Establecimiento del acuerdo de colaboración SEPR/CIEMAT para el desarrollo inicial y operación de la Página Web de la Sociedad Española de Protección Radiológica.

### e) Comisión de Asuntos Económicos

- Elaboración de la Memoria Económica del Plan de Actividades del año 1999.

- Cierre del ejercicio correspondiente al año 1998.

## Comisión de Normativa de la SERP

Desde su constitución la Comisión de Normativa ha estudiado para comenta-

rios el borrador del Real Decreto sobre control de calidad en instalaciones de radiodiagnóstico médico, la guía de seguridad de CSN GS-10.5 "Garantía de calidad de pruebas, inspecciones y control de procesos en instalaciones nucleares". En la actualidad están en proceso de comentarios dos guías del CSN, la guía GS-10.7 "Garantía de Calidad de instalaciones nucleares en explotación", y la GS-1.11 "Modificaciones de diseño en centrales nucleares".

## Nueva etapa de RADIOPROTECCIÓN

Con el fin de dar un nuevo impulso a nuestra Revista, la Junta Directiva de la Sociedad ha decidido, después de un estudio detallado de diversas propuestas, asignar la edición de RADIOPROTECCIÓN a Senda Editorial, S.A., empresa especializada en publicaciones técnicas y que editó el número extraordinario de 1998 dedicado al VII Congreso de la SEPR, celebrado en Barcelona en Mayo del pasado año.

El inicio de esta etapa coincide con la nueva organización de la Sociedad, en la que la Revista cuenta con un Comité de Redacción, bajo la dependencia de la Comisión de Comunicación y Publicaciones. Como objetivos fundamentales, la SEPR se ha marcado, por un lado, brindar una información de interés, apoyada en los reportajes fotográficos y en una presentación actual y atractiva y, por otro, buscar la autofinanciación a través de la publicidad de las empresas del sector.

Este esfuerzo de mejora tiene un objetivo básico: servir cada día más de medio de información de todos los profesionales dedicados a la Protección Radiológica en España y en países cercanos por razones geográficas y organizativas. Es por ello que el Comité de Redacción invita a sus lectores a aportar sus experiencias profesionales y sus conocimientos a través de artículos en RADIOPROTECCIÓN.



## Candidatura Española para organizar el IRPA 11

Las últimas acciones realizadas por el Comité Organizador para la preparación de la candidatura de la Sociedad Española de Protección Radiológica a la Organización en Madrid en el año 2004 del Congreso IRPA 11 han sido las siguientes:

- La candidatura española ha sido presentada en tres foros distintos:

- Al Presidente y Secretario General de IRPA con el apoyo del Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear y del Ayuntamiento de Madrid.

- A los Presidentes de Sociedades Europeas de protección radiológica durante la reunión celebrada en Luxemburgo auspiciada por la UE.

- A los Presidentes de las Sociedades Iberoamericanas de protección radiológica en la Habana con ocasión del Congreso Regional IRPA de Cuba.

- Se ha informado de la candidatura a:

- Destacados miembros de la Health Physics Society de los EEUU con ocasión del Seminario ALARA de Orlando (Florida) con el encargo que transmitan a su Junta Directiva la disposición de la SEPR para presentar nuestra candidatura en su próximo congreso.

- La Sociedad Japonesa de protección radiológica con ocasión de la reunión del Comité de Programas del IRPA 10 de Hiroshima 2000. En esa reunión la S.E.P.R. ha apoyado la candidatura del Profesor Itsuzo Shingematsu para el próximo premio Sievert, lo que contribuirá favorablemente para conseguir el apoyo de Japón.

El Comité Organizador se ha estructurado en 5 grupos de trabajo para agilizar los trabajos pendientes (contactar con todas las sociedades de IRPA, preparar la página WEB, presentación de la documentación reglamentaria al IRPA, pre-

sentación de la candidatura en Hiroshima (IRPA 10) el próximo año, programa social, etc.)

## Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico

El Comité de Redacción del Protocolo Español de Calidad en Radiodiagnóstico, de acuerdo con el compromiso establecido con la Sociedad Española de Física Médica y la Sociedad Española de Protección Radiológica, para que el documento estuviera abierto a nuevas revisiones y ampliaciones en función de la incorporación de nuevas tecnologías o normativas, ha acordado iniciar el proceso de revisión del mismo.

Para ello, ha adoptado una serie de acuerdos, entre los que cabe destacar:

- Mantener la misma estructura del Comité, invitando a participar en temas puntuales a profesionales con experiencia contrastada en alguno de los nuevos capítulos a tratar. En función de su contribución, podrá plantearse su pertenencia al grupo de redacción. Al igual que en la versión actual, se incluirán en los agradecimientos a las personas que realicen aportaciones o sugerencias. En este sentido, cabe mencionar la baja de P. Rodríguez, a petición propia, y la incorporación de J.M. Fernández, invitado a desarrollar en el Protocolo aspectos sobre fósforos fotoestimulantes, fluoro digital, procesadoras secas, PACS y digitalizadores.

El Comité, por tanto, queda constituido por los siguientes miembros: M. Alonso Díaz, A. Calzado Cantero, M. Chevalier del Río, J.M. Fernández Soto, L. González García, E. Guibelalde del Castillo (Secretario), I. Hernando González, P. López Franco, P. Morán Penco y E. Vañó Carruana (Coordinador).

- Utilización preferente del correo electrónico para intercambio de información. Siempre que sea posible, cualquier sugerencia de modificación o revisión

del Protocolo deberá enviarse por este medio al Secretario.

- Realización de una nueva versión del Protocolo, revisándolo en profundidad y añadiendo nuevas áreas.

- Mantenimiento de la misma estructura de tablas y fichas, ampliando en lo posible el apartado de observaciones para dar cabida a descripciones de procedimientos, si se considera necesario.

- Desarrollo de los trabajos de modificación del protocolo en un plazo máximo de dos años.

Por último, hay que reseñar la celebración de mesas redondas o debates en los próximos congresos nacionales de Física Médica y de Protección Radiológica, a fin de que los socios puedan aportar y discutir sus sugerencias y observaciones.

## Curso sobre: Principios y Métodos de Investigación de la Percepción Social del Riesgo. La Comprensión del Riesgo Radiológico

Del 4 al 6 de Mayo de 1999 en el Complejo Cultural San Francisco (junto al hospital San Pedro de Alcántara) de la Institución Cultural "El Brocense", se va a celebrar en Cáceres organizado por la Sociedad Española de Protección Radiológica en colaboración con Centro Extremeño de Estudios y Cooperación con Iberoamérica (CE-XECI), la Universidad de Extremadura, la Junta de Extremadura, la Diputación Provincial de Cáceres y el GRIAPRA un





curso sobre la percepción social del riesgo radiológico.

El curso está dirigido a los profesionales de la protección radiológica, de la comunicación o de la sanidad que tienen algún tipo de responsabilidad en la comunicación del riesgo de las radiaciones ionizantes a los trabajadores, a los pacientes, a grupos de opinión o a la población en general. Un colectivo que puede estar también interesado en asistir a este curso lo constituyen los psicólogos y sociólogos preocupados en conocer las técnicas de investigación de la percepción social del riesgo.

El curso de tres días de duración se iniciará el martes 4 de mayo a las 16:00 horas, para continuar el miércoles 5 en jornada de mañana y tarde desde las 09:30 hasta las 19:30, para finalizar el jueves 6 de mayo a las 12:30.

Entre el profesorado se encuentran periodistas, catedráticos, sociólogos y psicólogos de gran prestigio.

La cuota de inscripción que incluye la documentación del curso, la comida de trabajo del miércoles y el certificado de asistencia es de 23.000 ptas. para los socios de la Sociedad Española de Protección Radiológica y de 38.000 ptas. para los no socios.

Para más información e inscripción al curso, pueden dirigirse a la secretaría de la S.E.P.R. (Srta. Susana Díez) en la siguiente dirección:

Sociedad Española de Protección Radiológica  
c/ Capitán Haya, 60 - 1º  
28020 MADRID  
Tel. 91-7499502  
Fax. 91-7499503

## Curso sobre "Transporte de Material Radiactivo"

Tras la 1ª edición del curso sobre "Transporte de Material Radiactivo" realizado en marzo de 1998, la gran demanda de los profesionales implicados en el transporte de material radiactivo y la identificación de la necesidad de

seguir clarificando y profundizando en la aplicación del Reglamento sobre Transporte de Material Peligroso por Carretera, ha motivado a la Comisión Científica de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) a promover una 2ª edición del curso a nivel nacional.

Esta 2ª edición del curso, organizado conjuntamente con UNESA y CIEMAT, y patrocinado por CSN, ENUSA y ENRESA, tendrá lugar la semana del 7 al 11 de Junio de 1999 en la sede de CIEMAT.

Este curso, centrado principalmente en el transporte por carretera, va dirigido a los profesionales con responsabilidades en dicha materia pertenecientes a: Instalaciones nucleares y radiactivas, transportistas, expedidores/receptores de transporte, comercializadores de sustancias radiactivas, empresas que desplazan equipos radiactivos, etc.

El contenido del curso cubre todos los aspectos teóricos-prácticos relacionados con el tema, desarrollando en profundidad los procedimientos y requisitos establecidos en la normativa nacional e internacional, y que se pueden englobar en los siguientes módulos:

- Marco legal
- Terminología
- Disposiciones administrativas
- Garantía de calidad
- Salida, transporte y recepción de material radiactivo
- Emergencias
- Responsabilidades
- Futura reglamentación
- Aspectos prácticos: Caso práctico

Para su impartición se cuenta con expertos de las siguientes instituciones: Dirección General de Protección Civil, CSN, CIEMAT, ENRESA, ENUSA, C.N. Vandellos II, C.N. Trillo, E.T.S.A., AdQ y Nuclear Ibérica.

## VII Congreso Nacional de Protección Radiológica

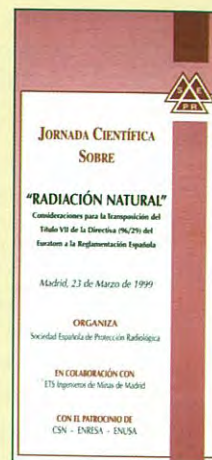
El Comité Organizador está trabajando con gran dedicación en la definición del

programa del próximo Congreso Nacional, que tendrá lugar del 26 al 30 de septiembre del año 2000 en el Palacio de Congresos de Las Meloneras, Maspalomas, Gran Canaria.

Adelantamos en este número la portada del primer anuncio, que será enviado a todos los socios de la SEPR en las próximas semanas.

## Jornada Científica sobre RADIACIÓN NATURAL

El pasado 23 de Marzo se celebró en el magnífico y centenario marco del Salón de Actos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid una jornada científica sobre Radiación Natural, organizada por la SEPR, en colaboración con la propia Escuela y con el patrocinio del Consejo de Seguridad Nuclear, ENRESA y ENUSA.



Acto de Apertura.

La jornada, que contó con la asistencia de unos 75 profesionales, se estructuró en tres paneles. Tras las palabras de bienvenida del Subdirector de la Escuela de Minas y el saludo del presidente de la Sociedad, el primer panel sobre





Panel n° 1.



Panel n° 2.

“Aspectos Operativos”, moderado por Javier Bustillo (UNESA), trató en profundidad los siguientes temas:

- La presencia de radionúclidos naturales en materias primas cuyo procesamiento industrial da lugar a actividades laborales no reglamentadas con exposición a la radiación, a cargo de Pedro Carboneras, de ENRESA. En concreto, se citaron los siguientes procesos industriales en los que existe material radiactivo de origen natural:

- Combustión de combustibles sólidos con dosis mínimas y fácil prevención radiológica.
- Trabajos con minerales fosfatados con especial atención a las dosis de los trabajadores.
- Extracción de petróleo y gas con interés sobre el control del reciclado de las chatarras metálicas.
- Uso de tierras raras (con valores de actividad entre 1 y 10 kBq/kg) y minerales de circonio (con valores de actividad de hasta 500 kBq/kg) con énfasis en la prevención de la inhalación por los trabajadores.
- Producción de cobre (con valores de actividad de 20 a 27 kBq/kg) con dosis mínimas y especial interés el control de la reutilización.
- Reciclado de materiales residuales de la construcción (con concentraciones de 100 a 1.000 kBq/kg).
- Industria química, residuos de plantas de tratamiento de agua e industria del Uranio (colas del proceso de enriquecimiento).

- Presentación, por José Ángel Fernández Amigot (ENUSA) del Mapa de Radiación Gamma Natural de España (Proyecto MARN), desarrollado en el Marco de los convenios suscritos entre el Consejo de Seguridad Nuclear y ENUSA. El proyecto tiene como objetivo la creación del mapa español a escala 1:1.000.000 y el Atlas Radiométrico de las diferentes comunidades autónomas a escala 1:200.000.

El mapa se ha realizado sobre la base de medidas de radiación gamma total mediante prospección radiométrica aérea a una altura de 120 metros y distancia de vuelo entre trayectorias adyacentes de 1 km. El mapa tiene una resolución igual o mejor de 1 dato/km<sup>2</sup>. La dosis media de España está comprendida entre 80 y 90 nSv/h.

- Las consecuencias de la aplicación de la nueva normativa a la navegación aérea, expuestas por Ramón Domínguez (responsable médico de Iberia). El personal expuesto en Iberia, se circunscribe en la actualidad a 14 personas de mantenimiento que realizan trabajos de ensayos no destructivos en álabes de turbinas, sobre un colectivo total de trabajadores de 22.000. Esta cifra se verá incrementada, con la entrada en vigor en la reglamentación española de la Directiva 96/26, a 5.800 personas (3.000 auxiliares de vuelo y 1.800 pilotos y navegantes).

Para vuelos trasatlánticos la dosis media anual es de 4,5 a 6,5 mSv/año con un énfasis especial en la dosis neutrónica y la dosis depende de la latitud, de la duración del vuelo y de la estación del año.

El problema fundamental se centra en vuelos de altitudes entre los 11.000 y los 14.000 metros, donde el consumo de combustible es menor. Para ello, Iberia se va a dotar de un contador TPC (Tissue Proportional Counter) para iniciar, con el asesoramiento del CIEMAT, una campaña de medidas en este tipo de vuelos.

- El efecto de tener que considerar la radiación natural en las centrales nucleares cuando entre en vigor la nueva Directiva 96/29, fue analizado por Francisco de Lucas (Nuclenor). En general será despreciable al compararlo con la exposición debida a los artificiales, tanto en lo que se refiere a la exposición del público por los vertidos autorizados en los efluentes tanto líquidos como gaseosos, como en los referente a la exposición de los trabajadores.

El segundo panel sobre “Proyectos y Programas de Investigación” estuvo moderado por Xavier Ortega (Universidad Politécnica de Cataluña) y discutió los siguientes temas:

- Los trabajos hechos o en curso sobre la radiactividad natural realizados por el CIEMAT, y que fueron expuestos por Beatriz Robles, se centran en la evolución radiológica de la industria de los fosfatos en Huelva, la medida de niveles de Radón en interior de viviendas en Barcelona y Madrid y la revisión general de la exposición al Radón en España.

Se citaron otros proyectos de investigación en los que colabora con Universidades a través del acuerdo marco CIEMAT/ENRESA:

- Factores determinantes de los contenidos radiactivos en aguas potables y





Panel n° 3.



Acto de Clausura.

eficacia en la descontaminación de los métodos tradicionales de potabilización.

- Estudio de la adaptación de los procedimientos de potabilización para aumentar la eficacia de la descontaminación radiactiva de los recursos hídricos.

- Estudio radiométrico de isótopos de Uranio natural, Th-230 y Ra-226 en minas de Uranio.

- El problema del Radón y su medida en España presentado por Luis Quindós (Universidad de Cantabria). Se da una amplia perspectiva del problema del Radón en España. Los trabajos se han realizado dentro del proyecto ERRICCA cubriendo los siguientes tópicos: acciones remediales, diseño de construcciones y aspectos legales.

Las industrias en España que manejan materiales con contenidos en Radón son: carbones, cenizas, cementos, pizarras y granitos. En general los contenidos en Radón de estos materiales en España son pequeños al compararlos con semejantes de países europeos.

Otras actividades que quizás en el futuro deberían estar sujetas a algún control son: la visita de cuevas turísticas, los trabajadores de balnearios, la industria del caolín, la fabricación de tubos de conducción de agua, la industria cerámica y de materiales refractarios, el transporte y almacenamiento de gas natural y la espeleología.

- La producción de ácido fosfórico ante la luz de la nueva normativa europea (Directiva 96/29), abordado por Manuel García León, Universidad de

Sevilla). Es un proyecto de I+D de las Universidades de Sevilla y Huelva en colaboración con dos industrias locales, Fertiberia y Forex, en el que se evalúa el ámbito industrial y el ambiental. Tras explicar el proceso de fabricación del  $PO_4H_2$  a partir de la roca fosfática atacada con  $SO_4H_2$  del que se obtiene como subproducto el fosfoyeso, se presentan los valores de actividad de la materia prima que puede llegar hasta las 300 ppm de Uranio. La actividad anual que se maneja en el proceso industrial es de alrededor de 2,6 TBq de U-238 de los que 2,2 pasan al ácido fosfórico y 0,4 se quedan en el fosfoyeso. Una cantidad semejante de Ra-226 se trata durante el proceso, sin embargo en este caso se invierten las cifras, 2,4 se quedan en el fosfoyeso y 0,4 pasan al ácido.

Históricamente, los residuos del proceso industrial se han eliminado en los ríos Odiel y Río Tinto. En las balsas de fosfoyeso restauradas, la dosis anual es del orden de 1,4 mSv/año, del mismo orden de magnitud que en la ciudad de Huelva, mientras que en las no restauradas, la dosis se incrementa hasta los 3,5 mSv/año. Queda aún por evaluar el impacto de la actividad de los sedimentos de estos ríos sobre la exposición del público.

- Estudios radiométricos en minas de Uranio en Extremadura en fase de clausura (Los Ratones, La Gargüera y el Pedregal), presentado por Feliciano Vera (Universidad de Extremadura). Los estudios abarcan la medida de Radón en aire y suelos; Radón, Radio y Uranio en

agua y Ra-226 en suelos y sedimentos así como variables meteorológicas e hidrogeoquímicas. Las técnicas de medida han sido el centelleo líquido para las partículas alfa y la espectrometría gamma con HpGe.

Algunos datos presentados para la mina del Pedregal fueron: de 2 a 3 Bq/m<sup>3</sup> de Rn-222 en aire, exhalación de Rn-222 por la roca del orden de 2.000 Bq/m<sup>3</sup> a la hora, la actividad de Ra-226 en suelo varía desde valores de 2.000 Bq/kg antes de la restauración a valores de 300 Bq/kg después.

- Estudios sobre el radón llevados a cabo por la Universidad Autónoma de Barcelona, expuestos por Carmen Baixeras. Criterios para la caracterización del Radón en el interior de viviendas y estudios de flujos de aguas terrestres: Se presenta la estructura del modelo RAGENA para estimar concentraciones y exposición. Los valores del modelo se contrastaron con medidas reales en una vivienda y la concordancia fue muy buena. Los valores obtenidos fueron de 50 Bq/m<sup>3</sup>. Están desarrollando un dosímetro doble para la medida del Rn-222 en dosímetro cerrado y su factor de equilibrio a partir de la medida del Po-214 en dosímetro abierto para tiempos de exposición entre 2 y 6 meses.

- Estudios sobre la radiactividad natural llevados a cabo por la Universidad Politécnica de Barcelona. Se enumeran los trabajos que se llevan a cabo en esta área, a saber: medida de la radiactividad en aguas potables, en suelos y en la atmósfera y se muestra la instalación





Salón de Actos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

ESCRA instalada en Barcelona y los resultados obtenidos. También se presenta la realización de una cámara para la medida del Radón in situ de 20 m<sup>3</sup> y se presentan resultados obtenidos con este aparato.

El tercer panel, moderado por David Cancio (CIEMAT) versó sobre los aspectos reguladores y trató en profundidad los siguientes temas:

- Aspectos de la Directiva 96/29 sobre la radiactividad natural y recomendaciones de la UE al respecto, a cargo de David Cancio. La presentación versó fundamentalmente sobre la publicación 88 de la CE de la colección Radiation Protection donde se refieren las recomendaciones de la UE para la implantación del Título VII de la Directiva 96/29. Este título VII introduce el concepto de "Actividad Laboral" para distinguirlo de Práctica. En esta última se aprovechan las propiedades fisiles, fértiles o radiactivas de los materiales y por tanto las actividades están reguladas, mientras que la actividad laboral es una actuación no regulada en la que el manejo o tratamiento de materiales con presencia de radiactividad natural, que es una consecuencia incidental, produce un incremento significativo de la exposición.

Los puntos relevantes de la Radiation Protection 88 son los siguientes:

- Sólo es controlable lo que razonablemente puede estar sujeto a control.
- Las autoridades nacionales decidirán cuales son las situaciones que deben controlarse.

- Respecto a la exposición al Radón en el trabajo, los últimos avances en dosimetría (distribución de partículas en los pulmones) quizás obligue en un futuro a multiplicar por 2 o 3 los factores de dosis actuales.

- Las autoridades nacionales fijarán los Niveles de Acción (quizás como concentraciones de Rn-222) a partir de las cuales es necesario tomar algún tipo de medidas.

- Mientras que ICRP en su Publicación 65 fija los Niveles de Acción para lugares de trabajo entre 500 y 1.500 Bq/m<sup>3</sup>, la UE recomienda valores entre 500 a 1.000 Bq/m<sup>3</sup>, valores que implican dosis anuales entre 3 y 8 mSv sobre la base de 2.000 horas de permanencia y un factor de equilibrio de 0,4.

- Las acciones remediales en lugares de trabajo sobre la base del control de las exposiciones (dosis gamma + inhalación) pueden resumirse en las siguientes

- Si la dosis anual es menor de 1 mSv no es necesario tomar ninguna acción

- Si la dosis anual es mayor de 1 mSv habrá que instaurar algún sistema de control de las exposiciones (sí las dosis son bajas, y no es fácil reducirlas pero no hay posibilidad de accidentes, entonces la protección será sencilla).

- Si la dosis anual es mayor que 6 mSv habrá que definir alguna área controlada.

- En un trabajo reciente aún no publicado, del NRPB del Reino Unido y del CEPN de Francia se han establecido unos niveles de referencia para el control regulador para radionúclidos naturales en lugares de trabajo como se indica en la tabla I.

- Se presentan algunos valores de cribado de distintos radionúclidos (Th, Ra y U) en diferentes actividades industriales y se

Tabla 1.

Tipo de Control Regulador	Dosis anuales normales	Dosis anuales improbables
No es necesario ningún control regulador	..... < de 1 mSv	
Control regulador de menor nivel	..... 1 mSv ..... < 6 mSv	
Control regulador de mayor nivel	..... 6 mSv ..... < 20 mSv	
No debería permitirse la actividad	..... 20 mSv ..... < 50 mSv	

definen criterios de protección para la radiactividad de los materiales de construcción en función de su actividad de Torio, Uranio y Potasio-40, de forma que para una permanencia de 7.000 horas año la dosis en el interior de la vivienda es menor de 1 mSv al año si el contenido radiactivo no supera los siguientes valores: 200 Bq/kg de Th, 300 Bq/kg de U y 2.000 Bq/kg de K-40: de esta forma se define el índice de actividad (IA) como sigue:

$$IA = \frac{\text{Concentración de Th}}{200} + \frac{\text{Concentración de U}}{300} + \frac{\text{Concentración de K}}{3.000}$$

El criterio de protección se cumple si IA es menor que la unidad.

- Cita por último los valores máximos de radiactividad del agua de bebida que aparecen en la Directiva 11/98 recientemente aprobada en la que se fija un valor para el H-3 de 100 Bq/l y un indicador de dosis total de 0,1 mSv/año por ingestión de radionúclidos excluyendo al H-3, K-40 y Rutenio.

- Esta presentación discurrió sobre las dificultades de la transposición de la Directiva 96/29 al ordenamiento regulador español, a cargo de Luz Corretjer (MINER). Se citaron algunas particularidades de esta directiva, pues aunque recomienda la uniformidad de aplicación en todos los países, permite cierta discrecionalidad es aspectos fundamentales. Los criterios jurídicos que deberían



acompañar a la transposición deben ser los siguientes: Buena definición técnica (en niveles, prácticas e intervenciones), no olvidar las circunstancias económicas y sociales de su ámbito de aplicación y hacer campañas de información por parte de los organismos públicos antes de su implantación.

- La última presentación trató sobre las consideraciones técnicas a tener en cuenta en la transposición del Título VII de la Directiva 96/29 a la reglamentación española, y fue expuesta por María Jesús Muñoz (CSN). Tras citar de nuevo la diferencia conceptual entre práctica y actividad laboral y enumerar las actividades laborales con potencial mayor impacto, se pasa a relatar las actividades más relevantes que el Consejo de Seguridad Nuclear ha llevado a cabo y patrocinado con relación a estudios sobre el Radón en España en viviendas, suelo y materiales de construcción, cuevas y balnearios.

Presenta las zonas o áreas de España propensas al radón (Galicia, Salamanca, Cáceres, Toledo y Madrid) como áreas en donde el 1% de las viviendas tienen concentraciones de Radón mayores que 10 veces la media nacional.

El plan previsto para identificar las actividades laborales con mayor influencia por el radón, si la actividad industrial se realiza al aire libre, se va a asociar con las áreas propensas, y en trabajos subterráneos, no se va a eliminar ninguno a priori (baños termales, cuevas, minería, túneles, metro, etc.). Las líneas generales de actuación serán: Identificación de la actividad, acotación de la misma, medida de radón en las zonas de mayor permanencia, análisis de datos de ocupación y jornada laboral y clasificación para fijar puntos de corte que se establecerán sobre la base de aquellas actividades laborales que impliquen almacenamiento o manipulación o la producción de residuos con radionúclidos naturales que en términos de dosis supongan valores superiores a 1 mSv/año.

Sobre la libre circulación de materiales NORM (Natural Occurring Radioactive Materials) propugna un consenso internacional para la exclusión, desclasificación y exención.

Ante la dificultad para regular en valores numéricos, se propone que la reglamentación de mas alto nivel sólo contenga niveles de dosis y en normativa de menor rango aparezcan los valores derivados en actividad o concentraciones.

Finalmente se presenta una clasificación en 5 categorías de industrias y actividades laborables asociadas en función de la exposición anual probable: exposición mínima, exposición pequeña menor de 1 mSv/año, mayor de 1 mSv/año, mayor de 6 mSv/año y mayor de 20 mSv/año, pero en esta última no se ha encontrado ninguna.

La jornada de cerró con la intervención de clausura del Vicepresidente del Consejo de Seguridad Nuclear, Aníbal Martín, que definió los principios básicos de actuación de la autoridad reguladora en relación con la radiactividad natural sobre la base de dos premisas fundamentales: racionalidad y evitar la generación de inquietudes innecesarias en la población. Esta actuación reguladora, en cualquier caso se basará en un profundo conocimiento científico del tema, una correcta actuación administrativa y una comunicación apropiada al ciudadano de la actuación tomada.

Es intención de la Sociedad Española de Protección Radiológica publicar en breve una monografía sobre esta jornada incluyendo todas las presentaciones de la sesión.

E. Sollet

Comité De Redacción

### La SEPR y la Percepción Social del Riesgo Radiológico

Consciente de la problemática que representa la percepción del riesgo radiológico, la SEPR ha organizado una jornada de un día y un curso sobre la materia.

La Jornada Científica "Radiación y Sociedad. La comprensión del riesgo radiológico", tendrá lugar el día 7 de mayo, en el salón de actos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, c/Serrano, 117, Madrid.

El curso "La comprensión del riesgo radiológico. Principios y métodos de la investigación de la percepción social del riesgo" se celebrará durante los días 4, 5 y 6 de mayo, en la Institución Cultural El Brocense, junto al Hospital San Pedro de Alcántara, en Cáceres.

Para más información, dirigirse a: Secretaría de la SEPR.  
Tel. 91 749 95 02.  
Fax 91 749 95 03.  
E mail: edicomplet@medynet.com



### La SEPR, sociedad hermana de la Real Sociedad Española de Física

La Junta de Gobierno de la Real Sociedad Española de Física, presidida por Gerardo Delgado Barrio, ha decidido considerar a la Sociedad Española de Protección Radiológica como Sociedad hermana.

Este nombramiento tiene efectos muy favorables para nuestra Sociedad. Desde el punto de vista de los socios, pueden hacerse miembros de la RSEF con una reducción del 50% sobre la cuota, lo que les permitirá gozar de todos los derechos como la participación en sus actividades y la recepción de sus publicaciones.

Además, el Presidente de la SEPR pasa a ser miembro nato de la Comisión Científica de la Bienal de Física, que tendrá lugar el próximo mes de septiembre en Valencia, y en la que nuestra Sociedad podrá organizar sesiones específicas en el área de PR.

Este acuerdo es una muestra más de las buenas relaciones que la SEPR mantiene con asociaciones similares, de cuyos resultados nos felicitamos todos.





## Javier de Pinedo Cabezudo

Presidente  
del Comité  
de Energía  
Nuclear  
de UNESA

*La protección radiológica es una actividad muy importante en el sector nuclear. Los recursos que dedican las centrales nucleares a este apartado es uno de los fundamentales en su estructura.*

*Para comentar este tema viene a las páginas de Radioprotección Javier de Pinedo, cuya experiencia se extiende a todos los campos de la producción energética, desde las centrales hidráulicas en los años sesenta, pasando al campo de las centrales térmicas a principios de los setenta, siendo responsable posteriormente de la puesta en marcha de la central nuclear de Cofrentes desde su cargo de Subdirector de Producción Nuclear de Hidroeléctrica Española. Desde la fusión de esta empresa con Iberduero, en 1991, con el resultado de Iberdrola, es Director del Área de Generación. Es, además, Presidente del Comité de Energía Nuclear de UNESA, máximo órgano de coordinación de las actividades nucleares del sector eléctrico.*

### **LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y SU EVOLUCIÓN**

La protección contra las radiaciones ionizantes ha sido abordada tradicionalmente con especial interés tanto por las centrales nucleares como por los centros sanitarios, con el fin de

adaptar su funcionamiento a las normativas nacionales e internacionales de protección a los profesionales expuestos y al público en general. Centrándonos en el campo de la energía nuclear, preguntamos a nuestro entrevistado cuáles son, a su juicio, los aspectos más relevantes de la

evolución de la protección radiológica en las centrales nucleares españolas, desde aquellos primeros proyectos de los años setenta a las unidades más modernas.

Para Javier de Pinedo, «la evolución de la protección radiológica, que ha ido pareja con la propia de la energía nuclear en España, ha pasado por muchas etapas hasta llegar a hoy, marcadas por la creación de la necesaria infraestructura técnica y jurídica y la formación de profesionales españoles, la promulgación de las Leyes y Reglamentos sucesivos y la creación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y, sobre todo, por una profundización conceptual de las bases científicas sobre las que se asienta.

»Cuando comenzó el desarrollo de la energía nuclear en España, en los años sesenta, la



participación española en los proyectos era escasa y la protección radiológica algo todavía no muy definido. Se era consciente desde el principio de que la exposición a las radiaciones ionizantes suponía un riesgo para los trabajadores y el público, pero en aquellas épocas la actuación de protección se podía resumir en medir, identificar el riesgo y definir medios de protección. Desde esta perspectiva de la protección, en la que el parámetro de control era la no superación de los límites anuales de dosis, se ha pasado en la actualidad a otra de prevención, en la que la actuación fundamental de la protección radiológica no sólo es cuantificar el riesgo sino disminuirlo para reducir la exposición tanto de los trabajadores como del público. Y en esta actividad no sólo se involucra, como al principio, la Dirección de la central y el servicio de protección radiológica sino todos los estamentos de la central. Se ha pasado de una protección dirigida a una protección asumida, en la que cada unidad y departamento de la central es responsable de la protección radiológica de sus trabajadores. Se entiende, por tanto, que la dosis colectiva sea ahora un indicador de funcionamiento no sólo de la instalación sino de cada departamento y sección.»

### LA ORGANIZACIÓN SECTORIAL

Como Presidente del Comité de Energía Nuclear de UNESA, Javier de Pinedo es un buen conocedor de la estructura de fun-

**“La protección radiológica es uno de los pilares sobre las que se asienta la seguridad nuclear”**

cionamiento del sector. En esa línea, queremos saber cuál es la organización sectorial en el área de Protección Radiológica y cómo podrían integrarse los esfuerzos de las diferentes entidades para coordinar iniciativas en esta área. «Desde principios de los años sesenta se estableció en la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA para la Industria Eléctrica, AMYS, un Grupo de Trabajo al que se fueron incorporando las centrales nucleares en construcción y también las instalaciones del ciclo de combustible. Este Grupo tenía como objetivo armonizar las prácticas en protección radiológica y promocionar y desarrollar proyectos sectoriales. Un ejemplo de estos proyectos es el Servicio de Dosimetría Personal de UNESA, que representó una inversión cercana a los 100 millones de pesetas en equipos para su uso común en las centrales.

»Posteriormente, este Grupo se integró dentro de la estructura del Comité de Energía Nuclear de UNESA. Actualmente, la protección radiológica, junto a la gestión de residuos y a los aspectos médicos, forma parte de una Comisión que depende directamente de este Comité. Tanto al principio en AMYS como ahora en UNESA se mantienen relaciones muy estrechas con otras

entidades nacionales e internacionales, y siempre se ha estado abierto a recoger y promocionar las iniciativas que redunden en la mejora de la protección radiológica de nuestras centrales.

»En particular, cabe destacar nuestras relaciones con el organismo regulador, el Consejo de Seguridad Nuclear. Existe, a alto nivel, el Comité de Enlace CSN-UNESA, del que dependen varios Grupos Mixtos, siendo uno de ellos el de Protección Radiológica y Sanitaria, en el que se tratan los temas sectoriales de las áreas de protección radiológica y residuos radiactivos así como los aspectos médicos. Por el Sector participan en este Grupo Mixto representantes de las centrales dirigidos por el gerente de una de ellas y, por el CSN, los Subdirectores implicados en estas tareas. Esta vía de diálogo nos permite analizar en un foro adecuado los problemas colectivos que surgen de la explotación de las centrales y fomentar una buena relación entre el organismo regulador y nuestras centrales. Un ejemplo de nuestros programas en el ámbito sectorial es el seguimiento de los trabajos de revisión del Reglamento de Protección Sanitaria contra las radiaciones ionizantes, o la construcción del nuevo modelo de gestión para la protección radiológica de los trabajadores externos.»

Con respecto a las actividades conjuntas llevadas a cabo en el ámbito internacional, «desde UNESA tenemos relaciones institucionales con los organismos sectoriales internacionales y,





Eduardo Sollet, Paloma Marchena, Javier de Pinado y Matilde Pelegrí en un momento de la entrevista.

en particular, con los relacionados con la energía nuclear, como la organización de operadores nucleares, WANO, el Organismo Internacional de Energía Atómica de las Naciones Unidas y la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE. Personal de UNESA, de las centrales nucleares y de las empresas eléctricas participa en los comités y grupos de trabajo de estas organizaciones, siendo muy significativa su contribución en los últimos años. Además, nuestras propias centrales han sido sometidas a revisiones por paneles de expertos internacionales con resultados altamente satisfactorios.

»Concretamente, participamos en diversos grupos de trabajo sobre temas avanzados de Protección Radiológica y, específicamente, un profesional de UNESA es Presidente del Sistema Internacional de Dosis Ocupacionales, ISOE, de la AEN. Además, miembros de UNESA son representantes en los grupos de EURADOS de la UE para dosimetría. Adicionalmente, nuestros responsables

de protección radiológica y el personal técnico de UNESA tienen relaciones bilaterales con sus homólogos en otros países, tales como Francia, Alemania y Estados Unidos, que son de gran utilidad cuando se trata de abordar un problema técnico concreto, ya que permite recoger la experiencia directa de otras centrales y aplicarla a nuestras instalaciones. Por último, también a escala internacional, es de destacar el apoyo prestado en su día a la central nuclear de Kozloduy, en Bulgaria, en la que, bajo contrato de la Unión Europea, se midió con el equipo de dosimetría interna de UNESA a más de 1.000 trabajadores.»

### LA SEPR

Para la Sociedad Española de Protección Radiológica es de gran importancia la valoración que el sector pueda tener de sus actividades. A este respecto, Javier de Pinedo es claro. «La valoración es muy positiva y hay muchas pruebas de ello. Todos los jefes y responsables de pro-

“Los costes en seguridad nuclear y protección radiológica son intrínsecos y, por lo tanto, no discutibles”

tección radiológica de las centrales nucleares españolas son socios de la SEPR. Pero mientras que muchos de ellos lo fueron inicialmente a iniciativa propia, ahora lo son por decisión sectorial. Además, todas las centrales nucleares son socios colaboradores y en muchas de sus actividades el sector participa activamente. Dos presidentes han procedido del sector y en la actual Junta Directiva hay un miembro de UNESA. La orientación científica dada a su revista *RADIOPROTECCIÓN* me parece que es una elección muy positiva y útil para nuestras centrales. Tampoco olvidamos el permanente apoyo que la SEPR nos brinda como expertos en la materia para todos aquellos aspectos de la protección radiológica que más impacto tienen en la opinión pública como son los epidemiológicos y los relativos a la salud.»

Además de esta opinión, tan positiva para la Sociedad, nuestro entrevistado hace énfasis, de manera especial, en la información. «Las múltiples aplicaciones de los conocimientos de la física atómica y nuclear a la medicina y la industria requieren un esfuerzo de información impresionante. Toda la labor que la SEPR pueda hacer en relación con la



*difusión pública de la realidad de las radiaciones ionizantes, bien con la realización de jornadas en las que participen profesionales de los medios de comunicación, bien con la preparación de folletos divulgativos o formativos, es muy importante. Además, debemos tener en cuenta que el campo de aplicación de las radiaciones ionizantes excede el propio de la producción de energía, aunque sea éste uno de los más conocidos. Las múltiples ventajas que tiene para la población a través de la medicina, o los usos industriales, muchas veces tan desconocidos, deben ser difundidos a la población. En este sentido, la Sociedad Española de Protección Radiológica puede representar un papel fundamental.»*

### **LOS PROYECTOS FUTUROS EN LAS CENTRALES NUCLEARES**

Las previsiones a corto y medio plazo no contemplan la construcción de nuevas centrales nucleares. No obstante, se prevén importantes proyectos de gestión de la vida útil y de incremento de potencia de las instalaciones en funcionamiento, proyectos que se desarrollarán en el marco de la nueva doctrina de Protección Radiológica que promueve la Comisión Internacional de Protección Radiológica.

Para nuestro entrevistado, «la adaptación de la reglamentación española a la nueva Directiva en protección radiológica, reglamentación que, según creo, deberá estar finalizada en

*la primera mitad del próximo año, no afectará a los proyectos de gestión de vida y de aumento de potencia, a pesar de que la nueva Directiva supondrá una reducción de los límites anuales de dosis para trabajadores y público. Como mencioné anteriormente, el marco global de actuación de protección radiológica en las centrales nucleares no se basa en el cumplimiento de los límites, aunque ello es premisa fundamental, sino en la reducción de la dosis dentro de esos límites.*

**“La SEPR debe representar un papel relevante en la comunicación de la realidad de las radiaciones ionizantes”**

*»Ha sido la extrema fiabilidad de la operación de las centrales nucleares la que ha motivado los proyectos de gestión de vida, que no son más que programas de seguimiento de los componentes de las centrales para asegurar que todos ellos mantienen sus características mecánicas y de funcionamiento y que la central, en su conjunto, camina por su vida de diseño con toda salud. Por otro lado, los aumentos de potencia se están y se van a conseguir no sólo aumentando la potencia térmica sino mejorando los rendimientos de muchos equipos, como las turbinas y los generadores de vapor, debido a los avances de la tecnología en estas áreas. Todo ello se está acometiendo sin menoscabo en*

*los márgenes de seguridad y de protección radiológica, y manteniendo los grandes niveles de conservadurismo utilizados en el diseño y construcción de nuestras centrales nucleares.»*

### **LA LIBERALIZACIÓN DEL SECTOR Y LA OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTES**

Las inversiones y los costes operacionales relacionados con la seguridad nuclear y la protección radiológica representan, en las instalaciones nucleares, un porcentaje importante de los costes totales de operación. En estos momentos, en todo el mundo se optimizan los costes de operación de las centrales, con el fin de hacerlas cada vez más competitivas. Específicamente en España se produjo, a principios del año pasado, la liberalización del mercado eléctrico, que influye también en este proceso de optimización de la gestión.

Para Javier de Pinedo, «este es un tema muy importante que, como casi todos los de esta condición, es además complejo. Es evidente que la energía nuclear debe ser competitiva frente a las otras fuentes de energía. Como todas las industrias, tiene una etapa de maduración y está ahora entrando a escala internacional en un proceso de optimización de la explotación. Para mí, la Seguridad Nuclear se asienta sobre tres pilares: las normas y los requerimientos del Regulador, la Protección Radiológica y la Garantía de Calidad. Y además tiene un suelo que es la “Cultura de Seguridad”. Optimizar es un





verbo muy claro y significa en nuestro caso invertir y gastar en lo necesario y prescindir de lo superfluo.

»En resumen, quiero recalcar que la inversión y el gasto en Seguridad Nuclear es el primer componente del coste de una central nuclear y al que más atención vamos a seguir prestando en el futuro.»

En esta misma línea de optimización, abordamos con nuestro entrevistado el efecto que puede tener en las organizaciones de Protección Radiológica de las centrales. «El fundamento de una política de optimización de la gestión es la calidad, de tal forma que las organizaciones de protección radiológica de las centrales vendrán obligadas cada vez más a gestionar la dosis de la forma más eficiente posible, como si de un bien escaso se tratara, alcanzando los mismos objetivos con una menor dosis colectiva e individual. Esto, lógicamente, hace que dichas organizaciones deban tener un mayor grado de formación y además hagan extensible ésta a las otras instancias de la central. Conceptos como presupuestos de dosis, protección radiológica integrada, responsabilidades radiológicas individuales, mejora continua de procesos e implicación en los procesos de dosis colectivas a corto y medio plazo harán que los trabajos en la planta resulten en menos dosis. Hoy día, las organizaciones en esta área de cada una de las plantas en explotación tienen su ingeniería propia que asegura que cualquier práctica, equipo, experiencia o idea innovadora

**“La industria nuclear, en sus diferentes aplicaciones, es la más controlada”**

que suponga una mejora, se incorpore a la instalación y se difunda al sector. Aunque la liberalización del mercado suponga un marco de competencia, ideas vinculadas a la seguridad nuclear y a la protección radiológica, como ya he dicho, son intrínsecas a las centrales nucleares y, por tanto, prioritarias.»

#### **PRESENTE Y FUTURO DE LA ENERGÍA NUCLEAR**

La generación de energía eléctrica tiene diversas fuentes, desde el agua, cuya frecuencia no podemos controlar, pasando por el carbón, el gas o el uranio, y contando también, en los últimos años, con los llamados recursos renovables como el aire, el sol o la biomasa.

Javier de Pinedo, que conoce la importancia de todas estas alternativas, ha tenido durante una etapa de su trayectoria profesional relación muy directa con la energía nuclear y su evolución. Basándonos en esa experiencia, abordamos con él un aspecto de trascendental importancia, su aceptación pública, que sigue sin lograrse a pesar de los esfuerzos realizados por los organismos reguladores y los operadores de las instalaciones en dar a conocer los excelentes resultados de las centrales nucleares.

«En los años cincuenta y sesenta, aquellos que abogaban con mayor entusiasmo por la energía nuclear la presentaban como la solución para el suministro a largo plazo de electricidad barata y abundante. Basándose en las expectativas de bajos costes, desarrollos tecnológicos e independencia energética, gobiernos, empresas eléctricas y agencias y consultores internacionales en materia energética planificaron gran parte de las centrales nucleares actuales.

»La conciencia medioambiental surgió posteriormente en la sociedad en el marco de movimientos de rebeldía contra el destrozo causado en nuestro espacio natural por el importante desarrollo industrial que se estaba produciendo en los países más avanzados. Su efecto sobre el resto de la sociedad ha sido rápido y en muy pocos años esta conciencia se ha extendido, dejando de ser patrimonio de una u otra ideología social y política para convertirse en común a todas ellas.

»En el caso nuclear, su espectacular nacimiento público en las horribles matanzas de Hiroshima y Nagasaki y su permanente vinculación militar, así como el hecho de ser una industria muy avanzada tecnológicamente y, por tanto, difícil de comprender por la población, la duración de sus residuos y los riesgos asociados a accidentes han sido banderas que han enarbolado grupos ecologistas y a las que se han unido partidos políticos de todo el mundo. En mi opinión, hoy día estamos en un escenario difuso con muchas





preocupaciones encontradas y ninguna solución sencilla.

»Sin embargo, es un hecho que le energía nuclear ocupa un puesto relevante en la generación eléctrica de Europa (con un tercio del total), Estados Unidos y Japón, que en Francia, específicamente, está cerca del 80%, siendo exportador neto de energía eléctrica a toda Europa. Resulta curioso que países que por decisión política no tienen centrales funcionando, como Italia, sean compradores de energía nuclear francesa, que dicho sea de paso es muy competitiva. En política, a veces es más importante, parece, lo formal que lo real.

»En un análisis más amplio, creo que los esfuerzos de los que tenemos alguna responsabilidad en relación con la energía nuclear debería enfocarse a que las centrales sigan funcionando en condiciones de máxima seguridad y buen rendimiento, al mantenimiento de la tecnología como opción posible de futuro, y a industrializar las soluciones de algunos temas que ya las tienen desde el punto de vista científico y tecnológico.»

Uno de los grandes retos de la industria nuclear es transmitir la realidad de su funcionamiento a la opinión pública, en la que, sin duda, influyen la clase política, los grupos sociales y los medios de comunicación. Planteamos a nuestro entrevistado qué mensaje transmitiría a estas organizaciones para que se reconozca la contribución de la energía nuclear a la demanda energética de la sociedad actual y futura. «En esta línea, yo recomendaría la lectura del discurso que el embajador de los EE.UU ante el OIEA, John B. Ritch III, pronunció el pasado mes de noviembre en Edimburgo. Su tesis es que nunca como hasta ahora ha estado la humanidad mejor preparada para utilizar de forma segura la energía nuclear, que se ha logrado un importante éxito diplomático a escala mundial para establecer un régimen nuclear no proliferador y conseguir la reducción de los arsenales nucleares, que los miedos que tiene la opinión pública sobre la energía nuclear (proliferación, residuos y accidentes) no están fundamentados y, por tanto, su oposición disminuiría con un mejor conoci-

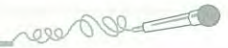
miento en la materia. Finalmente, opina que la propuesta del Presidente Eisenhower, "Átomos para la Paz", que dio lugar al OIEA, sigue siendo el objetivo de la explotación de la energía nuclear. Hoy en día, la ciencia y la diplomacia están preparadas para ello, sólo falta que los políticos se pongan manos a la obra.

Ante esta compleja situación, definida en la actualidad por la liberalización de los mercados y la opinión pública, nos preguntamos si las empresas eléctricas seguirán apostando por la energía nuclear como fuente energética de futuro.

«La energía nuclear -afirma Javier de Pinedo- no es en absoluto ajena a la competencia y al buen sentido económico. De hecho, decenas de centrales nucleares en todo el mundo se comenzaron a construir durante los años sesenta y setenta, precisamente porque constituían la alternativa de menor coste de generación de entre las varias tecnologías en competencia.

»Para muchos países, entre ellos el nuestro, mantener los





plazos y costes de construcción bajo control constituyó un gran problema en aquel entonces, en un entorno de elevada inflación, de altos tipos de interés, de moneda débil frente al dólar, y de un enorme aumento de los reglamentos y normas en materia de seguridad nuclear. El resultado en esos países fue un incremento dramático de los costes de inversión. Inicialmente, esto hizo menos atractiva la construcción de nuevas centrales nucleares. Posteriormente, y a la vista de los accidentes de Three Mile Island y Chernobil y de los bajos índices de crecimiento de la demanda eléctrica en los países occidentales, esta opción perdió interés a corto y medio plazo.

»No ha sido esto así, en cam-

bio, en los países del este Europeo, Asia y Lejano Oriente, donde la construcción de nuevas centrales nucleares es una realidad que nunca se ha visto interrumpida. Por otra parte, en un mercado liberalizado es evidente que la energía nuclear no difiere de otros productos y tecnologías, en cuanto a que su viabilidad a largo plazo depende de su capacidad para ser económicamente competitiva. Es una realidad que las centrales actualmente en explotación son las de costes de explotación (operación y mantenimiento más combustible) más bajos, lo que, al margen de estas consideraciones, asegura la continuidad a su explotación durante muchos años. De hecho, las centrales españolas están inmersas, como

hemos comentado, en procesos de gestión de la vida útil y de aumento de potencia para que sean más competitivas.

»Por otra parte, la sensibilidad al calentamiento global y los esfuerzos realizados por la industria nuclear por crear una nueva generación de reactores avanzados y estandarizados, certificados por las autoridades reguladoras, deberá brindar a esta fuente energética la oportunidad de triunfar en los mercados eléctricos cuando llegue el momento de tener que decidir acerca de los grandes volúmenes de nueva potencia que serán necesarios para atender la creciente demanda de energía eléctrica en las diferentes regiones del mundo.»



# RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



## La Revista especializada en Protección Radiológica

*El vehículo publicitario idóneo para transmitir el mensaje de su Empresa a todos los profesionales de este Campo.*

**Publicidad: Senda Editorial, S.A.**

Isla de Saipán, 47 - 28035 Madrid • Tel.: 91 373 47 50 • Fax: 91 316 91 77 • e-mail: senda@sendaeditorial.com



# Dosis Controlables: Reflexión sobre el Control de las Dosis Individuales Originadas por cada Fuente de Radiación

**Profesor Roger H. Clarke**

Agosto 1998 <sup>(1)</sup>

## **RESUMEN**

*El trabajo propone una nueva aproximación para aplicar el sistema actual de protección radiológica de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP).*

*En la misma se define una "dosis controlable" basada exclusivamente en el riesgo individual para su aplicación general, tanto para la exposición ocupacional como para la médica y del público.*

*El sistema propuesto resulta considerablemente más simple y ofrece una posibilidad importante para evitar las situaciones de confusión entre prácticas e intervenciones, así como respecto a la interpretación de los actuales límites de dosis.*

## **SUMMARY**

An alternative logically consistent framework of protection complementary to that used actually by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) is presented for discussion, with the aim of bringing the three categories of exposures within an overall system that encompasses the present system of protection for practices and interventions.

Within this new system it is defined a "Controllable Dose" whose protection philosophy is based only on the individual and is intended to be used for occupational, medical as well as public exposures.

The proposed system provides a considerable scope of simplification for the actual system of protection and removes confusion by not distinguishing between practices and interventions as well as allows for a more easy interpretation of the actual dose limits.

---

(1) Traducción del inglés: David Cancio





El trabajo que se presenta como invitado y del que es autor el Prof. Roger Clarke ha sido enviado a la Sociedad Española de Protección Radiológica, por el Profesor Klaus Duftschmid, Presidente de la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA).

Se trata de un documento producido a nivel personal por el Profesor Clarke, y no representa una propuesta oficial de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) de la cual es el Presidente de la Comisión Principal.

El IRPA, después de varias consultas y con el acuerdo del Consejo Ejecutivo, ha decidido difundir el documento y se espera tener una sesión especial durante el Congreso IRPA-10 en Hiroshima con avances previos en Congresos Regionales de Southport (Reino Unido) en junio y en Budapest en agosto.



El Presidente de la SEPR ha presentado estos objetivos a la Comisión Institucional la cual aconsejó la traducción y publicación en la revista Radioprotección. Se espera comenzar ahora una revisión interna para llevar la posición de la SEPR a la discusión más amplia que se realizará el año próximo en Japón.

Por otra parte el Profesor Clark además de autorizar la traducción, ha informado que publicará una revisión actualizada en la revista "Journal of Radiological Protection" que se espera sea publicada antes del próximo mes de Junio.

### **Perspectiva General**

Un tema de considerable interés en muchos países es la contaminación radiactiva de áreas como consecuencia de vertidos accidentales, ta-

les como el ocurrido en el accidente de Chernobyl o tras actividades humanas, entre las cuales se incluyen los ensayos con armas nucleares. La contaminación puede ser también una herencia histórica originada en

el pasado, por ejemplo, por la fabricación de objetos luminiscentes con radio o por un vertido excesivo de efluentes al medio ambiente.

En la actualidad, un tema de interés particular es el desmantelamiento de instalaciones nucleares y, en especial, de los antiguos reactores e instalaciones para la fabricación de armas. Esas situaciones requieren inversiones considerables y algunas personas piensan que se está empleando mucho dinero y deberá continuarse haciéndolo, para alcanzar bajos niveles de contaminación residual. Si los territorios contaminados no son restaurados se creará una nueva preocupación pública y en algunos países surgirán conflictos bajo el argumento de que el riesgo ambiental es demasiado elevado. Todo ello ha sido la causa de que algunas personas estén proponiendo con insistencia un umbral en la relación dosis-respuesta para reducir el coste.

Es necesario reconocer que, cada vez más, nuestra ciencia es juzgada en los tribunales, en lugar de serlo en las academias científicas nacionales. Los jueces y jurados decidirán sobre este tema y son ellos quienes deben estar convencidos sobre si existen o no riesgos a niveles bajos de radiación. El tema se refiere principalmente a la exposición del público y no a la exposición ocupacional, y puesto que siguen sin existir evidencias científicas concluyentes, cabe proponer algún nuevo enfoque para la protección.

### **El Problema**

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) ha



dejado claro que el sistema actual de protección distingue entre "prácticas", las cuales agregan dosis y riesgo e "intervenciones", en las cuales se reducen dosis y riesgos. Los actuales límites de dosis se aplican a la suma de las dosis causadas por un conjunto limitado de fuentes o circunstancias pero son frecuentemente mal interpretados, en el sentido de que son considerados a veces como una línea divisoria entre lo que es y lo que no es seguro. En particular, para la exposición del público, hay una confusión sobre la aplicación del límite anual de dosis de 1 mSv, cuando, por ejemplo, el Nivel de Acción para el radón en las viviendas se ha establecido entre 3 y 10 mSv en un año. Asimismo, en caso de un accidente, cuando quizás la gente espera ser especialmente protegida, el límite de dosis no aplica y la intervención no es exigible hasta que las dosis puedan alcanzar un rango de 5 a 50 mSv.

En el contexto del uso de radionucleídos, las recomendaciones de la ICRP han establecido a la optimización como el modo de control de la protección para cada fuente, con una restricción de la máxima dosis individual fijada en 0.3 mSv por año. En el caso de accidentes, se han sugerido niveles de intervención para iniciar acciones que reduzcan las exposiciones, pero no hay guías internacionales para la retirada de esas acciones. ¿A qué nivel de dosis podría reiniciarse la vida normal? Seguramente a más de 1 mSv por año, y si una nueva población se traslada al área afectada desde otro sitio, ¿es una práctica a la cual se aplica el límite de dosis de 1 mSv? Por tanto cabe preguntarse ¿en qué

momentos tras un accidente se deben aplicar los principios definidos para las "prácticas"? (Si es que se deben aplicar). Y en esta línea, la construcción de una vivienda en un área de elevado fondo de radiactividad natural para personas que proceden de otra de menor nivel, ¿Es una "práctica" a la cual debe aplicarse el límite de 1mSv?. La aplicación estricta de la definición de práctica dada en la Publicación 60 de la ICRP parece sugerirlo así.

Esas situaciones no parecen responderse fácilmente con la definición actual de práctica o intervención y, en consecuencia, podría ser útil que se revisara la filosofía de la protección radiológica, para desarrollar un marco lógico alternativo aunque consistente con el que se utiliza en la actualidad. Las reflexiones que siguen son para ser discutidas y constituyen un primer intento en la dirección apuntada, ubicando a las tres categorías de exposición: ocupacional, médica y del público, en un marco global que abarque al sistema actual de prácticas e intervenciones. Estas reflexiones representan un esquema que puede ser complementario, más que un cambio fundamental, en el sistema de protección de la ICRP y podría ser utilizado en su aplicación.

### **Una Posible Aproximación**

En la protección de los individuos contra los efectos nocivos de la radiación, el control de las dosis es lo importante, independientemente de cual sea la fuente que la origina. De este modo se puede comenzar con una definición:

*Una dosis controlable es la dosis o suma de las dosis a un individuo debida a una fuente concreta, que puede ser razonablemente controlada de algún modo.*

Esas dosis pueden ser recibidas en el trabajo, en la práctica médica y en el medio ambiente, a causa del uso de fuentes artificiales de radionucleídos, o puede resultar de niveles elevados de radiación natural o radionucleídos naturales, incluyendo al radón. Este término cubre a las dosis que están siendo recibidas en la actualidad, por ejemplo, por el radón, y la dosis que serán recibidas en el futuro, por ejemplo, debidas a la introducción de nuevas fuentes o como consecuencia de un accidente real o potencial. La definición dada no aplica a exposiciones que no son susceptibles de control, tales como la radiación cósmica a nivel del suelo, pero sí se debería aplicar a los niveles elevados de exposición natural terrestre.

La relevancia de un nivel de dosis controlable depende de su magnitud, del beneficio que produzca para el individuo y de la posibilidad de ser reducida o evitada. Por supuesto habrá un nivel de dosis al cual el control será mandatario. Esto será así, sin duda, para evitar efectos deterministas en situaciones accidentales o para la protección de tejidos sanos en los procedimientos médicos que utilizan dosis elevadas. Dosis desde algunas centenas de milisieverts hasta varios sieverts causarán efectos deterministas de distinto tipo dependiendo del carácter agudo o crónico de la exposición. Dejando de lado a la radioterapia,





esas dosis pueden ser producidas en la radiología intervencionista, en la cual hay una situación de riesgo para la vida del paciente. En otras situaciones esas exposiciones serán totalmente inaceptables para el individuo, a menos que se trate de un rescate para salvar una vida en una emergencia. *Esas situaciones se considera que están fuera del alcance del esquema propuesto aquí para las dosis controlables.*

### El Principio

La filosofía de la protección para las dosis controlables está basada en el individuo. Si el individuo está suficientemente protegido con respecto a una fuente determinada, ello constituye un criterio suficiente para el control de esa fuente. En el pasado la ICRP ha utilizado un criterio social, usando la dosis colectiva sumada sobre toda la población y todo el tiempo en los análisis coste-beneficio para determinar el gasto óptimo a realizar para el control de esa fuente. Esta nueva aproximación constituye un criterio totalmente individual referido a cada fuente y puede enunciarse como:

*Si el riesgo de daño a la salud para el individuo más expuesto es trivial, entonces también lo es el riesgo total, independientemente de la cantidad de personas expuestas.*

El principio de la protección individual relacionada con una fuente ha sido reconocido por la ICRP en la Publicación 60 con la introducción

de la *restricción de dosis* en el proceso de optimización.

### La Dosis Controlable

Para las exposiciones que van a ser controladas, la filosofía es esencialmente la que se muestra en la tabla 1, que consiste en un abanico de valores de dosis controlables en el que se muestra su diferente relevancia en términos de riesgo individual de muerte por cáncer. Adicionalmente se presenta el criterio actual para el control de las dosis en situaciones normales, accidentales y médicas. De este modo, la dosis más alta que normalmente será tolerada antes de que se deba establecer definitivamente un control, está fijada en el rango de unas pocas decenas de miliSieverts, aunque esta misma dosis pueda ser tolerada si se recibe en varios años sucesivos. Esto incluye a las siguientes situaciones:

- La recomendación para la reubicación permanente de la población, después de un accidente, para evitar una dosis de 1 Sv en toda la vida, lo que corresponde a algunas decenas de mSv en el primer año.
- El límite de dosis ocupacional de 20 mSv en un año.
- El nivel superior de acción (y justificado) de 10 mSv por año para el radón en las viviendas.
- Una exploración de tomografía computarizada (TC), la cual supone una dosis de unas pocas decenas de mSv, y

- El nivel inferior de dosis evitada, a partir del cual se recomienda la evacuación después de un accidente (50 mSv).

Aunque esos niveles de dosis individuales pueden difícilmente ser considerados inaceptables, representan unos niveles a los cuales deberían preguntarse si las dosis y los riesgos, que estarán en el orden de  $10^{-3}$  (o de 1 en 1.000), pueden evitarse por alguna acción. Esa acción puede ser disruptiva o, como en el caso de la exploración de TC, ser simplemente una cuestión de saber si la información que se requiere se puede obtener por otros medios que impliquen una dosis menor.

Las dosis controlables no deberían, en general, exceder este nivel y los valores de dosis reales o potenciales que se aproximen al mismo serían permitidas solamente si el individuo recibe un beneficio o si no pueden ser reducidas o prevenidas sin causar una alteración significativa de sus condiciones de vida.

A los niveles de dosis controlable del orden de unos pocos miliSievert por año, las exposiciones no deberían ser de gran preocupación desde el punto de vista de la salud de los individuos. La dosis debida a la radiación natural es de unos 2 – 3 mSv en un año y aún si se excluye la exposición al radón, es de 1 – 2 mSv. Las exposiciones que estarían incluidas serían:

- El nivel inferior del rango optimizado para la intervención por el radón (3 mSv).
- El nivel inferior para acciones de remedio simples en caso de



**Tabla 1. DOSIS CONTROLABLE**

Riesgo Anual de Muerte por Cáncer Radioinducido	Dosis Anual $\mu\text{Sv}$	Sistema que se propone	Criterio Actual
$10^{-3}$	30000	Las dosis no deben superar este nivel. Solo está justificado acercarse a ellas si existe algún beneficio para el individuo o si la dosis es difícil de prevenir o reducir.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Límite de dosis ocupacional.</li> <li>• Nivel de Acción Superior para el Radón</li> <li>• Nivel de Investigación NI para la renunciación</li> <li>• Examen de TAC</li> </ul>
$10^{-4}$	3000	Puede ser necesario reducir o prevenir estas dosis esencial si no suponen ningún beneficio a los individuos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NI Inferior para el refugio y las pastillas de Yodo</li> <li>• Nivel de Acción Inferior para el Radón</li> <li>• Fondo Radiactivo promedio</li> <li>• Niveles de Dosis de Diagnóstico</li> </ul>
$10^{-5}$	300	Máxima Dosis de una única fuente de radiación a un individuo que no recibe ningún beneficio directo de ella.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máxima Restricción de Dosis de una única fuente</li> <li>• Variaciones normales del Fondo (sin incluir al radón)</li> </ul>
$10^{-6}$	30	Riesgo Trivial para la persona.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveles de Exención</li> <li>• Niveles de Desclasificación</li> </ul>

accidentes tales como el refugio, el uso de pastillas de yoduro de potasio, etc. (5 mSv)

- El límite de dosis actual para miembros del público (1 mSv), y
- Los exámenes simples de diagnóstico con rayos x (1 mSv).

En particular, si el individuo no recibe un beneficio, podrían todavía tomarse acciones para reducir esas exposiciones. De este modo, a partir de una dosis controlable superior a unos pocos milisieverts, resulta cada vez más conveniente reducir o prevenir la dosis en función de la practicabilidad de hacerlo y de sí el individuo recibe un beneficio tangible de la exposición, como sería el caso

de la exposición ocupacional o de las dosis debidas a los exámenes médicos. El nivel del riesgo de mortalidad asociado estaría en el orden de  $10^{-4}$  (ó 1 en 10.000).

Valores de dosis por debajo del milisievert también son relevantes para el control de las exposiciones. En efecto, para los usos humanos de la radiación, la Comisión ha establecido una dosis máxima debido a la introducción de una nueva fuente de 0.3 mSv por año para un miembro individual del público. El nivel correspondiente de riesgo de mortalidad es de alrededor de  $10^{-5}$  en un año. Este nivel de dosis representa alrededor de un 10% de la dosis debida al fondo natural y es también del mismo orden que la variación de

ese fondo en una gran parte del mundo (si se excluye al radón).

Habitualmente, un nivel de riesgo de muerte de  $10^{-6}$  por año se considera como trivial y el nivel de dosis correspondiente de unos 10 a 20  $\mu\text{Sv}$  ha sido utilizado para establecer los criterios de exención en las Normas Básicas. A este nivel de dosis no debería haber necesidad de considerar la protección individual.

### Una Posible Solución

Una posible vía de avance podría ser elaborar un solo "límite" para la dosis controlable. El valor podría establecerse en alrededor de 20 - 30  $\mu\text{Sv}$  en un año. Dosis significativamente superiores a estos niveles sólo





ocurrirían en situaciones accidentales incontrolables o en procedimientos médicos para salvar vidas. Podría ser más apropiado referirse a este valor como un Nivel de Acción en lugar de denominarlo como un límite. De hecho, esto es lo que debería ser, ya que si las dosis controlables (reales o proyectadas) son superiores a este nivel debería realizarse algún tipo de acción. Esto puede tener una ventaja ya que los Niveles de Acción pueden ser entendidos, mientras que los "límites", como ya ha sido dicho, pueden ser y son frecuentemente mal interpretados.

La gestión de las dosis controlables por debajo del Nivel de Acción podría hacerse mediante la definición de *Niveles de Investigación* referidos al individuo, relacionados con cada fuente específica. Aplicarían a diferentes acciones que se tendrían que tomar en la fuente, en el medio ambiente o trasladando a las personas para reducir las exposiciones. Podrían integrarse entre estas dosis, por ejemplo, las exposiciones ocupacionales, las dosis originadas por procedimientos médicos simples, la exposición debida al radón en las viviendas o a otros niveles elevados de radionucleídos naturales y las debidas a las exposiciones originadas después de un accidente. Podría entonces ya no ser necesaria la necesidad de distinguir entre prácticas e intervenciones. Este Nivel de Investigación, de unos pocos milisieverts por año, desencadenaría una investigación para ver si puede hacerse algo simple para reducir la exposición.

Dentro de este esquema, seguiría siendo necesaria la justificación de

la exposición del público debida al uso de fuentes de radiación. *Una fracción de milisievert debería ser lo máximo permitido en cualquier circunstancia para una fuente específica, independientemente del número total de fuentes*, (efluentes de un hospital o de una central nuclear, un diagnóstico con rayos x, un detector de humo, etc). Esas fuentes deberían ser tratadas de forma independiente, debido a que la probabilidad de que un individuo esté expuesto a todas ellas es muy pequeña. Sería poco creíble que la exposición real debida a varias fuentes sumara más de una fracción de milisievert. El principio de optimización como el concepto de *Restricción* podrían seguir utilizándose para su aplicación a cada fuente.

### **Resultados y Consecuencias**

Las propuestas presentadas aquí se centran en la protección del individuo. Continuarían aplicándose los principios de la Comisión de justificación y optimización, aunque se requerirían unas orientaciones adicionales para clarificar:

a) Qué magnitud se debe utilizar para asegurar que la introducción de una fuente, produce un beneficio neto positivo y,

b) Cómo puede ser aplicado el criterio de "tan bajo como sea practicable" si el criterio determinante es la dosis individual.

No obstante, se abriría una posibilidad importante para una simplificación del sistema de protección y desaparecería la confusión existente

a la hora de distinguir entre Prácticas e Intervenciones. Adicionalmente, podría no haber necesidad de diferenciar entre las exposiciones Ocupacionales, del Público y Médicas, ya que el nuevo marco es igualmente aplicable para la protección de cada una de ellas. Cualquier preocupación especial sobre la protección de los niños durante su gestación estaría cubierta por la restricción de dosis de 0.3 mSv y el Nivel de Investigación de 3 mSv. Tampoco habría necesidad de mantener el límite actual de 1 mSv para la dosis al público. Finalmente no habría necesidad de utilizar la dosis colectiva ya que el principio de protección propuesto establece que, para cada fuente, si está suficientemente protegido el individuo más expuesto, cualquier otro también lo estará.

Podría ser necesario imponer una restricción adicional sobre las fuentes si en algún momento del futuro se verifica que algunos individuos pueden recibir, después de un periodo prolongado de tiempo, una acumulación de dosis a causa de muchas fuentes de tipo local, regional y global. Sin embargo es probable que se disponga de un considerable periodo de tiempo para efectuar los cambios que se precisaran.

Este sistema, más sencillo y directo, podría explicarse al público en términos de riesgo aceptable o, aún más entendible todavía, como múltiplos o fracciones del fondo natural. En este caso, tal vez no haya necesidad de poner en juego la credibilidad de la profesión con argumentaciones a favor o en contra de la existencia de un umbral en la relación entre dosis y efectos.



# Radiaciones RF de Antenas de Telefonía y Salud Pública: El Estado Actual de la Cuestión

Alejandro Úbeda Maeso  
María Ángeles Trillo Ruiz

Departamento de Investigación,  
Hospital Ramón y Cajal, Madrid

*La telefonía móvil está considerada como una de las innovaciones más significativas de las últimas décadas en lo que a comunicación se refiere. El desarrollo creciente de este sistema de telefonía requiere de la presencia de un número suficiente de antenas, localizadas en estaciones base (BTS), que conectan los teléfonos o unidades móviles (MS) entre sí, y a estos con la red convencional de telefonía. Las estaciones base, ya sean mástiles ubicados en los tejados de edificios de zonas urbanas o se trate de torres emplazadas en promontorios de áreas más despejadas, poseen un impacto visual importante que denota con intensidad su presencia para ciudadanos que viven o trabajan en sus proximidades. Esto, unido a la reciente aparición de determinadas informaciones de contenido generalmente difuso e incompleto, está creando en algunos medios una fobia basada en supuestos efectos nocivos de las ondas electromagnéticas emitidas por las citadas estaciones base. Esta preocupación, que surgió hace algunos años en países de nuestro entorno, ha sido detectada más recientemente en España y es la base de muchas de las consultas que recibe nuestro servicio de información en el Departamento de Investigación del Hospital Ramón y Cajal. El presente artículo tiene por objeto dar respuesta a algunas de las preguntas que con más frecuencia recibimos y ofrecer una visión general sobre el estado actual de nuestros conocimientos acerca de los posibles efectos de la exposición a radioondas del tipo de las emitidas por las antenas de las BTS. El trabajo contiene también algunas nociones básicas sobre el funcionamiento de la telefonía móvil cuyo fin es facilitar al lector la comprensión de algunos aspectos técnicos relacionados con el tema que aquí se aborda.*

## SUMMARY

Today, mobile telephony is envisioned as one of the most significant innovations in communication. The growing development of this system asks for increasing amounts of antennas, installed in base transceiver stations (BTS) connecting mobile stations (MS, hand held phones) to each other and to the conventional telephone network. Depending on the area, antennas are generally mounted in BTS located either on the top of buildings (in urban areas) or in towers (in rural or less populated areas). In both of the cases, the visual impact of BTS is significant for people living or working close to them. This visual evidence, together with some information, usually inconsistent or incomplete, released in media other than the scientific literature, have generated increasing feelings of phobia to alleged detrimental consequences of the uncontrolled exposure to radiowaves emitted by the antennas. Such feelings, identified previously in countries where mobile telephony has been used for years in a regular basis, are now significantly growing in Spain and motivate many of the questions asked to information services of public agencies and institutions. The aim of the present article is to address some of the most frequently asked questions on the topic and to review the state of the art of our knowledge on the putative effects of the exposure to the electromagnetic radiation emitted by the aerials. Also, elementary notions are provided on the functioning of mobile telephony that may help the reader to better understand some technical aspects concerning the topic.

## La transmisión de información por medio de ondas electromagnéticas

La comunicación a largas distancias requiere del uso de ondas electromagnéticas (EM), en las que campos eléctricos y campos magnéticos están ligados. Mediante el empleo de la metodología adecuada, las oscilaciones electromagnéticas pueden ser controladas por oscilaciones acústicas. En efecto, cuando usamos un teléfono, las ondas sonoras generadas al hablar (*origen o fuente de la información*) son traducidas a señales eléctricas por medio de un transductor (micrófono). En esta forma, la información puede ser enviada a distancia por el *transmisor* a



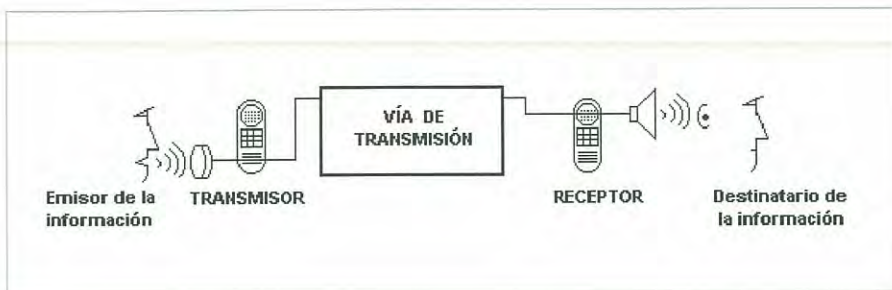


Figura 1. Diagrama de los elementos que configuran la vía telefónica de transmisión de la información.

través de una *vía de transmisión* adecuada. Si la vía de transmisión es una línea, como ocurre en telefonía convencional, dicha línea actúa como guía de las oscilaciones electromagnéticas, que se propagarán a través de ella. En el extremo de la línea se localiza el punto de destino o *receptor*, donde la información es capturada y reconvertida a ondas acústicas mediante un transductor apropiado (altavoz), lo que permite al *destinatario* interpretar la información dirigida a él/ella (Fig. 1).

La telefonía móvil permite prescindir en parte del uso de las líneas mediante el empleo de la física de propagación de las ondas electromagnéticas. Dado que las señales EM viajan a través del aire, desde las antenas emisoras a las recepto-

ras, a una velocidad próxima a la de la luz, la telefonía móvil capacita al usuario para enviar y recibir información sin apenas limitaciones espaciales.

### Las antenas de telefonía móvil

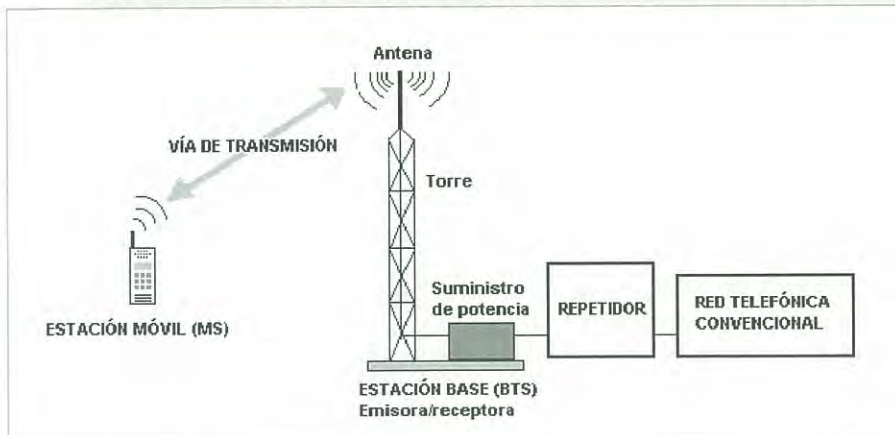
Estas antenas tienen la misión de emitir al espacio (antenas emisoras) ondas EM en el rango de las radiofrecuencias y microondas (genéricamente, RF), o de recibir estas señales (antenas receptoras). Cuando la radiación EM se propaga en el espacio existe una transmisión de potencia que es suministrada por la antena emisora, y captada en parte por la antena receptora. La forma en que tiene lugar la emisión al espacio de la señal EM viene determinada, como se verá más adelante, por el

tipo de antena empleado y por la frecuencia de la onda emitida.

### Las estaciones de telefonía móvil

En un teléfono móvil, la vía de transmisión está constituida por la unidad de radio incluida en el teléfono. Es decir, el propio teléfono representa una estación móvil (MS), que contiene todo el equipo técnico que requiere el usuario: un sistema para transducción de voz y comunicación de información, una unidad de radio y una antena emisora-receptora. La estación móvil permite transmitir datos a la *estación base*. La estación base transeptora (BTS) es una unidad estacionaria instalada en una posición óptima dentro del área de cobertura o célula. Incluye antenas emisoras y receptoras, una unidad de alimentación para las antenas y los sistemas necesarios para actuar de enlace entre sus estaciones móviles y la red pública de teléfonos, a través de unidades retransmisoras o repetidoras (Fig. 2). En BTS propias de áreas rurales o poco pobladas, las antenas están montadas en mástiles o torres. En áreas urbanas, las antenas se ubican en puntos elevados; generalmente sobre tejados de edificios. La localización de las BTS es diseñada por los operadores, o compañías que ofrecen los servicios de un determinado sistema de telefonía móvil. El objetivo es garantizar la comunicación en todos los puntos del área cubierta por cada antena.

Figura 2. Esquema de los elementos que intervienen en la radiocomunicación entre un teléfono móvil (MS) y la red convencional de telefonía, a través de una antena situada en una estación base (BTS).



### Rangos de frecuencias

Según el sistema que emplean, las estaciones móviles (MS) trabajan en

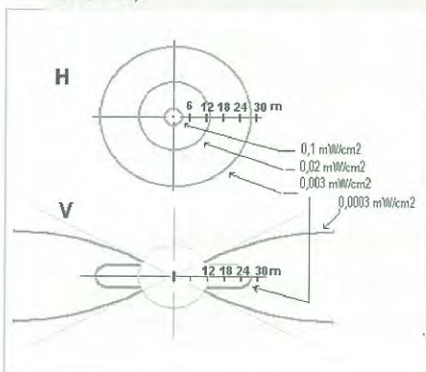




**Figura 3:** Antenas montadas en la torre de una estación base en una zona rural. O: Antenas omnidireccionales, de sección transversal circular. S: Antenas sectoriales; sección rectangular.

un determinado rango de frecuencias portadoras. Hasta hace poco tiempo, cada país europeo empleaba su propio sistema de telefonía, diferente del adoptado por otros países, ya que los respectivos opera-

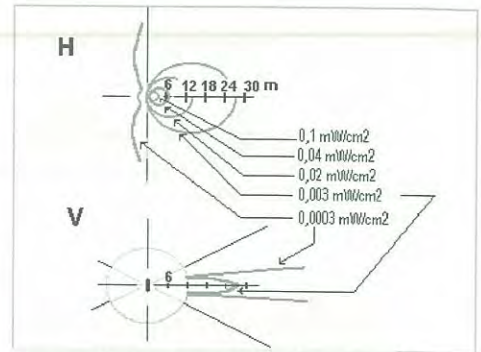
**Figura 4:** Niveles teóricos de emisión en una antena omnidireccional, para una potencia de 300 W. H: Sección transversal de la emisión (horizontal). V: Sección axial (vertical). Adaptado a partir de esquemas originales de J. Moulder y C. Llanos [53] (con el permiso de los autores).



dores utilizaban bandas de frecuencia y tecnologías diferentes. Así, España, con Italia y el Reino Unido empleaba sistemas basados en el estándar denominado TACS; los países nórdicos empleaban el estándar NMT; Alemania, el C-Netz; Francia, el Radiocom, etc. Todos estos sistemas eran de tipo analógico. Esta variedad de estándares hacía incompatibles los equipos de los diferentes sistemas. Ante esta situación, la Confederación Europea de Correos y Telecomunicaciones optó por definir una norma técnica única, que operaría en una banda de frecuencias común y que habría de ser adoptada por todos los países miembros de la Unión Europea. Así surgió el denominado Global System for Mobile Communications (GSM), que emplea tecnología digital y que opera en la banda de frecuencias de los 900 MHz. Una extensión de este sistema, el European Digital Cellular System (DCS-1800), es muy semejante al GSM, pero opera en la banda de 1800 MHz.

**Tipos de antenas de uso en estaciones base**

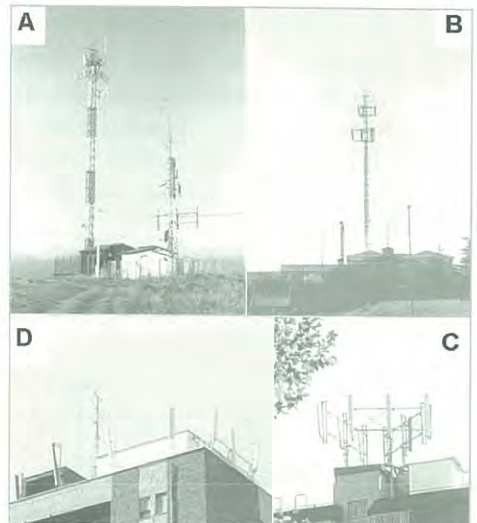
Para adaptar la cobertura de las BTS a los requisitos específicos de cada ubicación, se utilizan dos tipos de antenas: 1. *Antenas omnidireccionales*, de baja ganancia, que emiten por igual en todas las direcciones; tienen forma de varilla de unos dos metros de longitud (Figs. 3 y 4). 2. *Antenas directivas*, de ganancia superior que las omnidireccionales, emiten mayoritariamente en una dirección determinada, por lo que también se les denomina antenas sectoriales. La anchura de estos sectores suele estar entre los 30°



**Figura 5:** Niveles teóricos de emisión en una antena sectorial para una potencia de 300 W. H: Sección transversal de la emisión (horizontal). V: Sección axial (vertical). Adaptado a partir de esquemas originales de J. Moulder y C. Llanos [53] (con el permiso de los autores).

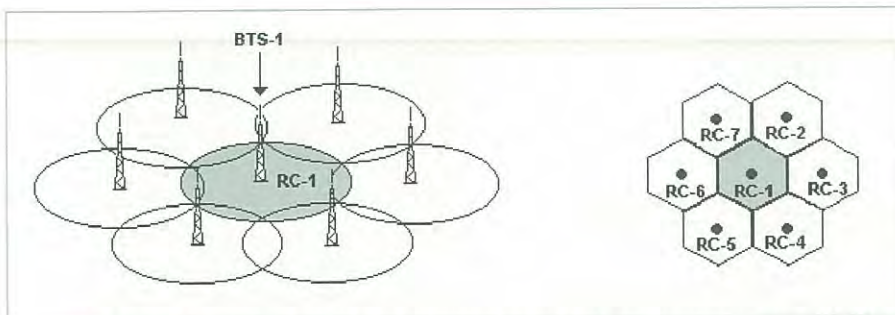
y los 60°, aunque algunas antenas pueden emitir en ángulos mayores. La longitud de las antenas varía, según los modelos, entre 1 y 2 metros, aproximadamente (Figs 3 y 5).

Una BTS suele contener varias antenas. El número y tipo de antenas dependen de las necesidades y



**Figura 6:** Distintos tipos de estaciones base y de antenas montadas sobre diferentes estructuras. A: Estación base localizada en una zona rural. B: Torre con antenas sectoriales en una zona de chalets dentro de un área urbana. C: Antenas sectoriales montadas en disposición triangular sobre la azotea de un edificio de apartamentos. D: Montaje en empalizada sobre una azotea.

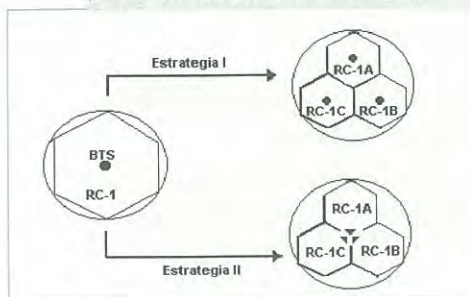




**Figura 7.** Representación de una red de radiocélulas (RC) de telefonía móvil constituida por siete estaciones base (BTS) que, solapándose entre sí, cubren un área geográfica determinada. A la derecha se muestra un esquema de la misma red, en la que cada radiocélula (RC-1 a RC-7), con su correspondiente estación en el centro, es representada como un hexágono que posee límites comunes con radiocélulas adyacentes.

capacidad de cobertura de la ubicación de la BTS. Las antenas omnidireccionales suelen emplazarse en torres, ocupando el punto más alto de la estación (Fig. 6A). Las torres pueden asimismo contener antenas directivas, que se sitúan en su fuste, dispuestas en estructuras triangulares adosadas a la torre Figs. 6A y 6B. También pueden encontrarse antenas directivas ubicadas en tejados o azoteas de edificios (Fig. 6C), formando empalizadas (Fig. 6D) o adosadas a las paredes, configurando uno o más sectores.

**Figura 8.** Evolución de una antena omnidireccional (BTS) para adecuarse a cambios en las necesidades de servicio de una radiocélula (RC-1). En la estrategia I se optó por instalar en la zona cubierta por la radiocélula #1, tres nuevas BTS, cada una con una antena omnidireccional, dando lugar a tres nuevas radiocélulas (RC-1A, -1B y -1C), más pequeñas que la primera. En la estrategia II se mantuvo la BTS original, instalando en ella antenas en sector, cada una de las cuales cubrirá el área correspondiente a las tres radiocélulas citadas.



### La radiocélula y la red RF

Cada BTS da servicio a un área geográfica determinada, conocida como radiocélula. La extensión de la radiocélula está en función de las condiciones locales de radio y de la densidad y movilidad de sus usuarios. Para asegurar la cobertura en el total de la zona, las radiocélulas de las BTS adyacentes deben solaparse en sus límites exteriores. Así, una radiocélula puede representarse como un hexágono que formaría parte de la trama de celdillas que constituyen la red RF de un determinado operador (Fig. 7).

En áreas geográficas de bajo tráfico, como es el caso de zonas rurales, puede resultar preferible el empleo de radiocélulas extensas, en cuyo centro se ubican BTS con antenas omnidireccionales. Cuando las necesidades de servicio en una zona determinada aumentan, la capacidad de la radiocélula puede incrementarse mediante la compartimentalización de la célula preexistente en otras células menores, cada una con su propia base individual, dotada de una o varias antenas omnidireccionales. Sin embargo, en general resulta más eficaz la estrategia consistente en

ubicar antenas sectoriales en la base preexistente, (120° en la Fig. 8)

### La preocupación del público ante la exposición a radiaciones RF emitidas por antenas de las BTS

Como se ha descrito en apartados anteriores, los sistemas de telefonía móvil utilizan la transmisión de radioondas para permitir la comunicación de sus usuarios desde cualquier lugar, incluso cuando el emisor y/o el receptor se encuentran en movimiento. Para satisfacer estas condiciones, los operadores deben desplegar una tupida red de estaciones base que proporcione una cobertura con la calidad adecuada. Esta alta densidad de estaciones base y el uso generalizado de terminales portátiles ha suscitado en el público un interés por los posibles efectos de estas emisiones, tanto sobre la salud como sobre otros sistemas eléctricos con los que pudieran interactuar.

Uno de los motivos más frecuentes de preocupación por parte del público ante supuestos efectos nocivos de la exposición a radiaciones emitidas por las antenas de telefonía, proviene de la confusión derivada del uso genérico del término "radiación". En efecto, llamamos radiaciones electromagnéticas a ondas producidas por la oscilación o aceleración de una carga eléctrica. Estas ondas están formadas por componentes eléctricos y magnéticos ligados entre sí y presentan las propiedades típicas del movimiento oscilatorio, como la difracción y la interferencia. Todas las radiaciones EM, independientemente de su frecuencia, se transmiten a la velocidad de la luz sin



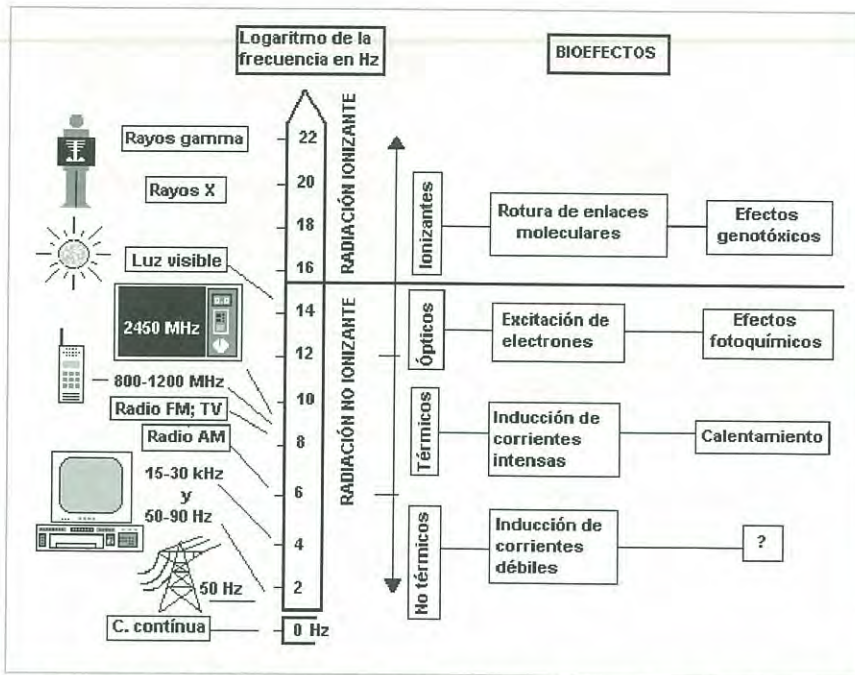


Figura 9: Las radiaciones electromagnéticas y sus efectos biológicos en función de la frecuencia de las ondas.

necesidad de un medio físico de propagación: pueden viajar en el vacío. A pesar de las citadas características comunes, existen diferencias fundamentales entre los distintos tipos de radiaciones EM según su localización en el espectro, que abarca un rango enormemente amplio de frecuencias (Fig. 9). Así, la cantidad de energía que una radiación EM es capaz de depositar en un organismo, y la forma en que esta radiación es absorbida por el sujeto están determinadas por la frecuencia de la radiación incidente. En general, cuando la frecuencia incrementa, el poder de absorción de la radiación por parte de los tejidos incrementa, y la penetración de la radiación disminuye.

Atendiendo a sus efectos sobre la materia y los sistemas vivos, podemos distinguir dos tipos fundamentales de radiaciones EM. En las radiaciones de frecuencias muy altas,

como es el caso de los rayos x, la energía de las ondas EM es tal que puede provocar ionización, es decir, ruptura de uniones químicas. A estas radiaciones se les denomina ionizantes (RI o IR). Cuando las uniones químicas afectadas forman parte del material genético de las células, este daño puede conducir, si no es reparado por el sistema, a cáncer o a defectos en el desarrollo. Las radiaciones de frecuencias más bajas, como las RF en que operan los sistemas de telefonía móvil, son demasiado débiles para romper uniones químicas. Se les denomina radiaciones no ionizantes (RNI o NIR), y su interacción con los sistemas vivos es distinta a la descrita para las RI.

**Los bioefectos de las RNI en el espectro RF: Los efectos térmicos**

Aunque son incapaces de romper uniones químicas, las RNI pueden in-

ducir alteraciones en los sistemas biológicos. En el caso de las radiofrecuencias, se ha comprobado que radiaciones particularmente intensas pueden provocar efectos nocivos que incluyen alteraciones en el comportamiento de sujetos experimentales, hipertermia leve o severa, alteraciones en el desarrollo embrionario y abortos, cataratas y quemaduras superficiales o profundas [1 - 5]. En general, los efectos nocivos comprobados bajo exposición a RF están relacionados con la capacidad que poseen estas ondas de inducir corrientes eléctricas en los tejidos expuestos, lo que conduce a una elevación de la temperatura interna del sistema. Si el incremento de la temperatura corporal inducido por la exposición a la radiación no es severo (menor de 1°C) la sangre circulante es capaz, en general, de disipar el exceso moderado de calor [6]. Sin embargo, en determinadas estructuras poco vascularizadas, tales como el interior del ojo, el citado incremento de temperatura no es equilibrado por el sistema con facilidad y puede dar lugar a daños irreversibles.

Existe un amplio consenso entre los expertos en lo que concierne a los citados efectos térmicos de las radiofrecuencias y la microondas, por lo que los criterios de control de riesgo ante la exposición a estas radiaciones están bien establecidos en base a una evidencia experimental extensa y robusta.

**Los límites de seguridad ante efectos térmicos**

Son niveles límite de exposición a radiaciones que han sido establecidos por comisiones de expertos





**TABLA 1**  
**Resumen de niveles de referencia (NR)**  
**y restricciones básicas (RB) para exposiciones**  
**a RF. ICNIRP Guidelines (1998) [4]**

Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )			SAR W/kg (Entre 0,1 y 10000 MHz)		
Frecuencia (MHz)	Público	Ocupacional	Localización	Público	Ocupacional
400-2000	f/200 <sup>(NR)</sup>	f/40 <sup>(NR)</sup>	Cuerpo completo	0,08 <sup>(RB)</sup>	0,4 <sup>(RB)</sup>
2000-300000	10 <sup>(NR)</sup>	50 <sup>(NR)</sup>	Cabeza y tronco	2 <sup>(RB)</sup>	10 <sup>(RB)</sup>
10000-300000	10 <sup>(RB)</sup>	50 <sup>(RB)</sup>	Miembros	4 <sup>(RB)</sup>	20 <sup>(RB)</sup>

*Notas a las Restricciones Básicas (RB):* Las RB son restricciones en los niveles de exposición basadas en efectos sobre la salud bien establecidos. Para asegurar una protección contra tales efectos, los valores correspondientes no deben ser rebasados.

1. Todos los valores SAR han de ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos.
2. Valores SAR para cabeza + tronco y para miembros, absorbidos por 10 gramos de tejido contiguo.
3. Las densidades de potencia han de ser promediadas sobre cualquier área de 20 cm<sup>2</sup> de superficie expuesta y para periodos de  $68/f^{1.05}$  minutos (f es la frecuencia en GHz), para compensar la reducción de la penetración al incrementar la frecuencia.
4. Las densidades de potencia máximas, promediadas sobre 1 cm<sup>2</sup>, no deben exceder en más de 20 veces los valores de la tabla.

*Notas a los Niveles de Referencia (NR) de exposición:* Los valores de NR se basan en las RB y se han obtenido a partir de modelos matemáticos y de extrapolaciones de resultados experimentales. Los NR se proporcionan para ser comparados con valores medidos en el ambiente. Aquellas condiciones que no sobrepasen los niveles de referencia cumplirán con seguridad las restricciones básicas. Mediciones que den valores superiores a los NR no implican necesariamente que las RB hayan sido sobrepasadas, pero sí aconsejan análisis más detallados para garantizar el cumplimiento de las restricciones.

1. Para frecuencias inferiores a 10.000 MHz los valores han de ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos. Para frecuencias superiores, los promedios serán sobre periodos de  $68/f^{1.05}$  minutos (f es la frecuencia en GHz).
2. Para frecuencias superiores a los 10 MHz se propone que el valor pico de densidad de potencia, promediado sobre la anchura del pulso, no supere en 1.000 veces los valores dados.

basándose en la evidencia experimental disponible. Estos límites son empleados en la elaboración de normativas de seguridad de aplicación a nivel nacional o internacional. Entre los standards más difundidos figuran los del Institute of Electrical and Electronics Engineers and American National Standards Institute (IEEE/ANSI) [2] y los de la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [3, 4].

Los límites pueden venir expresados en dos tipos de unidades. Cuando interesa describir la poten-

cia de la radiación en el aire, sin atender a su interacción con un cuerpo expuesto a la señal, se emplea la densidad de potencia (S), que se define como potencia por unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la onda electromagnética, y que viene dada en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>) o en milivatios por centímetro cuadrado (mW/cm<sup>2</sup>). Si, por el contrario, el interés de la medida radica en valorar la forma en que la energía de una radiación es absorbida por un cuerpo dado, se calcula la tasa de absorción específica

(SAR). La SAR es la derivada en el tiempo del incremento de energía (dW) absorbida por una masa diferencial (dm) contenida en un volumen diferencial (dV) y que tiene una determinada densidad. Se expresa en W/kg de masa. El valor de la SAR es, por tanto, dependiente, entre otros parámetros, del valor de la densidad de corriente inducida por la radiación en el tejido (A/m<sup>2</sup>), de la densidad del tejido (kg/m<sup>3</sup>) y de la conductividad del tejido (en S/m).

De la Tabla 1 se desprende que para la frecuencia propia de las antenas de estaciones base, la normativa ICNIRP establece un límite de exposición para el público de aproximadamente 10 W/m<sup>2</sup> (1 mW/cm<sup>2</sup>), lo que corresponde a un SAR de 0,08 W/kg de masa corporal (80 mW/kg). Para llegar a estas cifras, que son consideradas conservadoras, los expertos que han establecido estos standards han procedido como sigue [7]. Se evaluaron resultados de diferentes estudios experimentales realizados en animales, y a partir de ellos se determinó el valor de la tasa de absorción específica (SAR) que provoca un incremento de 1°C en la temperatura de un tejido corporal. Este valor fue dividido por 10 para establecer los límites de seguridad ocupacional, es decir, los que se aplican a personal técnico que ejerce su labor en las proximidades de las antenas. Este último valor fue reducido de nuevo, esta vez en un factor de 5 para establecer el nivel de seguridad para exposiciones recibidas por el público en general. Dicho valor corresponde, por tanto, al 2% del nivel al cual se ha encontrado evidencia cierta de efectos biológicos de exposiciones a RF.



### **Las antenas y el cumplimiento de las normativas de seguridad**

Las antenas de telefonía móvil que se instalan hoy en España deben cumplir las normativas vigentes sobre altura y señalización, determinadas por Aviación Civil (OACI) y las autoridades municipales y autonómicas. En algunas localidades también deben cumplirse normativas o recomendaciones específicas, dictadas por los responsables locales de las áreas de urbanismo y medio ambiente.

En lo que se refiere a emisiones RF, la Comisión Europea está redactando un conjunto de Recomendaciones que limitan los niveles de radiación no ionizante a que pueden verse expuestos los ciudadanos. Estas recomendaciones han adoptado los criterios y los límites fijados por la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) y es previsible que entren en vigor en el año 2000 o en el 2001.

Como veremos en el presente apartado, las emisiones de las estaciones base que operan en España son, en general, muy inferiores a los niveles de seguridad fijados por la ICNIRP.

En España, los valores de potencia de transmisión de las estaciones base está limitada por la ley (BOE 231, del 27/09/1994; Orden del 26/09/1994). Los máximos permitidos de potencia radiada han sido fijados en 320 W para el sistema GSM-900 y en 20 W para el DCS-1800. Los valores reales de potencia de transmisión de las estaciones base suelen ser netamente inferiores a los límites establecidos. Así, por

ejemplo, para el sistema GSM-900 denominado "Movistar", las potencias se encuentran en un rango entre 30 W y 250 W, dependiendo del entorno, del objetivo de cobertura, de la densidad de estaciones base de la zona, del tipo de antena, etc. (información facilitada por Telefónica Móviles).

Los esquemas de las Figs. 4 y 5 muestran que, a partir de unos pocos metros de distancia de una antena sectorial, la región del espacio afectada por las emisiones corresponde a una franja relativamente estrecha (generalmente, 30° - 60°), situada exclusivamente en la dirección en que la antena ha sido orientada. Por el contrario, el espacio sometido a las RF de las antenas omnidireccionales (de baja ganancia) es mucho más amplio, dado que una antena de este tipo constituye el centro de un "disco" de emisiones que se propagan horizontalmente en un ángulo de 360°. Pues bien, mediciones realizadas a nivel del suelo [8, 9] en las proximidades de estaciones base con distintos tipos de antenas, han mostrado valores máximos de densidad de potencia entre  $2 \times 10^{-2}$  mW/cm<sup>2</sup> y  $2 \times 10^{-3}$  mW/cm<sup>2</sup> a distancias inferiores a 60 metros de la base. Para distancias superiores a los 90 metros, las densidades de potencia medias fueron inferiores a  $10^{-3}$  mW/cm<sup>2</sup>. Por encima del nivel del suelo, a alturas más próximas al centro del haz de emisiones de las antenas, las potencias medidas fueron, obviamente, superiores, aunque siempre muy por debajo (2% en el peor de los casos) de los standards de seguridad citados anteriormente. Por otra parte, conviene recordar que las RF son

parcialmente apantalladas por las paredes de los edificios, con lo que las densidades de potencia que se registran en el interior de una vivienda son siempre mucho más bajas (en promedio, 10 veces más bajas) que las medidas en puntos exteriores [8, 10]

De lo anterior se deriva que para las estaciones base típicas montadas en torres, aun cuando soporten múltiples antenas operando simultáneamente, los niveles de exposición a radiofrecuencias que pueda recibir el público en sus inmediaciones son notablemente más bajos que los marcados en los standards. Por tanto, se asume que la permanencia y la realización de actividades en las proximidades de dichas estaciones no entrañarían riesgos para la salud del público, incluyendo a aquellas personas que sean portadoras o usuarias de instrumentos electrónicos de aplicaciones médicas, como los marcapasos cardiacos, cuyo funcionamiento no se verá afectado por las radiaciones. Esta afirmación no es necesariamente extensible a trabajadores que, para realizar labores de reparación o mantenimiento en las estaciones o junto a ellas, necesiten aproximarse mucho a las antenas. Estos operarios debe estar informados de las características concretas de las emisiones de las antenas y tomar las precauciones necesarias en cada caso.

Cuando se trata de estaciones instaladas en tejados y azoteas de edificios, las emisiones RF en distancias muy próximas a los sistemas son objeto de consideración especial a fin de garantizar la seguridad de los habitantes de las viviendas más cercanas al tejado. En general,





**TABLA 2**  
**Estudios epidemiológicos**

Autor	Condición	Exposición RF	Resultados
Szmigielski et al. [18, 19]	Personal militar expuesto a RF	RF de radares	Tasas altas de leucemia y linfoma
Hocking et al [20]	Proximidad a torres TV	Calculada. No mediciones	Alta incidencia de leucemia en adultos y niños. No asociación con otros cánceres
McKenzie et al [21]	Intento de replicar estudio de Hocking et al. [15]	Cálculos más refinados que en [15]	Confirman alta incidencia de leucemia infantil en un área próxima a las antenas, pero no en otras áreas similares. Las tasas reportadas en [15] parecen haber sido sobrestimadas
Dolk et al. [22]	Proximidad a una torre FM - TV	No mediciones	Cáncer de piel y leucemia en adultos en un radio de 2 km. No otros cánceres
Dolk et al. [23]	Proximidad a veinte torres FM - TV	No mediciones	No asociación cáncer - distancia a las antenas.

un correcto diseño del emplazamiento de las antenas evitará el acceso directo del público a las proximidades de éstas. Además, en el interior de las viviendas inmediatas los niveles de radiación se verán re-

ducidos significativamente debido a la baja penetrabilidad de las RF en el cemento y otros materiales con los que están contruidos los techos y paredes de los edificios. Bajo estas circunstancias, las densidades de

potencia registradas en dichas viviendas cumplirán sobradamente las normativas de seguridad.

Ahora bien, en el caso hipotético de una estación mal diseñada y compuesta por múltiples antenas de

**TABLA 3**  
**Estudios de genotoxicidad (daño en el material genético)**

Autor	Condición	Exposición RF	Resultados
Lai & Singh [24, 25]	Ratas, in vivo	2,45 GHz 0,6-12 W/kg alta intensidad 4h exposición	Daño genético. Rotura de bandas ADN en células nerviosas. ¿Artefacto debido a deficiencias metodológicas?*
Mayalpa et al. [26 - 28]	Ratas, in vivo	Intento de réplica de condiciones de Lai & Singh	No detectados efectos en AND de células nerviosas
Cain et al [29]	Cultivos de células fibroblásticas	2,45 GHz 1-12,5 W/kg	No detectados efectos genotóxicos
Maes et al. [30]	Cultivos de células sanguíneas humanas	954 MHz 1,5 W/kg	Potencia el daño genético provocado por un cancerígeno químico
Scarfi et al [31]	Cultivos de leucocitos	90 GHz 70 W/kg ¿Efecto térmico?	Provoca daño genético. Potencia genotoxicidad de un cancerígeno químico
UNEP/WHO/IRPA [16]	Estudios in vitro, Revisión	RF a diferentes frecuencias e intensidades	No daño en ADN o estructuras cromosómicas excepto para RF capaces de elevar temperatura del cultivo
Verschaeve & Maes [32]	Estudios in vitro o in vivo, Revisión	RF a diferentes frecuencias e intensidades	No daño en ADN o estructuras cromosómicas excepto para RF capaces de elevar temperatura del sistema biológico
Brusick et al. [33]	Estudios in vitro o in vivo, Revisión	RF a diferentes frecuencias e intensidades	Las RF no son mutagénicas. Efectos genotóxicos sólo para RF que generan hipertermia; sin embargo no pueden descartarse posibles efectos sutiles, indirectos, no térmicos

\*. G.M. Williams, Comentario sobre [24] publicado en *Bioelectromagnetics* 17: 165, 1996



alta potencia emplazadas directamente en un tejado, cabría la posibilidad de que en las viviendas más próximas pudiera registrarse la presencia de emisiones RF que incumpliesen los niveles de seguridad. Teniendo en cuenta este supuesto particular, la Federal Communications Commission (FCC) de los Estados Unidos de América ha establecido criterios que permiten determinar las condiciones en que el cumplimiento de los standards de seguridad en domicilios inmediatos a las instalaciones está garantizado. Así, para instalaciones en tejados, se definen como seguras aquellas bases de telefonía móvil cuya potencia radiada envolvente total por sector (suma de las potencias radiadas de todas las antenas emitiendo en un sector dado y operando simultáneamente) sea inferior o igual a 1.000 W. Para antenas de sistemas de comunicación personal, que operan a una frecuencia mayor (1.800-2.200 MHz) la potencia considerada segura es de 2.000 W o menos. En los casos de bases que operen a potencias superiores a las citadas, la FCC recomienda una evaluación específica y directa de las emisiones que confirme el cumplimiento de los límites de seguridad en las inmediaciones.

En consecuencia, y dado que en España la potencia máxima de emisión de las antenas está limitada por ley a valores inferiores a los 320 W, es muy improbable que una instalación llegue a sobrepasar los niveles de seguridad fijados por la FCC o por comisiones internacionales. No obstante, en el caso de que un propietario mantuviera dudas sobre la idoneidad de la instalación de ba-

ses situadas en los tejados de su vivienda, puede solicitar de su compañía telefónica los datos correspondientes a los niveles de emisiones, medidos o estimados, de las antenas en cuestión.

### **Efectos no térmicos de las RF: La controversia sobre posibles efectos perjudiciales para la salud**

Existe evidencia experimental de efectos de la exposición a RF intensas que no parecen debidos a calentamiento de los tejidos [1 - 5]. Algunos de estos efectos, descritos en trabajos experimentales y en estudios epidemiológicos, han sido interpretados por determinados autores como evidencias de que exposiciones prolongadas a RF débiles son potencialmente nocivas. De entre estos autores, J. R. Goldsmith es el único, hasta donde nosotros sabemos, que ha publicado sus opiniones en la prensa científica [11, 12]. Goldsmith considera que existen datos epidemiológicos que revelan que la exposición a RF de telecomunicación tiene efectos adversos sobre la salud humana. Dichos efectos incluirían cáncer, mutaciones y alteraciones en el desarrollo embrionario. Otros autores, como Roger Coghill (citado por J. Moulder, 1998 [10]) mantienen asimismo que existen pruebas de que exposiciones a niveles de emisiones RF muy por debajo de los establecidos como seguros por la ICNIRP y otras organizaciones de expertos, pueden resultar nocivas. En la misma línea, y de autores españoles, existen en el mercado obras de divulgación [13, 14] que, a través de razonamientos parale-

guientes: "La presencia de una antena emisora cerca de nuestra casa o lugar de trabajo puede ser la causa suficiente para sufrir estrés electromagnético, con peligrosos efectos psicosomáticos incluso a corto plazo" [14]. Y también: "Según el director del Instituto de Higiene de la Universidad de Heilderberg (Alemania), Andreas Varga, las emisoras de radiofrecuencias son peligrosas hasta 3 kilómetros de distancia, y afirma que la influencia de este campo sobre el organismo puede afectar al sistema inmunológico, modificar la glucosa en la sangre o la información genética, así como aumentar las hormonas del estrés. Y es que, al igual que los árboles, el cuerpo humano hace de antena de las emisiones de microondas, y es receptor, tanto de las energías cosmotelúricas, como de las radiaciones artificiales." [13].

La interpretación que hacen los autores citados a partir de la evidencia experimental ha sido fuertemente criticada, principalmente por parte de un grupo numeroso de expertos que no admiten la posibilidad de que las RF, por su forma de interaccionar físicamente con la materia orgánica, provoquen algún tipo de respuesta biológica que no sea de origen térmico.

Por nuestra parte, entendemos que opiniones como las de Goldsmith carecen de una base firme y no están respaldadas por datos concluyentes. Así, el propio Goldsmith advierte que sus ideas se basan en una selección de estudios no exenta de sesgo y en algunos datos no evaluados por expertos. Estas circunstancias limitan la validez de las conclusiones de este autor. En cuanto a





**TABLA 4**  
**Efectos cancerígenos en animales**

Autor	Condición	Exposición RF	Resultados
Szmigielski et al [34]	Ratones tratados con dosis subcancerígenas de un cancerígeno químico	2,45 GHz, 4-5 W/kg	En tratados con RF se triplicó la frecuencia de tumores de piel ¿Efecto térmico?
Salford et al. [35]	Ratas inyectadas con células de tumor cerebral	915 MHz	No incidencia en la progresión de tumores cerebrales
Sarkar et al [36]	Ratones	2,45 GHz, 10 W/m <sup>2</sup> (1,18 W/kg)	Alteraciones del material genético en cerebro y testículos
Liddle et al. [37]	Ratones	2,45 GHz, 2 - 6,8 W/kg 1 h/día, 5 días/semana, toda la vida	No indicios de incremento de incidencia de cáncer. Los expuestos a 6,8 W/kg murieron antes. Posible efecto térmico.
Repacholi [38]	Ratones modificados genéticamente: proclives a desarrollar linfoma	RF intensas, señal modulada imitando las de telefonía móvil; 1h/día, intermitente durante 18 meses	Incremento de incidencia de linfoma. No incremento de otros tipos de cáncer
Chou et al. [39] Guy [40]	Ratas	2,45 GHz 0,4 W/kg 2-27 meses exposición	Lesiones malignas aparecen antes y son más frecuentes. Los resultados pueden no ser de relevancia biológica, según los autores.
Wu et al. [41]	Ratones tratados con cancerígeno específico de cáncer de colon	2,45 GHz 10 mW/cm <sup>2</sup> durante 5 meses	No incremento de cáncer de colon en comparación con controles no expuestos a RF
Toler et al. [42]	Ratones proclives a desarrollo de cáncer de mama	Pulsos a 435 MHz, 1 mW/cm <sup>2</sup> durante 21 meses.	No incremento de cáncer de mama en comparación con controles no expuestos a RF
Frie et al. [43]	Ratones proclives a desarrollo de cáncer de mama	2,45 GHz 0,3 W/kg 20 h/día, 18 meses	No incremento de incidencia de tumores mamarios u otros tipos de cáncer en comparación con controles no expuestos a RF
Imaida et al [44]	Ratas tratadas con cancerígeno hepático	929 MHz, 0,6 - 0,9 W/kg 1:30 h/día, 6 semanas	No incremento de incidencia de tumores hepáticos en comparación con controles expuestos sólo al cancerígeno químico.

Coghill, ha publicado sus hipótesis en obras autoeditadas, es decir, no sometidas a la necesaria revisión por parte de evaluadores independientes. Lo mismo ocurre con los trabajos publicados por los autores españoles citados anteriormente. En estos últimos, además, los datos y argumentos que han dado origen a afirmaciones tan categóricas como

las que hemos transcrito, son difíciles de identificar. Sus conclusiones carecen a menudo del apoyo de referencias a trabajos experimentales o epidemiológicos, o se fundamentan en citas incompletas de estudios generalmente no incluidos en la literatura científica.

Nuestra interpretación de la evidencia científica, que difiere de la

mantenida por los autores que acabamos de mencionar, está contenida en los apartados siguientes.

### ***Criterios para la valoración de la evidencia sobre efectos no térmicos de las RF***

Ante todo, es necesario apuntar que la valoración de las implicaciones de los posibles efectos de las RF,



**TABLA 5**  
**Estudios de neurotoxicidad y efectos sobre el sistema nervioso**

Autor	Condición	Exposición RF	Resultados
UNEP/WHO/IRPA [16]	Estudios in vivo, Revisión Gatos, conejos	RF a diferentes frecuencias e intensidades RF moduladas en amplitud	No cambios en permeabilidad de barrera hematoencefálica* a dosis "subtérnicas". alteraciones en el electroencefalograma
Neubauer et al [45] Salford [46]	Ratas	915 MHz - 2,45 GHz	Incremento en permeabilidad de barrera hematoencefálica* a SAR 0,016 W/kg y superiores
Lai et al. [47, 48]	Ratas	2,45 GHz (pulsos de 2µs, 500 pps) 0,6 W/kg	Alteraciones en actividad colinérgica del cerebro

\*Barrera hematoencefálica: Complejo neurovascular que constituye un filtro capaz de regular el paso selectivo de moléculas desde la sangre hacia el cerebro. Mantiene el equilibrio fisiológico del medio en que ha de funcionar el cerebro.

no puede hacerse sin tener en cuenta el hecho de que la identificación de una respuesta biológica no implica directamente la existencia de un efecto perjudicial para la salud. Así, los sistemas biológicos responden a estímulos externos de diversa naturaleza, y lo hacen siguiendo patrones fisiológicos de respuesta que permiten al sistema relacionarse con su medio y adaptarse a este de forma equilibrada. Estas respuestas normales son ejemplos de efectos biológicos. Algunos de estos efectos pueden ser nocivos, pero en muchos casos las repercusiones que los efectos pudieran tener sobre la salud son irrelevantes o, simplemente, indeterminadas. Por consiguiente, para aquellos agentes, químicos o físicos, capaces de provocar en humanos respuestas detectables, su consideración de peligrosos o inocuos habrá de ser determinada en función de las características de la respuesta. Entre dichas características, la Organización Mundial de la Salud (WHO) incluye: la reversibilidad o irreversibilidad del efecto cuando el agente es retirado, la existencia o no de mecanismos fisiológicos capaces de compensar eficazmente el efecto, y el nivel de probabilidad de que la respuesta conduzca a efectos nocivos para el bienestar físico, mental o social del sujeto [15].

A partir de estos argumentos, es obvio que la valoración de potenciales efectos de las RF sobre la salud resulta sumamente compleja y puede ser cuestionada, sobre todo cuando dicha valoración esté basada en datos obtenidos de exposiciones in vitro (sobre cultivos de células). Por este motivo, nuestra revisión de la literatura ha tenido en cuenta fundamentalmente estudios epidemiológicos y trabajos experimentales in vivo (sobre organismos completos). Estos trabajos y sus resultados se encuentran resumidos en las Tablas 2 a 5. También hemos incluido en las tablas algunas "revisiones" o estudios que contienen una recopilación completa y crítica de resultados publicados sobre una materia determinada en la literatura científica/técnica especializada.

Respecto a estudios in vitro, en las tablas se cita exclusivamente aquellos que consideramos más relevantes. El lector interesado en otros datos experimentales sobre respuestas in vitro a nivel de membranas celulares, de proliferación y transformación celular o de interacciones en procesos de transducción de señales por medio de enzimas, puede consultar la información recogida en diversos trabajos de revisión [1, 2, 4, 15-17].

El lector interesado en otros datos experimentales sobre respuestas in vitro a nivel de membranas celulares, de proliferación y transformación celular o de interacciones en procesos de transducción de señales por medio de enzimas, puede consultar la información recogida en diversos trabajos de revisión [1, 2, 4, 15-17].

### **Resumen de los resultados de los estudios:**

1. *Estudios epidemiológicos (Tabla 2):* Aunque están en curso diversos proyectos, en la actualidad no disponemos de datos epidemiológicos sobre posibles efectos de la exposición a RF emitidas por antenas de estaciones base de telefonía. Es por ello que los trabajos referidos en la Tabla 2 corresponden a estudios realizados sobre muestras de personas potencialmente expuestas a emisiones de otras fuentes de RF, como son antenas de televisión o de radar. Algunos de estos trabajos, que han sido criticados debido a posibles deficiencias metodológicas [1, 49, 50], encontraron incidencias





elevadas de determinados tipos de cánceres en algunas áreas próximas a las torres emisoras. Sin embargo, estudios posteriores más amplios no reprodujeron los resultados iniciales. En consecuencia, la evidencia epidemiológica actual indica que la existencia de una posible relación entre exposición a RF débiles y riesgo incrementado de cáncer, no está avalada por datos consistentes.

## 2. Estudios experimentales:

- *Efectos genotóxicos y efectos cancerígenos (Tablas 3 y 4):* En general, los datos de que disponemos actualmente indican que, por debajo de los niveles a que se dan efectos térmicos, las RF no generan respuestas mutagénicas y no influyen en la iniciación de cánceres. Los estudios que sugieren una posible acción cancerígena o de influencia en procesos de promoción o progresión tumoral son considerados demasiado escasos para constituir un bloque de evidencia firme, aunque sí son suficientes para aconsejar la realización de nuevos estudios, de acuerdo con recomendaciones de la WHO [15].

- *Los efectos sobre el sistema nervioso (Tabla 5):* Pocos estudios de los realizados hasta el presente han mostrado indicios de posibles efectos no térmicos a nivel de sistema nervioso. En general, las consecuencias que los efectos observados (cambios en el electroencefalograma o en la actividad colinérgica de animales) pudieran tener sobre la salud, no puede ser determinada hasta que los resultados sean replicados y las investigaciones sean ampliadas

para proporcionar datos más completos.

- *Otros estudios:* Trabajos recientes han investigado un conjunto de dolencias o molestias que incluye dolores de cabeza, insomnio o cambios en el electroencefalograma, en personas expuestas a RF débiles [51-54]. Los datos acumulados hasta la fecha no constituyen evidencia de asociación entre exposiciones a RF emitidas por las estaciones de telefonía móvil y las perturbaciones, generalmente subjetivas, declaradas por los sujetos estudiados.

En general, en los trabajos experimentales se han empleado intensidades de exposición muy por encima de los límites de seguridad establecidos por las normativas citadas anteriormente. Algunos de estos trabajos pusieron de manifiesto posibles efectos cancerígenos, co-cancerígenos o genotóxicos de las exposiciones empleadas. De entre ellos, ninguno ha sido replicado independientemente, en algunos casos porque todavía no se ha realizado un intento de réplica, en otros, porque el intento ha generado resultados negativos. En estas condiciones, la opinión general entre los especialistas es que actualmente no existe evidencia firme de efectos nocivos para la salud derivados de exposiciones a RF en niveles inferiores a los límites vigentes. No obstante, poseemos indicios, limitados pero repetidos, de posibles efectos no térmicos de las RF que hacen aconsejable la ampliación y profundización en la investigación de los mecanismos biológicos y biofísicos de respuesta a estas radiaciones no ionizantes [15].

## Conclusiones

El empleo de la telefonía móvil es considerado fundamental para modelos de progreso basados en el desarrollo de métodos eficientes de transferencia de información. En los últimos años se ha registrado un incremento notable en el uso de dicho sistema de telefonía, y es previsible que la tasa de crecimiento se mantenga en el futuro. Estas condiciones llevan aparejada la necesidad de multiplicar el número de BTS que da servicio a la telefonía móvil. Con objeto de valorar la posibilidad de que las emisiones RF de las antenas instaladas en las BTS pudieran tener algún impacto sobre la salud de las personas potencialmente expuestas, las compañías telefónicas, la industria y la autoridades sanitarias de la Unión Europea están realizando un importante esfuerzo de investigación en este terreno. Así, se han venido desarrollando diversos programas dirigidos a responder cuestiones fundamentales relativas a salud pública, a través de estudios experimentales y epidemiológicos. Paralelamente, se han realizado avances notables en materia de estimación de niveles reales de exposición y de elaboración de normativas de seguridad fiables, que son revisadas periódicamente a la luz de los datos que arrojan las investigaciones.

En conjunto, las valoraciones de los resultados obtenidos a partir de los estudios realizados hasta la fecha, coinciden en señalar que no existen evidencias firmes de efectos adversos derivados de exposiciones a RF de niveles inferiores a los establecidos por las normativas vigentes. Se entiende pues, que los temores a posibles efectos nocivos de la



exposición a RNI emitidas por antenas de telefonía móvil carecen de fundamento suficiente. En general, dichos temores se basan en informaciones no contrastadas, que no han sido sometidas al filtro del estudio por parte de los equipos expertos que revisan y evalúan la validez de un trabajo como condición para su publicación en revistas científicas/técnicas especializadas.

En cualquier caso, la profundización en la investigación de respuestas biológicas a radiaciones RF es considerada una tarea prioritaria [15]. En efecto, la ampliación de nuestros conocimientos en dicha materia permitiría el establecimiento de niveles de seguridad más precisos, aunque no necesariamente más restrictivos. Esto contribuiría a evitar la aparición y diseminación de fobias que, aun cuando carezcan de una base firme, generan inseguridad en los ciudadanos y originan desconfianza hacia las compañías y hacia los organismos responsables de protección radiológica.

## Referencias

1. ICNIRP. Health Physics 70: 587-593, 1996.
2. IEEE Standards Coordinating Committee 28 (ANSI/IEEE C95.1-1991), Inst. Electr. Electronics Engineers, New York, 1992.
3. ICNIRP Environ. Health Criteria 137. WHO, 1993.
4. ICNIRP guidelines. Health Physics 74: 494-522, 1998.
5. Natl. Radiat. Protection Board: Doc. NRPB 4: 1-69, 1993.
6. K.O. Müller, M. Stecher: EMV - ROHDE&SCHWARZ GmbH & Co KG, February 1995.
7. E. Zemann: En: Electromagnetic Compatibility of Biological Systems. vol. 5; Brinkmann & Friederich Eds. Verlag. pp: 11-41 1997.
8. E.D. Mantiply et al., Bioelectromagnetics 18: 563-577, 1977.
9. R.C. Petersen et al., Bioelectromagnetic 13: 527-542, 1992.
10. J. Moulder, Version 2.0.6 y anteriores, <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/>. J. Moulder & C. Llanos: Traducción española de Vers. 2.0.5 (<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/telefonos-moviles-salud/toc.html>).
11. J.R. Goldsmith, Int. J. Occup. Environ. Health 1: 47-57, 1995.
12. J.R. Goldsmith, Environ. Health Perspectives 105: 1579-1587, 1997.
13. R. de la Rosa, en: Contaminación Electromagnética; Terapion Ed., Valencia. pp. 157-188, 1994.
14. C.M. Requejo, en: Estrés de Alta Tensión, DIDACO S.A., Ed., Barcelona. pp. 89-102, 1998.
15. M.H. Repacholi, Bioelectromagnetics 19: 1-19 1998.
16. UNEP/WHO/IRPA: "EMF (300 Hz-300 GHz). Environ. Health Criteria 137." Geneva: WHO, 1993.
17. R.D. Saunders et al., Biological effects III. RF & MW Radiat. Chilton, UK: NRPB-R240. (London HMSO), 1991.
18. S. Szmigielski et al., en: Marino (ed.): "Modern Bioelectricity". New York: Marcel Dekker pp. 861-925, 1988.
19. S. Szmigielski, Sci. Total Environ. 180: 9-17, 1996.
20. B. Hocking et al., Med. J. Austral 165: 601-605, 1996.
21. D.R. McKenzie et al., Aust New Zealand J. Public Health 22: 360-367, 1998.
22. H. Dolk et al., Amer. J. Epidemiol. 145: 1-9, 1997.
23. H. Dolk et al., Amer. J. Epidemiol. 145: 10-17, 1997.
24. H. Lai & Singh, Bioelectromagnetics 16: 207-210, 1995.
25. H. Lai and N.P. Singh, Int. J. Radiat. Biol. 69: 513-521, 1996.
26. R.S. Malyapa et al., Radiat. Res. 148: 608-617, 1997.
27. R.S. Malyapa et al., Radiat. Res. 148: 618-627, 1997.
28. R.S. Malyapa et al., 2nd World Congress on EM in Biology and Medicine, Bologna, 1997.
29. C.D. Cain et al., Bioelectromagnetics 18: 237-243, 1997.
30. A. Maes et al., Environ. Molec. Mutagen. 28: 26-30, 1996.
31. M.R. Scarfi et al., Electro- and Magnetobiology 15: 99-107, 1996.
32. L. Verschaeve and A. Maes, Mutat. Res. 410: 141-165, 1998.
33. D. Brusick et al., Environ. Molec. Mutagen. 32: 1-16, 1998.
34. S. Szmigielski et al., Bioelectromagnetics 3: 179-191, 1982.
35. L.G. Salford et al., Bioelectrochem. Bioenerg. 30: 313-318, 1993.
36. S. Sarkar, Mutat. Res. 320: 141-147, 1994.
37. C.G. Liddle et al., Bioelectromagnetics 15: 177-181, 1994.
38. M.H. Repacholi et al., Rad. Res. 147: 631-640, 1997.
39. C.K. Chou et al., Bioelectromag. 13: 469-496, 1992.
40. A.W. Guy, en: Klauenberg et al. (eds.): RF Radiat Standards, Biol. Effects, Dosimetry, Epidem. and Public Health. Plenum Press, NATO ASI Series A: 274:311-326, 1994.
41. R.Y. Wu et al., Bioelectromagnetics 15: 531-538, 1994.
42. J.C. Toler et al., Radiat. Res. 148: 227-234, 1997.
43. M.R. Frei et al., Bioelectromagnetics 19: 20-31, 1998.
44. K. Imaida et al., Carcinogenesis 19: 311-314, 1998.
45. C. Neubauer et al., Bioelectromagnetics 11: 261-268, 1990.
46. L.G. Salford et al., Micro. Res. Tech. 27: 535-542, 1994.
47. H. Lai et al., Bioelectromagnetics 9: 355-362, 1988.
48. H. Lai et al., Bioelectromagnetics 10: 203-208, 1989.
49. E.C., en: McKinlay AF (Ed): "Directorate General V" Luxembourg: European Commission, 1996.
50. E.C., en: McKinlay AF (Ed): "Directorate General XIII" Brussels: European Commission, 1996.
51. L. Von Klitzing, Physica Medica April/June: 77-80, 1995.
52. K. Mann, J. Röschke, Neuropsychobiology 33: 41-47, 1996.
53. E.S. Altpeter et al., BEW Publication Series, Study No. 55, Berne, pp. 155, 1995.
54. A. Bortkiewicz et al., Electro- and Magnetobiology 14: 177-192, 1995.





# Nuevas aproximaciones para el estudio de los Mecanismos de Oncogénesis Hematológica Radioinducida

Almudena Real Gallego  
Montserrat Ortega Cordente  
José A. Casado Olea  
Cristina Bauluz  
Rosa de Vidania

CIEMAT (\*)

*El posible desarrollo de cáncer tras exposición a dosis bajas de radiación ionizante, es sin duda un problema de gran relevancia en protección radiológica. Las incertidumbres asociadas a su estimación se derivan fundamentalmente de la falta de resultados concluyentes en estudios epidemiológicos. Mejorar las metodologías actuales para estimar el riesgo a dosis bajas requiere un mejor conocimiento de los mecanismos de oncogénesis radioinducida.*

*En este trabajo se propone la utilización de ratones con el gen p53 alterado, altamente susceptibles a desarrollar cáncer, como modelo experimental para profundizar en los mecanismos de oncogénesis hematológica radioinducida. Aplicando técnicas de citometría de flujo se caracterizaron alteraciones celulares (fenotipo, ciclo celular, ploidia) características de los distintos cánceres hematológicos desarrollados tras exposición a radiación. Alteraciones en algunos parámetros hematológicos de sangre periférica, han permitido detectar estados pre-neoplásicos en los animales antes del desarrollo del cáncer manifiesto, representando indicadores tempranos del proceso carcinogénico.*

## SUMMARY

The possible development of cancer after exposure to low doses of ionizing radiation, is a problem of great relevance in radiological protection. At the moment, there are still some uncertainties about the carcinogenic risk associated with these exposures, due in part, to the lack of conclusive results from epidemiological studies. Improvement of current methodologies used to estimate the risk of low doses would require a better knowledge on the mechanisms of radioinduced oncogenesis. In this work we propose the use of p53 deficient mice, highly susceptible to cancer development, as an experimental model to study the mechanisms of radioinduced haematological oncogenesis. By means of flow cytometry analysis, cellular alterations were characterised (phenotype, cell cycle, ploidy). The alterations detected were characteristic of the various haematological cancers. Alterations in some haematological parameters of peripheral blood has allowed us to detect pre-neoplastic states in the animals before the development of the patent cancer. These altered parameters could represent early indicators of the carcinogenic process.

(\*) Los resultados presentados en este trabajo son parte de un Proyecto de I+D co-financiado por el Consejo de Seguridad Nuclear.

## Introducción

El esclarecimiento de las incertidumbres inherentes a la estimación del riesgo carcinogénico asociado a las exposiciones a dosis bajas de radiación ionizante es sin duda uno de los aspectos más importantes para avanzar cualitativamente en el desarrollo de los criterios en los que se sustenta la protección radiológica. De hecho, en los últimos años se está produciendo un intenso debate en torno a la base científica que sustenta los actuales cálculos de riesgo carcinogénico asociado a la radiación ionizante, muy especialmente en lo que se refiere a los efectos a dosis bajas (1,2). En este sentido, se puede considerar que existen dos grupos o líneas de pensamiento contrapuestos: aquellos que aceptan los dogmas en los que se basan los actuales cálculos del riesgo y aquellos otros que intentan asimilar el conocimiento generado a lo largo de las dos últimas décadas acerca de los mecanismos de carcinogénesis y aducen, en virtud de dichos conocimientos, que el riesgo a dosis bajas está sobrestimado. La confirmación de esta segunda línea de pensamiento comportaría una revisión de los criterios en base a los cuales se realizan los cálculos de riesgos y se



establecen los límites de dosis, lo que obviamente tendría una importante repercusión en protección radiológica.

Lógicamente, el resultado del debate requiere datos de los que no se dispone en la actualidad y cuya obtención difícilmente provendrá de las aproximaciones clásicas: tanto de la epidemiología, como de los experimentos convencionales de carcinogénesis en animales, para los que la obtención de resultados concluyentes a dosis bajas presenta gran dificultad. Se hace por tanto imprescindible la utilización de nuevos sistemas y aproximaciones experimentales que permitan superar las limitaciones actuales. En este sentido el desarrollo alcanzado por la tecnología molecular y celular y en particular el desarrollo de animales manipulados genéticamente, permite de una parte profundizar en el conocimiento de los mecanismos de oncogénesis radioinducida y de otra mantener la característica esencial de los análisis de riesgos: establecer relaciones dosis respuesta.

Un mejor conocimiento de los mecanismos de oncogénesis de radiaciones aportara información muy útil para mejorar las metodologías actualmente utilizadas para la estimación del riesgo carcinogénico, al permitir el desarrollo de modelos de extrapolación con una mayor base biológica que los actualmente utilizados (3, 4). Adicionalmente, permitirá un mejor entendimiento del proceso por el que se induce cáncer en humanos tras exposiciones a dosis y tasas de dosis bajas de radiación, exposiciones a partir de las cuales es difícil extraer conclusiones de los estudios epidemiológicos. Debido a

la elevada complejidad del proceso carcinogénico, el esclarecimiento de los mecanismos por los que la radiación produce cáncer no va a ser una tarea fácil.

En este trabajo se plantea el uso de animales manipulados genéticamente, ratones con el gen supresor de tumores p53 alterado, como modelo para profundizar en el conocimiento de los mecanismos de oncogénesis radioinducida, en particular los relacionados con el desarrollo de cánceres hematológicos. Los ratones con p53 alterado poseen una elevada susceptibilidad a desarrollar cáncer (5), que en el caso de ratones heterocigotos para la mutación en p53 (p53+/-) se ve incrementada tras exposición aguda a radiación (6). Un aspecto muy interesante de los ratones p53 +/- es que son un modelo representativo del síndrome humano de Li-Fraumeni. Las personas que padecen este síndrome muestran una elevada susceptibilidad a desarrollar cáncer, entre otros de origen hematológico, a edades tempranas. El 60% de las familias con síndrome de Li-Fraumeni poseen una mutación en la línea germinal en uno de los alelos de p53. El hecho de que los ratones p53+/- reproduzcan el fenotipo humano del síndrome de Li-Fraumeni hace que estos animales constituyan un modelo idóneo para el estudio de las bases moleculares que diferencian la predisposición al cáncer en estas enfermedades.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar, en primer lugar, la influencia de la dosis y pauta de irradiación en la incidencia y periodos de latencia de cánceres hematológicos desarrollados tanto en animales

p53+/- como normales en p53, para posteriormente analizar en los tejidos hematopoyéticos de los animales con cáncer manifiesto o síntomas graves de enfermedad, alteraciones celulares potencialmente implicadas en el desarrollo de cánceres hematológicos, mediante el análisis de parámetros fenotípicos, morfológicos, clonogénicos, de ciclo celular y ploidia. En base a los resultados obtenidos en estos estudios, se evaluó si alguna de las alteraciones detectadas podía ser de utilidad para el diagnóstico precoz de cánceres hematológicos y como indicadores tempranos del riesgo carcinogénico asociado a la exposición a radiación.

### **Materiales y métodos**

#### *Modelos animales*

Los ratones con p53 alterado (C57BL) fueron adquiridos en Laboratorios Jackson. Posteriormente, al igual que los ratones normales para p53 (F1; C57BLx DBA), fueron criados en el estabulario del CIEMAT. Los animales se mantuvieron a 22 °C de temperatura ambiente, 50% de humedad relativa y fotoperiodos de luz/oscuridad de 12 horas, disponiendo de agua y pienso Sandermus (Sanders) *ad libitum*.

En todos los estudios se utilizaron ratones hembra, de 12-14 semanas de edad en el momento de iniciar el experimento. La manipulación de los animales se realizó según las normas establecidas en el Convenio Europeo (Estrasburgo, 18-3-1986) y en el Real Decreto 223/1988, del 14 de marzo, sobre protección de animales vertebrados utilizados con fines experimentales y científicos.





### *Exposición a radiación ionizante*

Los ratones fueron sometidos a irradiación de cuerpo entero utilizando un equipo de rayos x MG324 de Philips, en la instalación radiactiva IRO4 del CIEMAT. Para ello, los animales fueron introducidos en recipientes diseñados y fabricados para el propósito en el CIEMAT. Durante el tiempo que dura la irradiación el recipiente se sitúa en una mesa giratoria, a 43 cm del foco de irradiación de 300 KV y 10 mA, consiguiéndose una tasa de dosis uniforme de  $1,04 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ .

### *Análisis hematológicos en sangre periférica*

Mensualmente a cada uno de los animales identificado de forma individualizada, se le extrajo una muestra de sangre de la vena lateral de la cola, tras practicarle una pequeña incisión. Se utilizó EDTA 1M como anticoagulante. El volumen de sangre periférica extraído a cada animal vario entre 100 y 300  $\mu\text{l}$  en función del tipo de análisis realizado.

La cuantificación de parámetros hematológicos se realizó en un analizador Technitrom H.1 (Bayer), el cual proporciona información sobre: contenido de los distintos tipos de células maduras en sangre, fórmula leucocitaria, contenido de hemoglobina, tamaño y morfología celular, contenido de peroxidasa, porcentaje de células grandes de tipo blasto (% LUC), entre otros.

### *Preparación de suspensiones celulares*

Las suspensiones celulares de médula ósea se prepararon a partir de las tibias y los fémures. Para ello, se

perfundio medio IMDM (Iscove Modified Dulbecos Medium, Gibco) por el interior de los huesos con ayuda de una jeringa con aguja. Posteriormente, la suspensión se pasaba por una jeringa con aguja de 35mm para eliminar posibles agregados celulares.

Las suspensiones celulares de bazo y timo se realizaron disgregando estos órganos mecánicamente con ayuda de un homogeneizador Potter. Posteriormente, como en el caso de la médula ósea, las suspensiones se pasaban a través de una jeringa con aguja con objeto de eliminar posibles agregados celulares.

La concentración celular en cada una de las suspensiones se determinó mediante recuento en cámara de Newbauer.

### *Análisis fenotípico*

La cuantificación de las distintas subpoblaciones celulares presentes en los diferentes tejidos hematopoyéticos se realizó utilizando anticuerpos específicos de moléculas de superficie características de las subpoblaciones a estudiar. El protocolo utilizado permitió analizar dos moléculas de superficie de forma simultánea, al utilizarse anticuerpos unidos a dos fluorocromos diferentes (ficoeritrina (PE) y fluoresceína (FITC)). Brevemente, el protocolo experimental consistió en añadir a  $1 \times 10^6$  células de la suspensión a analizar 1  $\mu\text{g}$  de cada uno de los anticuerpos (conjugados con los fluorocromos correspondientes). Tras 30 minutos de incubación a  $4^\circ\text{C}$ , se realizaron 2 lavados con solución salina con objeto de retirar el anticuerpo que no se había unido o lo había hecho de forma inespecífi-

ca. Finalmente, utilizando el citómetro de flujo (Coulter) se determinó el porcentaje de las subpoblaciones celulares, en base a las moléculas de superficie analizadas.

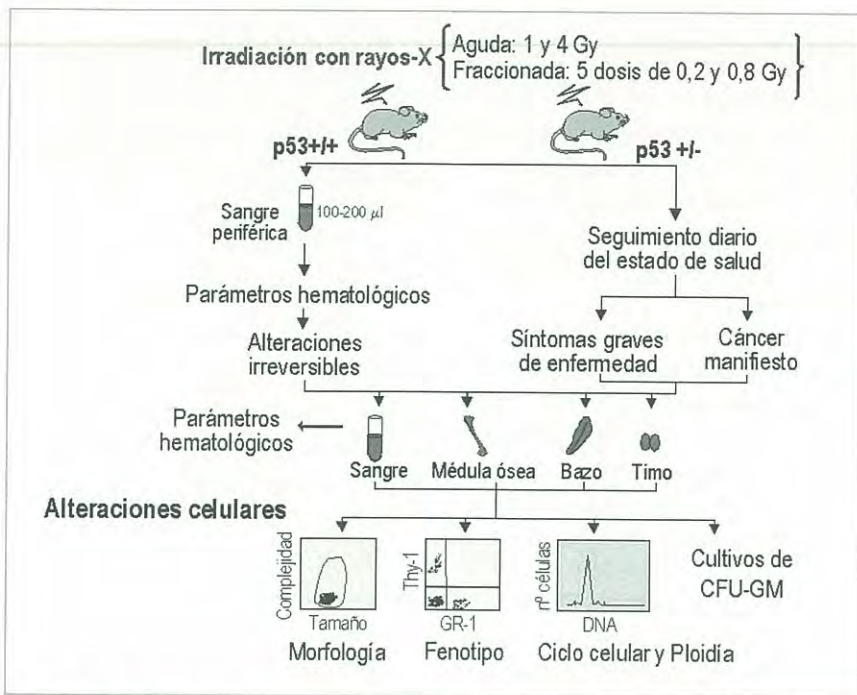
### *Estudio del contenido de DNA*

Para cuantificar el contenido de DNA en las células procedentes de los distintos tejidos hematopoyéticos se utilizó la técnica de marcaje con yoduro de propidio (IP), compuesto fluorescente que en determinadas condiciones experimentales se intercala en la molécula de DNA, de tal manera que la cantidad de IP que se une a la célula y por tanto la intensidad de fluorescencia que esta emite, es proporcional a su contenido de DNA. Para el marcaje con IP,  $1 \times 10^6$  células del tejido a analizar se incubaban 1 hora con etanol absoluto, para permeabilizar la membrana plasmática sin destruirla y así permitir la entrada hacia el núcleo de los reactivos necesarios para marcar el DNA. Una vez retirado el etanol, la suspensión se incubaba 30 minutos a  $37^\circ\text{C}$  con una solución de citrato sódico y ribonucleasa A, para posteriormente marcar con IP y determinar el contenido de DNA con ayuda del citómetro de flujo.

### *Análisis estadístico*

El estudio de significación estadística se realizó mediante el test *t* de Student. A partir del valor de *t* se calcula el nivel de significación (*p*), estableciéndose el criterio: significativo  $p < 0,05$  y no significativo  $p > 0,05$ .





**Figura 1.** Aproximación experimental para el estudio de incidencia de cáncer y periodos de latencia, y análisis de alteraciones celulares presentes en tejidos hematopoyéticos de animales con cáncer manifiesto o síntomas graves de enfermedad.

**Resultados**

En la figura 1 se muestra un esquema de la aproximación experimental seguida en los estudios de incidencia de cáncer y de análisis de alte-

raciones celulares presentes en los tejidos hematopoyéticos de animales que desarrollaron cáncer o mostraron síntomas graves de enfermedad. Ratones p53+/+ y p53 +/- fueron sometidos a dos pautas de irradia-

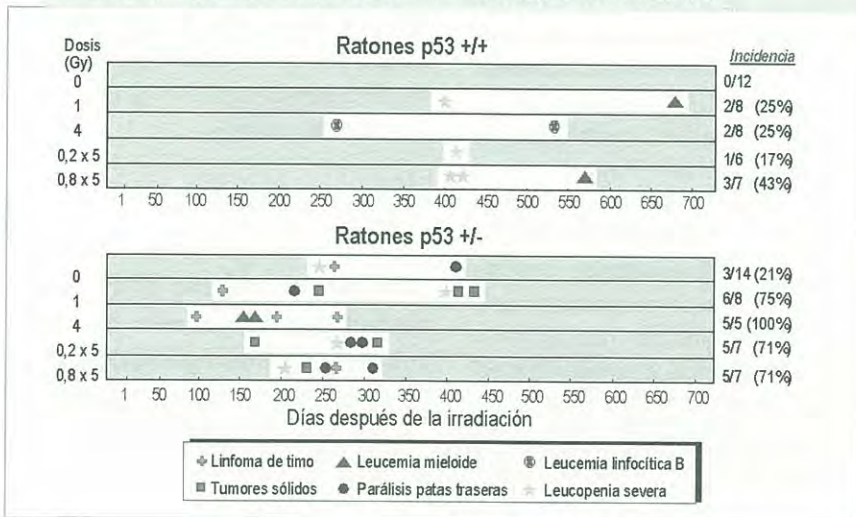
ción diferentes: aguda con dosis de 1 y 4 Gy; y fraccionada con dosis de 0,2 y 0,8 Gy, administrándose 1 fracción al día en 5 días consecutivos. Animales no irradiados de cada fenotipo fueron utilizados como control.

Los resultados de incidencia de cáncer mostraron que, como era de esperar en base a datos de la bibliografía, los ratones p53+/+ no irradiados no desarrollaron cáncer en los dos años de seguimiento que duró el estudio. La exposición a dosis agudas o fraccionadas de 1 y 4 Gy indujo el desarrollo de cáncer en ratones p53+/+, siendo la incidencia 1 de 8 de animales irradiados con 1 Gy, y 2 de 8 animales expuestos a 4 Gy (figura 2).

Los ratones heterocigotos para la mutación en p53 mostraron una mayor incidencia de cáncer que los ratones p53 +/+, en todas las condiciones estudiadas<sup>1</sup>. Así, 2 de los 14 animales p53+/- no irradiados desarrollaron cáncer. La exposición a radiación de estos animales hizo que prácticamente el 100% de ellos desarrollara cáncer, independientemente de la dosis y pauta de irradiación utilizada. Los cánceres desarrollados en ratones p53+/- fueron de tipo: linfoma de timo (6 de los 20 cánceres observados), leucemia mieloide (2 casos), parálisis de patas traseras<sup>2</sup> (6 casos) y tumores sólidos (6 casos). Además se detectaron 4 casos de leucopenia severa (figura 2).

El análisis de los periodos de latencia mostró que los animales p53+/-

**Figura 2.** Incidencia de cáncer en animales con p53 funcional (p53+/+) y heterocigotos para la mutación en p53 (p53+/-) tras exposición a distintas dosis y pautas de irradiación.



<sup>1</sup> En la incidencia de cáncer no se han considerado las leucopenias severas, al no poder concluir de forma rotunda con los datos disponibles que esta sintomatología fuera consecuencia del desarrollo de cáncer en el animal.





**Tabla I.**

Parámetros celulares analizados en los diferentes órganos hematopoyéticos de animales que desarrollaron cáncer como consecuencia de la exposición a radiación ionizante. En "negrita" se indica un aumento significativo respecto al valor control, en "subrayado" un descenso significativo y en "negrita subrayado" una modificación del parámetro señalado.

	Linfoma de Timo	Leucemia Mieloide	Leucemia Linfocit. B	Leucopenia Severa	Parálisis de patas
Parámetros Hematológicos	SP	SP	SP	SP	SP
Morfología	SP+MO+B+ <u>I</u>	<u>SP+MO+B+T</u>	<u>SP+MO+B+T</u>	<u>SP+MO+B+T</u>	<u>SP+MO+B+T</u>
Fenotipo Linfocitos T Thy-1 + CD4/CD8 CD3	SP+MO+B+T <u>SP+MO+B+T</u> SP+MO+B+T	SP+MO+B+T SP+MO+B+T	SP+MO+B+T <u>SP+MO+B+T</u> SP+MO+B+T	SP+MO+B+T	SP+MO+B+T
Linfocitos B B220+ Igs	SP+MO+B+T	SP+MO+B+T	SP+MO+B+T SP+MO+B+T	SP+MO+B+T	SP+MO+B+T
Células Mieloides GR-1+ c-kit+	SP+MO+B+T	SP+MO+B+T SP+MO+B+T	SP+MO+B+T SP+MO+B+T	SP+MO+B+T SP+MO+B+T	SP+MO+B+T SP+MO+B+T
Contenido DNA	SP+MO+B+T	SP+MO+B+T	SP+MO+B+T	SP+MO+B+T	SP+MO+B+T
CFU-GM	MO+B	MO+B	MO+B	<u>MO+B</u>	<u>MO+B</u>

SP: Sangre periférica MO: Médula ósea B: Bazo T: Timo

sometidos a irradiación aguda de 4 Gy desarrollaban cáncer tras un periodo de latencia medio significativamente inferior al de los animales no irradiados (173±28 días y 399±37 días, respectivamente). Las otras dosis y pautas de irradiación ensayadas no redujeron de manera significativa los periodos de latencia medios en animales p53+/-.

Como se muestra en la figura 1, en aquellos animales que desarrollaron cáncer o mostraron síntomas graves de enfermedad se realizó un análisis de alteraciones celulares presentes en sus tejidos hematopoyéticos (sangre periférica, médula ósea, bazo y timo). Así, se estudiaron: parámetros hematológicos en sangre (recuento total y diferencial de células), proporción de células de las principales

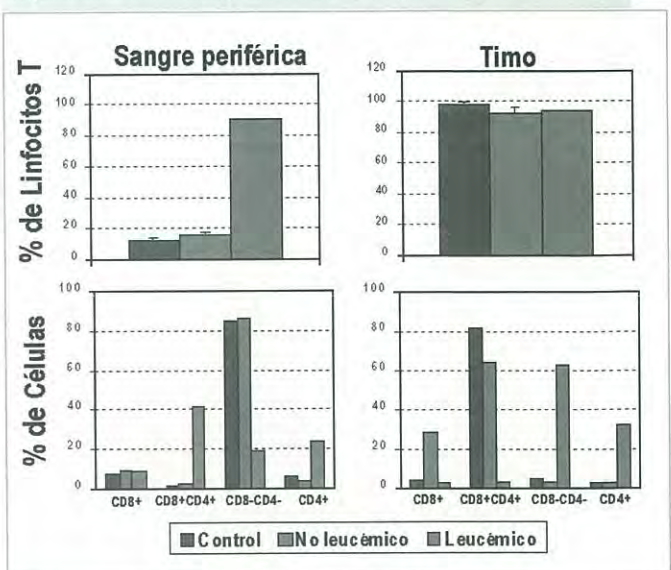
líneas de diferenciación hematopoyética (mieloide, linfocitos T y B) y de determinadas subpoblaciones en función del cáncer desarrollado en el animal, estado de ciclo celular (proporción de células en cada una de las etapas del ciclo de división) y ploidia de las células (indicador de inestabilidad genética).

En la tabla I se muestra el conjunto de parámetros analizados en los distintos órganos hematopoyéticos de los animales que desarrollaron cáncer hematológico o mostraron una sintomatología severa, indi-

cando aquellas alteraciones detectadas de forma repetitiva en los diferentes tipos de cáncer. Los resultados más relevantes se obtuvieron en los casos de linfoma de timo y leucemia mieloide.

En animales que desarrollaron linfoma de timo, los análisis de fenotipo celular utilizando anticuerpos específicos de subpoblaciones de células T (CD4, CD8 y CD3) permitieron conocer en que punto del proceso de diferenciación de linfocitos T en timo estaba teniendo lugar un bloqueo asociado al desarrollo de cáncer (figura 3). Los análisis de contenido de DNA en timo mostraron la presencia de poblaciones aneuploides y poliploides, existiendo un elevado porcentaje de células proliferando activamente en este órgano (figura 4). Esto sugería que el cáncer era muy agresivo y llevaba asociado una gran inestabilidad genética. Los valores de parámetros hematológicos en sangre periférica permitieron diferenciar dos tipos de

**Figura 3.** Análisis fenotípico de las poblaciones celulares de sangre periférica y timo de ratones control y con linfoma de timo (leucémico y no leucémico).



<sup>2</sup> La parálisis de patas traseras en los animales despertó un gran interés ya que puede deberse a: 1) desarrollo de osteosarcoma; 2) metástasis próxima a la médula espinal como consecuencia del desarrollo de una leucemia mieloide (7).



**Tabla II.**

Parámetros hematológicos en sangre periférica de ratones con leucemia mieloide el día que fueron sacrificados (valores por  $\mu$ l de sangre).

Ratones		Leucocit.	Eritro. ( $\times 10^6$ )	Plaquet. ( $\times 10^3$ )	%Neutrof.	%Linfici.	%LUC
p53+/-	0,8Gyx5	11.270	4,4	78	58,6	16,7	23,3
	1Gy	39.460	7,8	748	43,0	13,3	41,3
p53+/-	4Gy	45.340	6,1	1.117	85,3	8,2	3,0
Control	p53+/-	6.130 $\pm$ 225	8.9 $\pm$ 0,1	1.157 $\pm$ 20	15,2 $\pm$ 0,5	75,3 $\pm$ 0,6	2,0 $\pm$ 0,1
	p53+/-	8.700 $\pm$ 310	8.8 $\pm$ 0,1	1.209 $\pm$ 20	13,7 $\pm$ 0,7	76,0 $\pm$ 1,0	2,3 $\pm$ 0,1

linfoma de timo: leucémico y no leucémico.

En base a las alteraciones hematológicas detectadas en sangre periférica se diagnosticaron varios casos de leucemia mieloide (tabla II). Los análisis fenotípicos confirmaron que se trataba de un proceso leucémico que afectaba a la serie mieloide, al observarse un aumento significativo en células GR-1+ (la molécula GR-1 se expresa en células mieloides maduras y en proceso de maduración) (figura 5). Los resultados sugerían que los ratones p53+/- y p53+/- desarrollaban distintos subtipos de leucemia mieloide.

Los estudios sobre posibles indicadores tempranos del proceso carcinogénico, han rendido resultados interesantes en los casos de leucemia mieloide detectados. En aquellos animales que acabaron desarrollando leucemia mieloide tras la irradiación, los análisis de seguimiento realizados mensualmente en sangre periférica permitieron detectar valores anormalmente altos de leucocitos, junto con una descompensación en la proporción de neutrófilos y linfocitos respecto a los controles. Dichas alteraciones fueron detectadas 2-4 meses antes de que el animal tuviera que ser sacrificado por

mostrar síntomas graves de enfermedad debido a la leucemia desarrollada. Desde el momento que fueron detectados hasta la aparición de una sintomatología severa, dichas alteraciones sufrieron una evolución temporal, agravándose con el tiempo (tabla III).

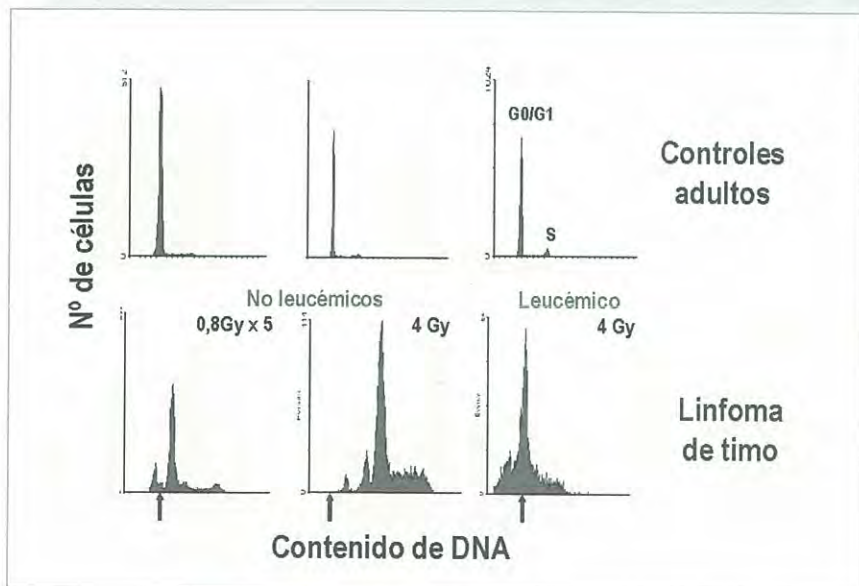
**Conclusiones**

Globalmente los resultados obtenidos muestran que el modelo experimental de ratones heterocigotos para la mutación en el gen p53, es de utilidad para profundizar en el conocimiento de los efectos carcinogénicos de la radiación ionizante sobre el sistema hematopoyético, al mostrar una elevada susceptibilidad a desarrollar cáncer radioinducido, con periodos de latencia considerablemente menores a los requeridos en ratones normales para p53.

La aplicación de técnicas de citometría de flujo ofrece grandes posibilidades para la caracterización de alteraciones cuantitativas y cualitativas de las poblaciones celulares afectadas en el proceso carcinogénico, así como para el estudio de alteraciones en procesos celulares importantes para mantener la homeostasis de los tejidos, como son el estado proliferativo o la inestabilidad genética y la importancia de dichos procesos en el desarrollo carcinogénico.

Los estudios de fenotipo celular no solo han permitido caracterizar las poblaciones afectadas en los diferentes tipos de cánceres hematológicos, sino que también han sido de gran utilidad para el diagnóstico de determinados cánceres. En este sentido, actualmente se está planteando en oncología clínica el uso de técnicas de citometría de flujo como

**Figura 4.** Análisis de contenido de DNA en las poblaciones celulares de timo de animales control y con linfoma de timo.







**Tabla III.**

Evolución temporal de las alteraciones hematológicas en sangre periférica hasta el desarrollo de una leucemia mieloide manifiesta. (d): día en que el animal fue sacrificado.

Parámetros hematológicos	p53+/+ (1 Gy)						Control p53+/+
	-154 d	-121 d	-85 d	-57 d	-23 d	0 d	
Leucocitos ( $\times 10^{-3}$ )	6,1	10,3	11,6	12,2	15,5	39,5	8,7 $\pm$ 0,3
Eritrocitos ( $\times 10^{-6}$ )	8,7	7,7	7,1	9,7	9,7	7,8	8,8 $\pm$ 0,1
Plaquetas ( $\times 10^{-3}$ )	1.017	982	—	—	517	748	1.209 $\pm$ 20
Neutrófilos (%)	19,7	30,0	33,8	33,2	30,8	43,0	13,7 $\pm$ 0,7
Linfocitos (%)	66,7	58,8	50,3	53,7	46,8	13,3	76,0 $\pm$ 1,0

Parámetros hematológicos	p53+/- (4 Gy)					Control p53+/-
	-100 d	-73 d	-40 d	-5 d	0 d	
Leucocitos ( $\times 10^{-3}$ )	7,8	3,6	17,8	58,5	45,3	8,7 $\pm$ 0,3
Eritrocitos ( $\times 10^{-6}$ )	9,4	8,5	6,1	7,1	6,1	8,8 $\pm$ 0,1
Plaquetas ( $\times 10^{-3}$ )	966	846	1.274	1.226	1.117	1.209 $\pm$ 20
Neutrófilos (%)	23,6	42,9	12,6	87,3	85,3	13,7 $\pm$ 0,7
Linfocitos (%)	66,6	46,3	19,1	7,6	8,2	76,0 $\pm$ 1,0

alternativa a las técnicas clásicas de histopatología, a la hora de diagnosticar cánceres hematológicos (8).

Finalmente, resaltar los resultados obtenidos en relación con posibles indicadores tempranos del proceso

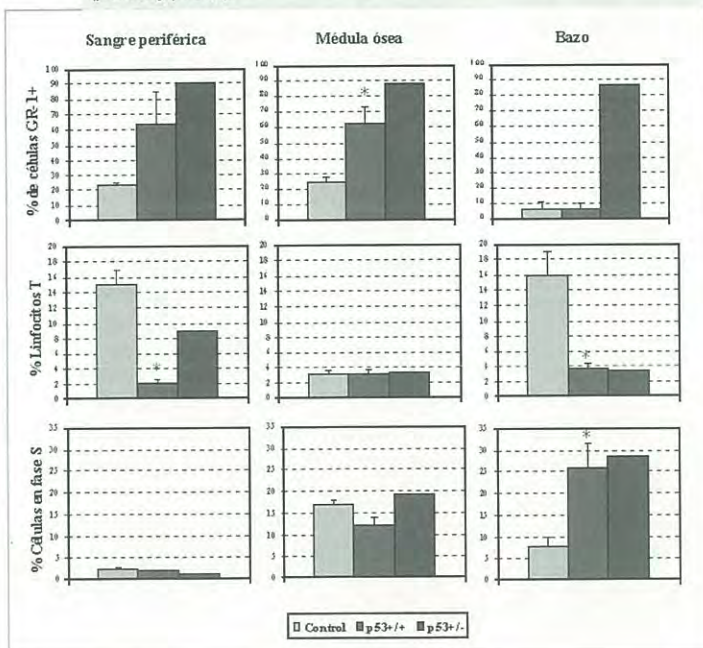
carcinogénico, en concreto de leucemias mieloides. La caracterización de parámetros adecuados como indicadores tempranos del proceso neoplásico, podría ser de utilidad para el estudio del riesgo carcinogénico asociado con la exposición a dosis bajas de radiación, al permitir detectar estados pre-

neoplásicos, previos al desarrollo manifiesto del cáncer. En la actualidad se están realizando estudios mas completos relacionados con posibles indicadores tempranos de cáncer, en los que se esta haciendo un seguimiento mensual en sangre periférica de animales irradiados, no solo de parámetros hematológicos sino también de parámetros fenotípicos, de ciclo celular y ploidia. En relación con esta ultima, no hay que olvidar que refleja inestabilidad genética, fenómeno relacionado con el desarrollo de cáncer (9).

### Referencias

1. Academie des sciences, 1995
2. Wallinder, 1995
3. Cox R. (1994). Molecular mechanisms of radiation oncogenesis. *Int. J. Rad. Biol.* 65:57-64.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Models, mechanisms and uncertainties at low doses. (1997). A/AC.82/R.576. United Nations General Assembly.
5. Donehower L.A., Harvey M., Slagle B.L., Mc Arthur M.J., Montgomery C.A. Butel J.S., Bradley A. (1992). Mice deficient for p53 are developmentally normal but susceptible to spontaneous tumours. *Nature* 356:21-221
6. Kemp C.J., Wheldon T., Balmain A. (1994). p53-deficient mice are extremely susceptible to radiation-induced tumorigenesis. *Nature Genetics* 8:66-69.
7. Kamps M.P., Baltimore D. (1993). E2A-Pbx1, the t(1;19) translocation protein of human pre-B-cell acute lymphocytic leukemia, causes acute myeloid leukemia in mice. *Mol Cell Biol* 13(1):351-357.
8. Jennings C.D., Foon K.A. (1997). Recent advances in flow cytometry: Application to the diagnosis of hematologic malignancy. *Blood* 90(8):2863-2892.
9. Morgan W.F., Day J.P., McGhee E.M., Limoli C.L. (1996). Genome instability induced by ionizing radiation. *Rad. Res.* 146:247-258.

**Figura 5.** Análisis fenotípico en las poblaciones celulares de sangre periférica, medula ósea y bazo de animales control y con leucemia mieloide (p53+/+ y p53+/-).





# NOTICIAS de ESPAÑA

## 5º Programa Marco de la UE.

### Programa Específico de EURATOM. Acción Clave: Fisión Nuclear

*Nota: La información que se presenta a continuación está extraída del Programa de Trabajo, preparado por la Comisión Europea, base de la próxima convocatoria de propuestas de investigación al 5º Programa Marco en el campo de la Energía Nuclear.*

El Programa específico "Research and training programme in the field of nuclear energy (EURATOM)", que formará parte del 5º Programa Marco de la UE (1999 - 2002), comprende dos acciones claves, fisión termonuclear controlada y fisión, investigación genérica sobre "ciencias radiológicas" y apoyo a la infraestructura necesaria para la investigación.

Los aspectos de Protección Radiológica dentro del programa están contenidos, en función de los objetivos perseguidos, dentro de la acción clave de fisión y en la llamada investigación genérica sobre "ciencias radiológicas".

Los objetivos a cubrir en la parte de incluida en la acción clave de fisión son ayudar a los operadores y autoridades reguladoras a proteger a los trabajadores, el público y el medio ambiente durante las operaciones del ciclo de combustible nuclear, a gestionar los accidentes nucleares y las emergencias radiológicas y a restaurar los ecosistemas contaminados. En esta parte del programa se establecen las siguientes prioridades, enmarcadas en los siguientes cuatro apartados:

- *Gestión de riesgos*

El objetivo es desarrollar nuevas aproximaciones para la "governabilidad" de

riesgos (por ejemplo, procesos de evaluación, gestión y regulación) que sean más eficientes y capaces de ganar en credibilidad y confianza respecto al público.

- *Monitorización y evaluación de la exposición ocupacional*

Los objetivos son mejorar la monitorización y evaluación de las exposiciones a la radiación en los lugares de trabajo, proporcionando una mejor protección y un mejor uso de los recursos humanos.

Exposición externa. Desarrollo de monitores individuales activos para exposición a campos complejos de radiación (p.e. neutrones más gamma) que puedan encontrarse en el ciclo de combustible y de métodos de evaluación de dosis en el puesto de trabajo que puedan usarse para mejorar el diseño y las operaciones.

Exposición interna. Desarrollo de técnicas de monitorización "in vivo" y bioensayos más rápidos y fiables, mejor monitorización operativa de incorporaciones individuales y métodos para la optimización de exposiciones internas.

- *Gestión de las emergencias en el exterior de las instalaciones*

El objetivo es mejorar la eficacia y coherencia de la gestión de las emergencias en el exterior de las instalaciones en Europa.

Ayuda a la decisión. Desarrollo de herramientas de ayuda a la decisión, de mejores métodos de predicción de emisiones al medio, de asimilación de la información disponible, de manejo de incertidumbres y de gestión de pronósticos dispares de dispersión atmosférica a media y larga distancia.

Monitorización ambiental. Desarrollo de

estrategias de monitorización y de técnicas capaces de proporcionar mejor información, más rápida, fiable y costoeficaz para el proceso de decisión.

- *Restauración y gestión a largo plazo de medios contaminados*

El objetivo es desarrollar estrategias y tecnologías aplicables para la gestión sostenible de ecosistemas rurales, urbanos e industriales contaminados como consecuencia de accidentes nucleares. El desarrollo de estrategias debe basarse en el conocimiento científico existente y teniendo en cuenta la perspectiva reguladora, los factores sociales y políticos y otras consideraciones prácticas (p.e. aceptación pública, practicabilidad a escala industrial, etc.). El desarrollo y ensayo de tecnologías debe considerar el potencial para su explotación a escala industrial y la restauración del valor económico, de manera sostenible, de extensas áreas contaminadas.

Los objetivos dentro de la investigación genérica sobre "ciencias radiológicas" son consolidar el avance del conocimiento y competencia europeos en este campo, esenciales para la seguridad y el uso competitivo de la fisión nuclear y otros usos industriales y médicos de la radiación ionizante, incluyendo la gestión de las fuentes naturales de radiación. La investigación deberá también contribuir a la implantación de Normas Básicas de Seguridad en el área de Protección Radiológica. Las prioridades son:

- *Protección Radiológica y Salud*

Los objetivos son conseguir una profunda comprensión de los mecanismos que conducen a efectos sobre la salud producidos por la radiación, desarrollar herramientas para identificar individuos con un potencial superior de riesgo frente a la radiación y mejorar la cuantificación de los riesgos de la radiación a bajas dosis y bajas tasas de dosis a través de una combinación de aproximaciones experimentales y teóricas radiobiológicas y epidemiológicas. En esta temática se contemplan las siguientes líneas de investigación:



• Inducción y reparación del daño en el DNA.

• Efectos sobre la salud por daño en el genoma y predisposición al cáncer.

• Epidemiología y modelización del proceso de cáncer.

• Tratamiento del daño causado por la radiación. (Correlación entre la maduración de células madre, la sensibilidad a la radiación y la respuesta a la estimulación por el factor de crecimiento. Mecanismos implicados en la respuesta inflamatoria a la exposición a la radiación. Identificación y mejora de las consecuencias a largo plazo del daño por radiación.)

- Transferencia ambiental de los materiales radiactivos

El objetivo es mejorar el conocimiento del comportamiento de los radionucleidos en el medio ambiente, con el fin de desarrollar buenas prácticas en la gestión del impacto de las fuentes naturales y artificiales de radiación sobre el hombre y el medio. Las líneas de investigación contempladas son:

• Biodisponibilidad, redistribución ambiental y modelización.

• Comportamiento de radionucleidos en ecosistemas acuáticos.

• Bases metodológicas y conceptuales para la restauración e influencia de otros contaminantes.

- Usos médicos e industriales y fuentes naturales de radiación

Se pretende proseguir el desarrollo de métodos para la optimización del uso de la radiación en medicina, la investigación y/o desarrollo de nuevas técnicas de diagnóstico que ofrezcan ventajas en términos de coste, mejor diagnóstico y reducción de la exposición, así como el desarrollo de aproximaciones prácticas para la optimización de la protección radiológica en los usos industriales no nucleares de la radiación.

En cuanto a las fuentes naturales de radiación la prioridad se centrará en la evaluación de las exposiciones debidas a prácticas que impliquen modificación tecnológica de materiales radiactivos naturales, incluyendo el desarrollo de apro-

ximaciones para su gestión efectiva. También se priorizarán los estudios conducentes a un mejor conocimiento de las propiedades de los productos de desintegración del radón y a la evaluación de las medidas para la reducción de dosis y de la exposición a la radiación cósmica de tripulaciones aéreas.

- Dosimetría externa e interna

Los objetivos son mejorar los métodos de evaluación de exposiciones a la radiación externas e internas y proseguir el desarrollo de técnicas de dosimetría retrospectiva. Las líneas contempladas son, por tanto:

• Dosimetría de radionucleidos incorporados al organismo humano.

• Técnicas innovadoras para dosimetría externa.

• Dosimetría retrospectiva.

En España se ha creado el "Grupo de Coordinación de Fisión" para promover la participación española en el 5º Programa Marco, cuya composición es la siguiente:

#### **Coordinador General:**

*José M. Martínez-Val.*

OCYT-UPM

(fax 91 336 30 79)

#### **Seguridad Nuclear:**

*José I. Villadóniga.*

CSN (fax 91 346 05 88)

#### **Conceptos Evolutivos:**

*Manuel Marco.*

DTN (fax 91 593 49 37)

#### **Gestión y Almacenamiento de Residuos:**

*Julio Astudillo.*

ENRESA (fax 91 566 81 56)

#### **Protección Radiológica:**

*José Gutiérrez.*

CIEMAT (fax 91 346 61 21)

#### **Usos Médicos de la Radiación Ionizante:**

*Eliseo Vañó.*

UCM (fax 91 394 16 75)

E mail: edicomplet@medynet.com

## **Simposio Internacional sobre Técnicas ALARA del ISOE**



Los pasados días 31 de enero a 3 de febrero se celebró en Orlando el tercer Simposio internacional sobre técnicas ALARA, organizado por el Centro Técnico Americano del Sistema de Información sobre Exposiciones Ocupacionales (ISOE). Este sistema, promocionado por la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (NEA) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) tiene como objetivo servir de foro de intercambio de información sobre técnicas de optimización de las dosis de los trabajadores expuestos de la industria nuclear, tanto para centrales en operación como en desmantelamiento.

En este Simposio se discutieron las nuevas tendencias en este campo que van, por una parte, hacia la definición de nuevos indicadores que realmente representen los esfuerzos de optimización de las dosis colectivas en las centrales y al desarrollo de nuevos sistemas de control y comunicación para la vigilancia centralizada de los trabajos. Los efectos del alargamiento de los ciclos de combustible sobre el termino fuente, y las experiencias de descontaminación también cubrieron un apartado importante de las discusiones. Finalmente, de mucho interés fueron las presentaciones sobre desmantelamiento de instalaciones del ciclo de combustible que se están llevando a cabo en Estados Unidos, y las técnicas de optimización empleadas en las situaciones singulares que se dan en estas operaciones.

Entre los actos sociales del Simposio destaca la entrega de la mención a la central americana que más esfuerzos ha realizado para la optimización de la



exposición por el Centro Técnico Americano, momento que recoge la fotografía.

Si se desea más información sobre las ponencias presentadas, se ruega ponerse en contacto con Pío Carmena (Teléfono: 915674963 ó e-mail: pio@unesa.es)

### Reunión del comité 3 de la ICRP



Los pasados 27 y 28 de febrero, se reunió en el Hospital Clínico San Carlos de Madrid el Grupo de Trabajo del Comité 3 de ICRP sobre "Avoidance of Deterministic Effects on Interventional Radiology", para discutir el primer borrador del documento que están elaborando.

Los miembros permanentes del Grupo son: C. Sharp, Presidente, (Reino Unido), K. Faulkner (Reino Unido), M. Wücherer (Alemania), H. Nakamura (Japón) y E. Vañó (España).

Eliseo Vañó Carruana, Jefe del Servicio de Física Médica del Hospital Clínico San Carlos y Catedrático de Física Médica de la Universidad Complutense de Madrid, es miembro permanente de este grupo de trabajo desde diciembre de 1997.

### Normas UNE para la medida de la Radiactividad Ambiental

Recientemente se ha creado un grupo de trabajo sobre normativa, coordinado por el Consejo de Seguridad Nuclear, para la elaboración de procedimientos de medida de la radiactividad ambiental.

Dicho grupo integrará sus trabajos en AENOR dentro del Subcomité 03 (protección radiológica, seguridad nuclear y medio ambiente) del Comité Técnico Nuclear CTN-73, con objeto de que sean publicados como normas UNE.

Esta iniciativa ha surgido al identificarse en los resultados obtenidos en las redes de vigilancia radiológica ambiental y en las campañas de intercomparación analítica organizadas anualmente por el Consejo, diferencias en los resultados achacables a una cierta dispersión en la metodología empleada por cada laboratorio. En la reunión celebrada en Octubre de 1998 entre el Consejo y los laboratorios que realizan medidas de radiactividad ambiental, se constituyeron tres grupos de Trabajo: Patrones, Incertidumbres y Normativa, áreas consideradas prioritarias, como se puso de manifiesto en las Jornadas Técnicas sobre "Calidad en el control de la radiactividad ambiental", celebradas en Bilbao en septiembre último; estos grupos han iniciado ya sus actividades, manteniendo diversas reuniones.

El Grupo de Normas ha mantenido ya dos reuniones, la primera de constitución y definición de sus actividades y la segunda para establecer un plan de trabajo, poniéndose de manifiesto desde el primer momento el interés de que este grupo realizase sus actividades de una forma coordinada con AENOR. El objetivo del grupo es elaborar procedimientos normalizados para la determinación y medida de la radiactividad en muestras ambientales. Se pretende ofrecer un conjunto completo de procedimientos de muestreo, análisis y medida que recoja la mejor práctica existente en España y que al ser común a todos los laboratorios asegure la uniformidad de métodos y consecuentemente mejore la calidad de los resultados y su comparabilidad.

De acuerdo con este objetivo, en la segunda reunión del Grupo de Normas se han constituido 4 Subgrupos, coordinados, a través de una persona que actúa como enlace, con el Subcomité 03 de AENOR; sus cometidos son:

**MUESTREO.** Este subgrupo se encargará de la preparación de normas relacionadas con la recogida de muestras.

**PRESERVACIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS.** Este subgrupo será el encargado de las normas UNE que reflejen las mejores prácticas en conservación y preparación física de las muestras.

**ANÁLISIS.** Dedicado a normalizar las distintas metodologías analíticas incluyendo los procedimientos de separaciones radioquímicas.

**EQUIPOS Y MEDIDAS.** Este subgrupo será el encargado de normalizar aquellos procedimientos relacionados con la medida radiactiva incluyendo los aspectos relacionados con la calibración y el mantenimiento de los equipos.

Se han integrado en estos subgrupos expertos de los laboratorios de las Universidades del País Vasco, Extremadura, Valencia, Sevilla, Barcelona y Politécnica de Cataluña, de las centrales nucleares de Trillo, Garoña y Ascó, de ENRESA, de GEOCISA, del CIEMAT y de ENUSA. El plan de trabajo para este año consiste en completar el proceso de muestreo y medida de estroncios en muestras de suelos, la determinación de actividades alfa y beta en muestras de agua y la espectrometría gamma.

Los laboratorios que participan en las campañas del Consejo, en total unos 30, entre los que se encuentran los de la red REVIRA del Consejo y los que realizan los Planes de Vigilancia Radiológica Ambiental de las Centrales Nucleares, son informados periódicamente de estas actividades, recabándose su participación, a través del coordinador del Grupos de Normas, que mantiene también contacto regular con los coordinadores de los grupos de Incertidumbres y patrones radiactivos.

Aquellos laboratorios interesados en incorporarse al Grupo o quienes deseen mayor información al respecto pueden ponerse en contacto con el Secretario del Subcomité 03 de Aenor D. Jerónimo Iñiguez de UNESA en la siguiente dirección:

UNIDAD ELÉCTRICA, S.A.  
c/ Francisco Gervás, 3  
28020 MADRID  
Tlf: 91-5674957  
e-mail: pio@unesa.es



## Nuevas directrices para la limitación de la exposición a campos electromagnéticos

La Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) ha publicado en el segundo semestre del pasado año 1998 las primeras recomendaciones internacionales que limitan la exposición a campos electromagnéticos (CEM) variables de hasta 300 GHz. Estas recomendaciones que llevan por título "Directrices para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos Variables con el Tiempo (hasta 300 GHz)" sustituyen a previas recomendaciones de IRPA/INIRC de 1988 y 1990 que trataban respectivamente de la exposición a campos electromagnéticos variables de alta frecuencia y a campos de 50/60 Hz. Siguen siendo válidas las recomendaciones de ICNIRP referentes a campos estáticos que datan de 1994. El documento es un texto extenso que se resume a continuación.

Se presentan dos clases de directrices:

- Las *Restricciones Básicas* que limitan la exposición a CEM y están relacionadas con los efectos agudos observables y predecibles a la salud, y

- Los *Niveles de Referencia* que se establecen para evaluar a efectos prácticos las limitaciones de exposición. El cumplimiento de los niveles de referencia asegura el cumplimiento con las restricciones básicas pertinentes. La superación de un nivel de referencia no significa de forma automática que la restricción básica ha sido superada, pero si obliga a revisar las medidas de protección y a verificar el cumplimiento con las restricciones.

Las directrices constan de las siguientes partes:

- *Magnitudes y Unidades.* Aquí se da un breve repaso a las magnitudes y unidades más importantes con respecto a los CEM, tales como la densidad de flujo magnético, la intensidad de los campos eléctricos y magnéticos, la densidad de potencia y la densidad de corriente.

- *Fundamentos Biológicos para Limitar la Exposición a los CEM.* En este breve apartado se indica que las directrices se basan únicamente en los efectos biológicos

cos conocidos inmediatos de los CEM (estimulación de nervios y músculos periféricos, shocks y quemaduras por contacto con los elementos conductores y elevación de la temperatura corporal). Se indica también que en cuanto a efectos a largo plazo, es decir aumento del riesgo de cáncer, no existen datos concluyentes que permitan establecer restricciones a la exposición a CEM.

- *Mecanismos de Acoplamiento entre los CEM y el Cuerpo Humano.* El texto describe los tres mecanismos básicos de interacción entre los CEM y el organismo: acoplamiento con campos eléctricos de baja frecuencia, acoplamiento con campos magnéticos de baja frecuencia, y absorción de energía de los campos electromagnéticos. Respecto a este último caso, los CEM se dividen en cuatro categorías: Campos con frecuencias desde 100 kHz a 20 MHz (absorción en nuca y

**TABLA 1.** Restricciones Básicas para CEM de frecuencias menores de 10 GHz

Tipo de Exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de corriente para la cabeza y el tronco (mA m <sup>-2</sup> )(rms)	SAR promedio para Todo el Cuerpo (W kg <sup>-1</sup> )	SAR localizada (cabeza y tronco) (W kg <sup>-1</sup> )	SAR localizada (diferentes miembros) (W kg <sup>-1</sup> )
Exposición Profesional	Hasta 1 Hz	40	----	----	----
	1 - 4 Hz	40/f	----	----	----
	4 Hz - 1 kHz	10	----	----	----
	1 - 100 kHz	f/100	----	----	----
	100 kHz-10 MHz	f/100	0,4	10	20
	10 MHz-10 GHz	----	0,4	10	20
Exposición del Público	Hasta 1 Hz	8	----	----	----
	1 - 4 Hz	8/f	----	----	----
	4 Hz - 1 kHz	2	----	----	----
	1 - 100 kHz	f/500	----	----	----
	100 kHz-10 MHz	f/500	0,08	2	4
	10 MHz -10 GHz	----	0,08	2	4

f = Frecuencia en Hz

**TABLA 2.** Restricciones Básicas de Densidad de Potencia para CEM de frecuencias entre de 10 GHz y 300 GHz

Tipo de Exposición	Densidad de Potencia (W m <sup>-2</sup> )
Exposición Ocupacional	50
Exposición del Público	10



**TABLA 3.** Niveles de Referencia para Exposición Profesional a CEM (valores rms no perturbados)

Rango de Frecuencias	Intensidad del Campo Eléctrico E (V m <sup>-1</sup> )	Intensidad del Campo Magnético H (A m <sup>-1</sup> )	Densidad de Flujo Magnético B (μT)	Densidad de Potencia de la Onda Plana Equivalente S <sub>eq</sub> (W m <sup>-2</sup> )
Hasta 1 Hz	----	1,63 x 105	2 x 105	----
1 - 8 Hz	20000	1,63 x 105/f <sup>2</sup>	2 x 105/f <sup>2</sup>	----
8 - 25 Hz	20000	2 x 104/f	2,5 x 104/f	----
0,025-0,82 kHz	500 /f	20/f	25/f	----
0,82-65 kHz	610	24,4	30,7	----
0,065-1 MHz	610	1,6/f	2,0/f	----
1-10 MHz	610/f	1,6/f	2,0/f	----
10-400 MHz	61	0,16	0,2	10
400-2000 MHz	3f/2	0,008f/2	0,01f/2	f/40
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50

**TABLA 4.** Niveles de Referencia para Exposición del Público a CEM (valores rms no perturbados)

Rango de Frecuencias	Intensidad del Campo Eléctrico E (V m <sup>-1</sup> )	Intensidad del Campo Magnético H (A m <sup>-1</sup> )	Densidad de Flujo Magnético B (μT)	Densidad de Potencia de la Onda Plana Equivalente S <sub>eq</sub> (W m <sup>-2</sup> )
Hasta 1 Hz	----	3,2 x 10 <sup>4</sup>	4 x 10 <sup>4</sup>	----
1 - 8 Hz	10000	3,2 x 10 <sup>4</sup> /f <sup>2</sup>	4 x 10 <sup>4</sup> /f <sup>2</sup>	----
8 - 25 Hz	10000	4000/f	5000/f	----
0,025-0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	----
0,8-3 kHz	250/f	5	6,25	----
3-150 kHz	87	5	6,25	----
0,15-1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	----
1-10 MHz	87/f <sup>1/2</sup>	0,73/f	0,92/f	----
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2000 MHz	1,375f <sup>1/2</sup>	0,0037f <sup>1/2</sup>	0,0046f <sup>1/2</sup>	f/200
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

piernas), entre 20 MHz y 300 MHz (absorción en todo el cuerpo), entre 300 MHz y varios GHz (absorción local) y campos con frecuencias mayores de 10 GHz (absorción en la superficie del cuerpo).

• *Fundamentos Biológicos para la Limitación de la Exposición (hasta 100 kHz).* El texto hace una extensa revisión de la literatura referente a los efectos biológicos de los CEM hasta 100 kHz

para los que el mecanismo básico de interacción es la inducción de corrientes en los tejidos. Las directrices dividen los efectos en directos e indirectos (entrada en contacto con un objeto cargado). La revisión bibliográfica es muy extensa para los primeros, para los que cita estudios epidemiológicos sobre mujeres embarazadas y de cáncer en zonas residenciales, exposición profesional, estudios con voluntarios y estudios a nivel celular y animal.

• *Fundamentos Biológicos para la Limitación de la Exposición (desde 100 kHz a 300 GHz).* El texto hace de nuevo una exhaustiva revisión de la literatura referente a los efectos biológicos de los CEM desde 100 kHz a 300 GHz. De nuevo se dividen los efectos en directos e indirectos (entrada en contacto con un objeto cargado). Y al igual que en el caso anterior, la revisión bibliográfica es muy extensa para los primeros, para los que cita estudios epidemiológicos en mujeres embarazadas y de cáncer, estudios con voluntarios, estudios a nivel celular y animal. Aquí se hace una consideración especial con referencia a los campos de microondas pulsantes.

• *Directrices para la Limitación de la Exposición.* Las restricciones de la exposición se cuantifican en función de la frecuencia en densidad de corriente, SAR (tasa de absorción de energía específica) y densidad de potencia. Se reconoce a su vez que la escasa información biológica sobre los efectos de los CEM resta rigurosidad a los factores de seguridad establecidos en el rango de frecuencias considerado.

Entre 1 Hz y 10 MHz la exposición se limita sobre la densidad de corriente para prevenir efectos sobre el sistema nervioso. Entre 100 kHz y 10 GHz las restricciones de la exposición se basan en la SAR para prevenir el calentamiento del cuerpo, aunque entre 100 kHz y 10 MHz se limitan tanto la SAR como la densidad de corriente. Por último entre 10 y 300 GHz la exposición se limita restringiendo la densidad de potencia.

Las tablas resumen los valores más relevantes de los límites de exposición recomendados a CEM.

Finalmente estas directrices dan valores para limitar la exposición a corrientes inducidas y de contacto y para la exposición simultánea a CEM de diferentes frecuencias.

**NOTA DE RADIOPROTECCIÓN:** Se han criticado estas directrices desde diversos puntos de vista por incluir factores de seguridad cuya verificación científica no



está probada, por no aclarar qué modelos dosimétricos se han utilizado para calcular los niveles de referencia y por eliminar de su anterior directriz el factor tiempo en exposiciones de corta duración. Estas críticas y las respuestas a las mismas se pueden encontrar en *Health Physics* 75(4), 438-439 - 1998.

## Incidente radiológico en Turquía

El pasado 8 de Enero de 1999 ocurrió un incidente radiológico en Turquía, en la ciudad de Ikitelli en las afueras de Estambul que ha sido clasificado de nivel 3 en la Escala INES del OIEA. El suceso se produjo al perderse una fuente radiactiva de Co-60 de 88 Curios, probablemente procedente de usos terapéuticos, y aparecer en un vertedero de basuras metálicas. La fuente apareció rota pero la cápsula estaba intacta. La zona se acordonó y la fuente se trasladó a un centro de investigación nuclear. Como consecuencia de este hecho 5 personas han sido seriamente irradiadas con dosis entre 3 y 6 Gy y han sido tratadas en hospitales en zonas aisladas. Otras 5 personas, que también fueron hospitalizadas, recibieron dosis menores, cuatro de ellas entre 1 y 2 Gy, y una entre 2 y 4 Gy. Sólo una persona parece presentar signos de quemaduras producidas por la radiación. Las heridas están en dos dedos y se ha estimado que son debidas a una dosis absorbida de algo menos de 20 Gy aunque no se espera que haya que amputarlos. Todavía no se conocen las causas que hicieron que la fuente acabara en un vertedero. Las explicaciones dadas por el propietario de la fuente han sido muy confusas.

## Accidente radiológico en Perú con una fuente de gammagrafía industrial

Un trabajador en Perú ha sido gravemente irradiado y otros cinco, 4 miembros de su familia y un compañero de trabajo, han tenido exposiciones altas en un accidente con una fuente industrial. El

accidente ha sido catalogado de nivel 3 en la escala INES del OIEA (Escala Internacional de Sucesos Nucleares).

Las autoridades peruanas reconocen que la clasificación del suceso es alta en comparación con otros incidentes nucleares, pero se ha clasificado de esta forma por las consecuencias sufridas por personas ajenas a la fuente.

El accidente sucedió el sábado 20 de Febrero, durante los trabajos que se efectuaban en la central hidroeléctrica de Yanango, en el distrito de San Ramón (Departamento de Junín), a unos 300 km. de Lima, en el centro del país, cuando un operario de 37 años que desempeñaba labores de soldador en una empresa contratista, encontró una fuente radiactiva de Iridio 192 de 1360 GBq (36,75 Ci) en el suelo fuera de su contenedor que había sido utilizada en trabajos de gammagrafía, y por desconocer de que se trataba la guardó en el bolsillo posterior de su pantalón durante unas 6 horas, prosiguiendo así con su trabajo en compañía de un ayudante que estuvo a una distancia de 1,5 metros aproximadamente.

Posteriormente el trabajador se trasladó a su casa durante media hora en un microbús donde se encontraban 15 personas. En su casa estaba su esposa y 3 hijos menores.

El operador de la fuente comunicó su desaparición 6 horas después de ocurrido y la fuente se encontró 2 horas después.

Esta situación fue reportada al IPEN al día siguiente de lo ocurrido, disponiéndose la inmediata hospitalización del trabajador en el Instituto de Enfermedades Neoplásicas (INEN), para la atención médica correspondiente.

De las investigaciones preliminares efectuadas por el IPEN, se ha determinado que el trabajador recibió una dosis al menos de 50 Gy lo que ha comprometido seriamente los tejidos de la zona irradiada y quizás su vida. El trabajador está en tratamiento hospitalario. Para el resto de los cinco afectados se ha estimado una dosis de 1 Gy y hasta ahora no se ha encontrado en ninguno de ellos signos de anomalía.

El equipo de gammagrafía industrial (SPEC, 2-T) que pertenecía a la empresa BECO S.A., fue dejado en el lugar de

trabajo sin custodia alguna y debido a esta infracción sobre la seguridad de las fuentes de radiación, la Autoridad Nacional (IPEN) ha dispuesto la suspensión inmediata a la citada empresa de la licencia de instalación para trabajar con radiaciones ionizantes.

*Fuente: Nuc-Net y Sociedad Peruana de Protección Radiológica*

## Incidente radiológico en Tricastin

Un incidente radiológico catalogado como de Nivel 2 en la escala INES (Escala Internacional de Sucesos Nucleares) del OIEA ocurrió el pasado jueves día 11 de marzo en la central nuclear francesa de Tricastin situada en el sur-este del país. A raíz del incidente un trabajador recibió una alta dosis de radiación superior al límite reglamentario anual de dosis. Nunca en la larga y existosa historia de funcionamiento de las centrales nucleares francesas, un trabajador había recibido una dosis tan alta.

El trabajador de EDF, la compañía propietaria de la central, del servicio de seguridad y protección radiológica, estaba dentro de la zona controlada de la Unidad 1 y recibió una dosis de 300 mSv, medida con el dosímetro de película, inicialmente evaluada como de 87 mSv en base a la lectura del dosímetro electrónico de lectura directa que se saturó y muy superior al límite legal de 50 mSv al año y que pronto se verá reducido a 20 mSv/año, aunque EDF lleva ya tres años en sus centrales aplicando este límite administrativo menor de dosis anual.

La autoridad francesa de seguridad nuclear, DSIN, ha iniciado una investigación del suceso para determinar las circunstancias y consecuencias de este incidente. En palabras del Director de DSIN, "el incidente hace albergar serias dudas sobre la organización y procedimientos de protección radiológica establecidos por EDF en sus centrales para proteger a los trabajadores y revela una importante desviación del sistema de protección puesto que no aplican a ellos mismos las instrucciones que aplican a otros".



La dosis se recibió al entrar en el foso situado debajo de la vasija del reactor para extraer dos lámparas antes del inicio de la prueba de fugas de la contención que se realiza cada 10 años y que estaba programada para esta recarga. La zona estaba clasificada como zona roja de acceso prohibido; pero el trabajador, violando los procedimientos de la central y sin tener instrucciones escritas de su supervisor, que estaba al tanto de la maniobra y que no obtuvo la preceptiva autorización del jefe de central para este tipo de operaciones, accedió a ella una vez que se hizo con las llaves que le permitieron abrir la puerta cerrada de entrada al foso. El trabajador pensó que tirando de los cables podría retirar las lámparas sin tener que entrar del todo al foso, pero al no poder, entro y las retiró. El trabajador no hizo caso de la alarma de su dosímetro electrónico ni utilizó el detector de radiación que llevaba consigo para determinar el nivel de radiación de la zona. A pesar de todo y según la opinión de la autoridad francesa de protección radiológica, el trabajador tuvo suerte ya que solo permaneció en el foso durante dos minutos cerca de los thimbles de la instrumentación in-core de la planta.

Los médicos que han atendido al trabajador no han encontrado signos de daño para su salud por lo que el trabajador ha sido restituido a su trabajo aunque fuera de la zona controlada.

El Director del parque nuclear francés ha dicho que el incidente revela "una falta de medidas de defensa en profundidad para proteger a los trabajadores de sus propios errores y es un síntoma de auto-complacencia después de un largo periodo de tiempo sin incidentes".

El Director de EDF junto con el Director nuclear se han reunido con todos los jefes de central para poner en marcha medidas que eviten la repetición de este tipo de incidentes, entre las que cabe destacar inicialmente una dirección de las plantas más preocupada por el día a día, ampliar la misión de inspección general de seguridad nuclear a las actividades de protección radiológica y reforzar el control de accesos a las zonas de alta radiación.

Fuente: Nuc-Net y Nucleonics Week

# NOTICIAS

## de l

# GRIAPRA

### GRIAPRA en internet

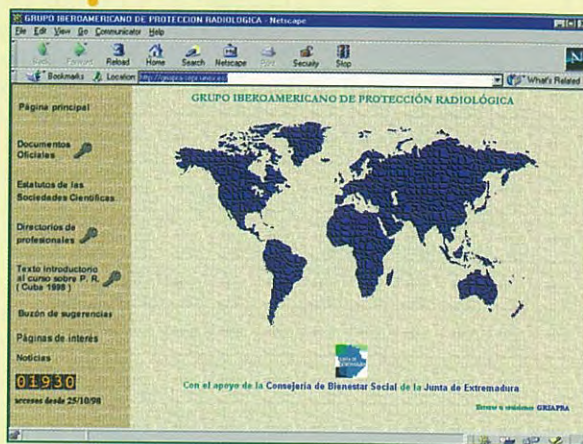
La red local de la Universidad de Extremadura ha creado en su servidor local de Internet una página web para las actividades del Grupo Iberoamericano de Sociedades de Protección Radiológica - GRIAPRA.

La dirección de esta página web es:

<ftp:\\griapra-sepr.UNEX.es>.

Posee además una dirección de correo electrónico que es la siguiente:

[griapra@griapra-sepr.UNEX.es](mailto:griapra@griapra-sepr.UNEX.es).



La página web consta fundamentalmente de información del GRIAPRA y posee enlaces con las sociedades constituyentes y otras sociedades afines e instituciones. En ella se llevan a cabo labores de mantenimiento, chequeo y actualización de la información. Invitamos desde RADIOPROTECCIÓN a todos los miembros de la Sociedad Española de Protección Radiológica a utilizarla y difundir desde ella en INTERNET noticias de interés para España, Portugal, Latinoamérica y el Caribe.

Prof. Juan José Peña Bernal

### Asociación Uruguaya de Radioprotección AUR

La Comisión Directiva de la AUR, que ejercerá sus funciones hasta el año 2000, ha quedado integrada de la siguiente manera:

Presidenta  
Diva Elvira Puig Cardozo

Vicepresidente  
Carlos Labandera González

Secretaria  
Olga Rodríguez Gómez

Tesorera  
María Angélica Pereira Martínez

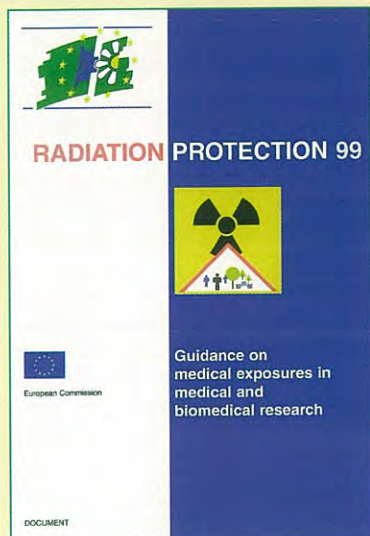
Vocal  
Carlos Pedragosa

La SEPR les desea los mayores éxitos en esta nueva etapa de la Asociación. Por otra parte, en la Asamblea General Extraordinaria de la AUR, celebrada el 10 de marzo, aprobó por unanimidad designar a Leopoldo Arranz y a David Cancio como socios honorarios, por su apoyo en la creación y el desarrollo de esta Asociación. Nuestra enhorabuena a estos destacados socios.



## Radiation Protection 99

### Guidance on Medical Exposures in Medical and Biomedical Research



Esta guía aprobada por el grupo de expertos del Artículo 31 durante su sesión del 8-9 de Junio de 1998, tiene en cuenta los comentarios recogidos durante la Jornada Internacional celebrada en Madrid el 27 de Abril de 1998, sobre la implementación de la Directiva 97/43/ EURATOM sobre exposiciones médicas. La investigación médica y biomédica incluye situaciones donde personas sanas voluntarias son expuestas a radiaciones ionizantes, o los pacientes son sometidos a una exposición inferior o superior a la requerida para su tratamiento o diagnóstico, incluyendo procedimientos con RX, nuevos radiofármacos, o nuevos equipos o procedimientos tanto en diagnóstico como en terapia.

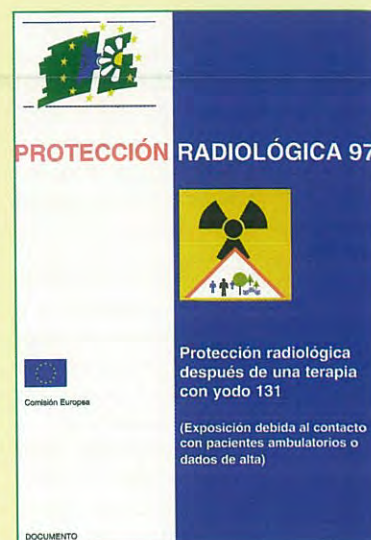
Se consideran tres grupos de voluntarios: aquéllos pacientes que pueden beneficiarse del procedimiento, los pacientes que no van a recibir beneficios directos para si mismos, y aquéllas personas sanas que se prestan voluntarias. El documento está estructurado en dos capítulos. El primer capítulo so-

bre "Ethical Aspects" da unas normas generales sobre como realizar la investigación biomédica utilizando radiaciones ionizantes, prestando particular atención a aquéllos procedimientos realizados con niños, enfermos mentales, personas inconscientes y mujeres embarazadas o en periodo de lactancia. El segundo capítulo "Risk Assessment" establece unas normas generales, como la necesidad de evaluar la dosis absorbida, o la dosis media absorbida en órganos específicos, y la dosis efectiva. Se aconseja evaluar la dosis efectiva como indicador del detrimento y para poder comparar el riesgo debido a la exposición a radiaciones ionizantes entre distintos proyectos de investigación.

En caso de procedimientos de radioterapia y para procedimientos prolongados de radiología intervencionista donde pueden aparecer efectos deterministas, se debe estimar la dosis en los tejidos que no formen el volumen blanco, ya que la dosis efectiva es un indicador inapropiado para la extimación de riegos de efectos deterministas. Cuando se utilicen radiofármacos es necesario realizar una dosimetría interna, a partir de modelos biocinéticos y datos publicados de dosis media en órganos y dosis efectiva (ICRP 53 & ICRP 62). Por último se dan unas recomendaciones para el diseño y planificación del proyecto de investigación, y una categorización del riesgo basada en ICRP 62

## Protección Radiológica 97

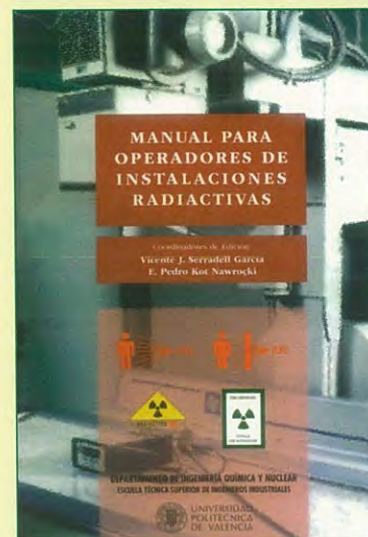
Ha sido publicada la edición en castellano de este documento de la Comisión Europea, que en esta ocasión está dedicado a la "Protección radiológica después de una terapia con yodo 131", y cuya aparición en inglés fue reseñada en el número anterior de RADIOPROTECCIÓN.



## Manual para Operadores de Instalaciones Radiactivas

ISBN: 84-605-8041-5

Este manual, editado por la Universidad Politécnica de Valencia y coordinado por Vicente Serradell y Pedro Knot, contiene el material didáctico de los cursos de Supervisores y Operadores de Instalaciones Radiactivas, que organiza desde hace más de quince años el Departamento de Ingeniería Química y Nuclear de dicha Universidad.





La obra ha sido concebida con el propósito de que su lectura sea accesible a cuantos tengan curiosidad por el tema, aun sin preparación técnica previa. Por ello, los primeros capítulos están dedicados a conocimientos físicos básicos, que nos permitan progresar en la comprensión del funcionamiento de los detectores de radiación, y a la revisión de los conceptos básicos en biología, que hagan posible la introducción de los efectos de la radiación sobre los seres vivos.

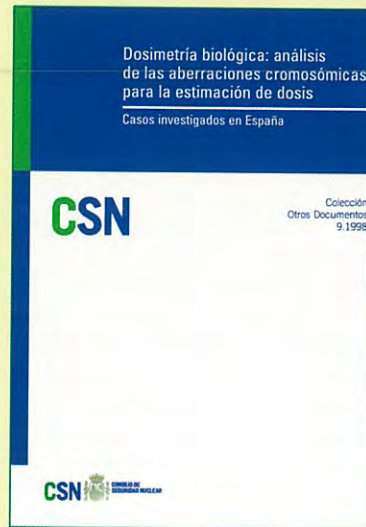
Estos conocimientos permiten estudiar los fundamentos de la protección radiológica y la forma operativa de organizarla en una instalación radiactiva.

La obra está dividida en seis capítulos: Conceptos básicos, Detección y medida de la radiación, Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, Radioprotección, Aplicaciones de las radiaciones ionizantes a la industria y a la medicina y Legislación sobre instalaciones radiactivas. Este último capítulo incluye la Legislación Española sobre Instalaciones Nucleares Radiactivas y el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

### **Dosimetría Biológica: Análisis de las Aberraciones Cromosómicas para la Estimación de Dosis** *Casos investigados en España*

CSN. Colección Otros Documentos.  
ISBN: 84-87275-87-7

La estimación de las dosis recibidas por las personas es una de las herramientas básicas en protección radiológica. A partir de este dato se pueden inferir riesgos y tomar las medidas oportunas requeridas en cada caso. Sin embargo, no siempre se puede medir este dato con un dosímetro. Así sucede cuando se trata de accidentes en los que se encuentran implicados



miembros del público o cuando existen dificultades en la interpretación del dato físico, en casos de exposición del individuo durante toda su vida laboral o en caso de reclamación judicial, entre otros. Las técnicas citogenéticas han demostrado su utilidad en estos casos y vienen empleándose desde los años sesenta.

El CSN apoya la introducción de estas técnicas en España desde 1990, contando en la actualidad con cinco laboratorios. Hay que destacar, además, que estos estudios y técnicas se encuentran vinculados con los defectos biológicos de las radiaciones, campo que actualmente va adquiriendo un notable interés en la comunidad científica, de forma que los laboratorios están dotados con un potencial técnico y humano especialmente útil en esta tarea de investigación.

El informe se ha realizado gracias a la colaboración de los distintos laboratorios promovidos por el CSN, en los que se realiza dosimetría biológica.

### **Conferencia del OIEA sobre efectos de las bajas dosis**

Recientemente el Organismo Internacional de Energía Atómica

(OIEA) ha publicado el libro de la Conferencia Internacional que el OIEA junto con la Organización Mundial de la Salud (WHO) organizó en Sevilla en Noviembre de 1997 para discutir sobre los efectos biológicos y los aspectos reguladores de las bajas dosis de radiación. El Gobierno español actuó de anfitrión de esta conferencia delegando esta función en el Consejo de Seguridad Nuclear quien a su vez contó con el apoyo financiero, de logística y de organización de ENRESA, ENUSA, UNESA, CIEMAT y de la SEPR.

El libro contiene los informes especiales invitados, las presentaciones de todas las sesiones, resúmenes de los coloquios y de las sesiones y los discursos de apertura y clausura. Para todos aquellos que asistieron a dicha conferencia, como para los que no lo hicieron, la consulta de esta publicación se hace necesaria pues en ella se recogen todas las presentaciones de la importante conferencia de Sevilla que además no fueron distribuidas en aquella ocasión.

La conferencia de Sevilla ya fue en su día ampliamente tratada en RADIOPROTECCIÓN por lo que únicamente a modo de recordatorio se resume a continuación el contenido del libro para aquellos lectores interesados en profundizar en lo tratado en aquella conferencia fundamental.

- Tres artículos sobre fuentes y efectos biológicos, carcinogénesis química y mecanismos y genética de las múltiples etapas de la carcinogénesis radiológica procedentes de Informes de Organizaciones Internacionales sobre los Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante.

- Tres resúmenes muy interesantes de recientes Conferencias Internacionales sobre los Efectos Biológicos de la radiación Ionizante de la Sociedad Británica de Energía Nuclear, de la conferencia de Wingspread, ya resumida en



## Low Doses of Ionizing Radiation: Biological Effects and Regulatory Control

Invited papers and discussions

PROCEEDINGS OF A CONFERENCE,  
SEVILLE, SPAIN, 17-21 NOVEMBER 1997  
JOINTLY ORGANIZED BY IAEA AND WHO



número anterior de **RADIOPROTECCIÓN**, y finalmente del Consejo de Salud de los Países Bajos.

- Un artículo sobre Mecanismos Moleculares de los Efectos de la Radiación: Mutaciones Puntuales y Clastogénicas.
- Un artículo sobre Respuesta Adaptativa: Apoptosis y Reparación.
- Dos informes sobre las Distintas Etapas del Proceso de aparición del Cáncer Radioinducido: Mecanismos de Iniciación, Promoción y Progresión; uno sobre aspectos matemáticos y epidemiológicos y el otro sobre aspectos biológicos.
- Un informe sobre los Efectos Hereditarios.
- Un informe sobre la Evidencia Epidemiológica
- Dos artículos sobre los Aspectos Radiobiológicos en la aplicación de la Evidencia Epidemiológica, uno que desarrolla la sesión y otro sobre la hipótesis de Gardner.
- Un informe sobre los Efectos de las Bajas Dosis sobre la Salud: Estimaciones del Riesgo Radiológico.
- Dos artículos que tratan de la Evidencia Científica a la Protección Radiológica, uno que desarrolla la sesión y el otro sobre las Directivas Europeas.
- Un informe sobre las Medidas de

Control para Prácticas.

- Un informe sobre la Reducción de Dosis por Intervención
  - Tres artículos sobre Exposiciones Crónicas. Criterios Radiológicos para Restauración de Terrenos, uno con el mismo título de la sesión, otro sobre los criterios de intervención y finalmente otro sobre el nuevo modelo de dosis controlable.
- Las 6 intervenciones de la Mesa Redonda sobre el Control Regulador y la Investigación Científica.

## Campos Eléctricos y Magnéticos de 50Hz

UNESA, a través del Grupo de Trabajo ad-hoc de Campos Electromagnéticos (CEM) ha editado una publicación sobre los CEM, que como se indica en el prólogo, pretende servir de ayuda para contestar a las cuestiones que se plantean de manera más habitual sobre los efectos de los CEM. Va dirigida a personas con una formación técnica básica y en ella se expone de forma resumida lo que se sabe y lo que se está investigando en la actualidad sobre los posibles efectos físicos y biológicos de los CEM.

La publicación consta de una introducción, 10 capítulos, un glosario y las referencias bibliográficas. Toda ella está ilustrada de una forma muy original facilitando enormemente su lectura.

En el capítulo 2 de cuestiones técnicas se encuentra una descripción de la terminología de los CEM y sus magnitudes y unidades fundamentales, cuales son sus técnicas de medida y cuales son los valores típicos de los CEM en el ámbito doméstico y en la industria y como se realiza la determinación de la exposición a los CEM.

El capítulo 3 se dedica de forma muy breve a explicar ¿Qué sucede cuando se está expuesto a campos eléctricos y magnéticos?, mientras que el capítulo 4, el más extenso de todos, intenta contestar a la pre-



gunta de sí suponen los CEM un riesgo para la salud de las personas. Tras revisar la bibliografía sobre estudios in-vivo e in-vitro y estudios epidemiológicos de exposición ocupacional y doméstica, la publicación llega a la conclusión de que "en la actualidad no se puede afirmar que los CEM de 50 Hz existentes en nuestro entorno supongan una amenaza para la salud".

El capítulo 5 resume las opiniones sobre el tema de las agencias nacionales de algunos países (sin incluir a España) e internacionales. El capítulo 6 relata de forma muy breve los datos conocidos sobre los efectos en cultivos y en el ganado.

El capítulo 7 expone los límites y recomendaciones para la exposición a CEM de diferentes países u organismos internacionales. Allí se recogen, por ejemplo, los límites de exposición recomendados por la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes, citados en otra parte de este número de **RADIOPROTECCIÓN**.

El capítulo 8 resume algunos efectos no biológicos de los CEM y el capítulo 9 trata de explicar cuales son las técnicas para reducir la exposición a los campos magnéticos. Finalmente, el capítulo 10 que lleva por título: Actitud de las empresas eléctricas españolas, termina



diciendo que las compañías eléctricas han prestado máxima atención a la evolución del conocimiento en este campo e incluso han mostrado una cierta proactividad al comenzar a introducir en sus nuevos proyectos los CEM como una variable más a considerar.

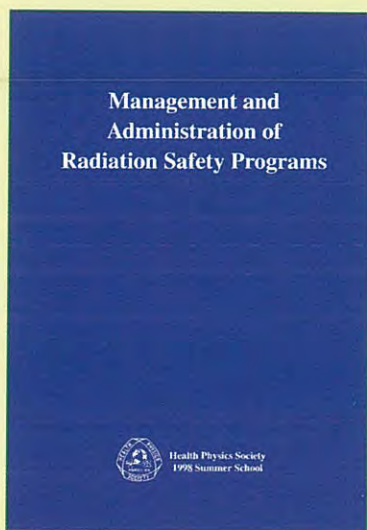
Los lectores de **RADIOPROTECCIÓN** interesados en conseguir un ejemplar gratuito de esta publicación, pueden dirigirse a UNESA, c/ Francisco Gervás, 28020 MADRID, a la atención del Dr. D. Fernando García Escandón, Jefe de los Servicios Médicos de UNESA (Tlfn: 91 5674800). Para pedir un mayor número de ejemplares y detalle de su coste pueden contactar con el Dr. D. Juan Bernar en el teléfono 91 567 49 67.

### Management and Administration of Radiation Safety Programs.

Charles E. Roessler.  
Health Physics Society.  
1998 Summer School.  
ISBN: 0-944838-85-5

Este libro fue preparado para los alumnos de la escuela de verano de la Health Physics Society de 1998, en la Universidad de Wisconsin-River Falls, celebrada del 6 al 10 de julio de ese año.

Tradicionalmente, estas escuelas de verano habían estado dirigidas a temas técnicos específicos de protección radiológica como dosimetría, o relacionados con programas de protección radiológica en instalaciones específicas como reactores u hospitales. Sin embargo, el Comité de esta escuela de verano decidió que era importante también analizar temas de gestión y administración en sus diversas facetas, aplicándolos a los usos de la radiación. Con esta idea se organizó el curso de 1998, cuyos trabajos recoge esta edición.

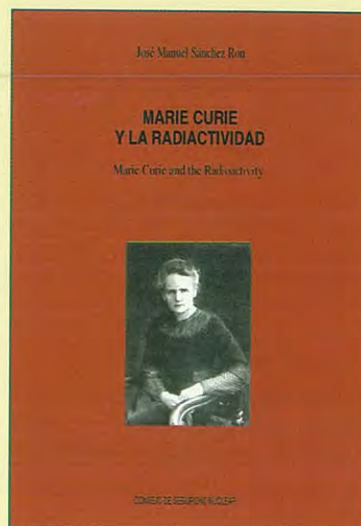


El libro está dividido en seis apartados: Introducción, Consideraciones reguladoras, Gestión de los programas de seguridad a la radiación en diferentes instalaciones, Programas de seguridad a la radiación en el DOE, Temas específicos en gestión de la seguridad de la radiación y ordenadores y medios electrónicos en gestión de la seguridad de la radiación.

### Marie Curie y la radiactividad

José Manuel Sánchez Ron  
Consejo de Seguridad Nuclear  
ISBN: 84-87275-90-7

Esta publicación ha sido editada por iniciativa del Consejo de Seguridad Nuclear, con motivo del descubrimiento, hace cien años, del polonio y el radio, como homenaje a la figura de Marie Curie quien, en palabras del Presidente del CSN en el prólogo, "además de las dificultades propias de la apertura de una nueva ciencia, tuvo que afrontar también los problemas de reconocimiento y autoridad científica derivados de su condición de mujer". En una edición de gran calidad, se incluye un amplio número de ilustraciones procedentes de fondos de



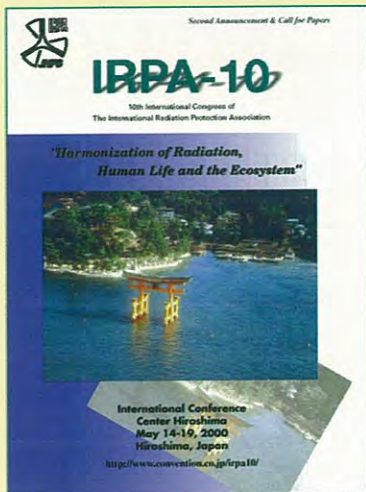
diferentes países, completando un recorrido por toda la historia de la física nuclear en la primera mitad del siglo XX.

### New Publications OIEA

- Low Doses of Ionizing Radiation: Biological Effects and Regulatory Control: Invited Papers and Discussions (STI / PUB / 1030)
- The Radiological Accident in Tammiku (STI / PUB / 1053)
- The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk (STI / PUB / 1060)
- Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in San José, Costa Rica (STI / PUB / 1027)
- Planning the Medical Response to Radiological Accidents. (STI / PUB / 1055)
- Health Surveillance of Persons Occupationally Exposed to Ionizing Radiation: Guidance for Occupational Physicians. (STI / PUB / 1056)
- Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography. (STI / PUB / 1058)
- Radiological Conditions of the Western Kara Sea (STI/PUB/1068)
- Radiological Conditions at the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan: Preliminary Assessment and Recommendations for Further Study (STI / PUB / 1063)



## SEGUNDO ANUNCIO DEL CONGRESO IRPA-10



Recientemente se ha publicado el segundo anuncio y petición de ponencias para el décimo congreso de la IRPA, a celebrarse en Hiroshima (Japón), del 14 al 19 de mayo del año 2000. Los temas propuestos para el Congreso cubren 11 grandes áreas:

- Exposición a la radiación natural
- Efectos sobre la salud de la radiación ionizante
- Dosimetría e instrumentación
- Protección radiológica en el Medio ambiente
- Tratamiento de residuos y desmantelamiento de instalaciones
- Protección radiológica en los lugares de trabajo
- Protección radiológica del paciente
- Protección contra las radiaciones no ionizantes
- Normativa y su interpretación
- Formación, entrenamiento y comunicación
- La radiación y los accidentes nucleares

Dentro de estas grandes áreas, se han organizado 26 sesiones temáticas, con una presentación invitada y hasta seis ponencias seleccionadas entre las remitidas por los participantes. El resto de las ponencias serán incluidas en las sesiones de pósters.

Los grandes temas de máximo interés en la actualidad serán tratados en forma de

simposium, con una mesa de expertos y debate general:

- Efectos sobre la salud de la radiación a bajas dosis y a bajas tasas de dosis.
- Criterios para la decisión sobre situaciones de exposición crónica del público.
- Retos de la protección radiológica para el siglo XXI; usos de la radiación, medición y protección

Habrà también, como es tradición, una conferencia a cargo de la persona galardonada con el Premio Sievert y otras cinco presentaciones, en sesiones plenarias, de las actividades de los organismos internacionales: REFR, ICRP, ICNIRP, ICRU y UNSCEAR. Sin olvidar el Foro de las Sociedades miembros de la IRPA y las sesiones de clausura con las conclusiones del Congreso. En paralelo, por la mañanas, no se perderà la oportunidad de ponerse al día en los cursos de refresco, 16 en total.

La fecha tope para el envío de resúmenes al Congreso (entre 250 y 500 palabras) es el próximo 1 de Septiembre de 1999. Existe la posibilidad de envío por correo electrónico. La fecha de inscripción al Congreso a tarifa reducida (60.000 yens) expira el 1 de Febrero del 2000.

Para más detalles, se recomienda visitar periódicamente la página Web del Congreso:

<http://www.convention.co.jp/irpa10/>

### • L'Irradiation Médicale en France. Realités et Enjeux de l'Imagerie Diagnostique et de la Radiologie Internationale

París, Francia, 25-26 Marzo 1999  
 Secrétariat SFPR. BP72.  
 92263-Fontenay-aux-Roses-Cedex.  
 Tel: 33-1-46 54 72 58.  
 Fax: 33-1-4654 83 59.  
 E-mail: jacques.lombard@ipsn.fr

### • Second International Symposium on Ionizing Radiation. Environmental Protection Approaches for Nuclear Facilities

Ottawa, Canadá, 10-14 Mayo 1999  
 Symposium'99. C/o The Willow Group.  
 582 Somerset Street West. Ottawa,  
 Ontario K1R 5K2 Canada.  
 Tel: 613-237-2324.  
 Fax: 613-237-9900.

### • Curso Básico de Fundamentos de Radiobiología Intervencionista para Físicos Responsables de los Programas de Protección Radiológica Hospitalarios

Madrid, 25-26 Mayo 1999  
 Servicio de Física Médica. Hospital Clínico San Carlos. 28040 Madrid.  
 Tel: 91-3303302.  
 Fax: 91-3941675.  
 E-mail: mahcscfism@insalud.es.  
[www.ucm.es/info/fismed](http://www.ucm.es/info/fismed)

### • International Workshop In Vivo Monitoring for Internal Contamination: New Techniques for New Needs

Mol, Bélgica, 25-28 Mayo 1999  
 In Vivo 99 Secretariat C/o Caroline Poortmans. Belgian Nuclear Research Centre. Boeretang 200. B-2400 Mol, Belgium. E-mail: Invivo99@sckcen.be.  
[www.sckcen.be/conf/invivo99.html](http://www.sckcen.be/conf/invivo99.html)

### • SFPR 99. Congrès National de Radioprotection. Sociedad Francesa de Protección Radiológica

Angers, Francia, 2-4 Junio 1999  
 Secrétariat SFPR. BP72. 92263-Fontenay-aux-Roses-Cedex.  
 Tel: 33-1-46 54 72 58.  
 Fax: 33-1-4654 83 59.  
 E-mail: jacques.lombard@ipsn.fr

### • Course for Medical Physicists on Physics of Medical x ray Imaging

Malmö, Suecia, 8-12 Junio 1999  
 Dr Lars Gunnar Mansson. Malmö.  
 Tel: 46-31-60 40 25.  
 Fax: 46-31-82 24 93.  
 E-mail: larsgm@radfys.gu.se

### • Workshop Medical x ray Imaging. Potential Impact of the Revised European Medical Exposure Directive (1997)

Malmö, Suecia, 13-15 Junio 1999  
 Prof Soren Mattsson. Malmö.  
 Tel: 46-40-33 13 74.  
 Fax: 46-40 96 31 85.  
 E-mail: soren.mattsson@rfa.mas.lu.se

### • International Symposium Southport'99. Achievements & Challenges: Advancing Radiation Protection into the 21st Century

Southport, Reino Unido, 14-18 Junio 1999



Society for Radiological Protection,  
Ramillies House, 1-9 Hills Place, London  
W1R 1AG, UK.  
Tel: 44 171 287 4955.  
Fax: 44 171 287 4906.

• **The Effects of Low and very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health**

St Quentin en Yvelines, Versailles,  
Francia, 16-18 Junio 1999  
WONUC - Versailles Conference. 49  
rue Lauriston, 75116 Paris (France).  
Fax: 33 (0)1 53 70 01 08.  
E-mail: wonuc@wanadoo.fr

• **EPRI: International Low-Level Waste Conference & Exhibit Show'99**

New Jersey, EEUU, 11-14 Julio 1999  
Carol Hornibrook, Manager LLW  
Management. EPRI. P.O.Box 10412.  
Palo Alto, CA 94303 (USA).  
Tel: (650)855-2022.  
Fax: (650)855-2774.  
E-mail: chornibr@epri.com

• **IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe 1999**

Budapest, Hungría, 22-27 Agosto 1999  
Roland Eötvös Physical Society.  
Budapest, Pf. 433. H-1371.  
Tel: 36-1-201-8682.  
Fax: 36-1-201-8682.  
E-mail: irpa@reak.bme.hu

• **International Congress Radiation Protection: What are the Future Training Needs?**

Saclay, París, Francia, 6-9 Septiembre  
1999  
Christiane Valet. CEA/Saclay.  
INSTN/UERBM. F-91191 Gif-sur-Yvette  
Cedex.  
Tel: 33-1-69 08 27 95.  
Fax: 33-1-69 08 57 53.  
E-mail: valet@instndir.cea.fr

• **Third International Conference on Isotopes (3ICI)**

Vancouver, Canadá, 6-10 Septiembre  
1999  
Ms. Elly M. Driessen, Conference  
Coordinator. TRIUMF. 4004 Wesbrook  
Mall. Vancouver, BC. Canada V6T 2A3.  
Tel: 604-222-7352.  
Fax: 604-222-1074.  
E-mail: ici@triumf.ca

• **XII Congreso Nacional de Física Médica**

Santander, 21-24 Septiembre 1999  
Secretaría Técnica: Altamira de  
Congresos. Marcelino Sanz de  
Sautuola, 12. 39003 Santander.  
Tel: 902 10 01 80.  
Fax: 942 21 96 13.  
E-mail: valtamiracon@mundivia.es -  
www.medi.unican.es/fismedica

• **M&C'99 International Conference on Mathematics and Computation, Reactor Physics and Environmental Analysis in Nuclear Applications**

Madrid, 27-30 Septiembre 1999  
Tel: 91 336 31 08/09/10  
Fax: 91 336 30 02  
E-mail: mc99@din.upm.es

• **International Symposium for Release of Radioactive Material from Regulatory Control**

Hamburg, Alemania, 8-10 Noviembre  
1999  
TÜV Nord Akademie. Große Bahnstr.  
31. D-22525 Hamburg, Alemania.  
Tel: 49/40/8557-2290.  
Fax: 49/40/8557-2782.  
E-mail: frohnert@tuev-nord.de

• **Euradwaste'99. Radioactive Waste Management Strategies and Issues**

Luxembourg, 15-18 Noviembre 1999  
European Commission. Att. Mrs. L. Eisen.  
JMO B2/71. L-2920 Luxembourg.  
Fax: 352- 43 01-34851.  
E-mail: liette.eisen@dg4cec.be

• **CURSOS CIEMAT 1999**

Instituto de Estudios de la Energía -  
Formación en Protección Radiológica.  
Avda. Complutense, 22. 28040  
Madrid.  
Tel: 91-346 62 98.  
Fax: 91-346 60 05.  
E-mail: fjavier@ciemat.es

• **Master en Energía Nuclear.**

Organizado conjuntamente con la  
Universidad Autónoma de Madrid.  
Enero-Diciembre

• **Superior de Protección Radiológica**

1 Febrero - 30 Abril

• **El Ciclo del Combustible Nuclear.**

Organizado en colaboración con el CSN.  
26-30 Abril

• **Operadores de Instalaciones Radiactivas**

17 Mayo - 4 Junio

• **Transporte de Material Radiactivo.**

Organizado por la Sociedad Española de  
Protección Radiológica. 7-11 Junio

• **Supervisores de Instalaciones Radiactivas**

27 Septiembre - 22 Octubre

• **Espectrometría Gamma en Centrales Nucleares**

Octubre

• **Medida de Radiactividad en Muestras Ambientales**

Octubre

• **Caracterización de Residuos Radiactivos**

Noviembre

• **P.R. Para Operar Instalaciones de Rayos X con Fines Diagnósticos**

15-19 Noviembre

• **Aplicación de los Métodos de Monte Carlo en Física de Radiaciones**

15-19 Noviembre

• **CURSOS PROINSA 1999**

PROINSA - Dpto. Formación de  
Personal. Rosario Pino, 18.  
28020 Madrid.  
Tel: 91-572 11 66.  
Fax: 91-570 18 10

• **Capacitación para Supervisores de Instalaciones Radiactivas**

3-28 Mayo / 4-29 Octubre

• **Capacitación para Operadores de Instalaciones Radiactivas**

14-25 Junio / 15-26 Noviembre

• **Capacitación para Personal que dirige Instalaciones de rayos x General**

5-9 Abril / 13-17 Septiembre / 29  
Noviembre-3 Diciembre

• **Capacitación para Personal que opere Instalaciones de rayos x General**

12-16 Abril / 20-24 Septiembre / 13-17  
Diciembre

• **Capacitación para Personal que dirija Instalaciones de rayos x Dental**

En función de solicitudes



# Socios colaboradores de la SEPR



Asociación Nuclear Ascó, A.I.E.



**COFRENTES**  
CENTRAL NUCLEAR



UNION FENOSA  
CENTRAL NUCLEAR "JOSÉ CABRERA"



C. N. VANDELLOS II A.I.E.



**GEOCISA**  
GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.

**H. Cornic, S.L.**  
INSTRUMENTOS CIENTIFICOS E INDUSTRIALES



**IBERDROLA**



**INITEC**



**PHILIPS**



**SGS** Grupo SGS Ciat  
TECNOS Garantía de calidad, S.A.





# ENERGIA SIN FRONTERAS

Experiencia y calidad al servicio de  
las centrales nucleares europeas

Diseño, fabricación y  
suministro de elementos  
combustibles para reactores  
de agua a presión (PWR)  
y de agua en ebullición (BWR)



 **ENUSA**

Santiago Rusiñol, 12 • 28040 MADRID  
Tel.: (91) 347 42 00 Fax: (91) 347 42 15  
Télex: 43042 URAN-E