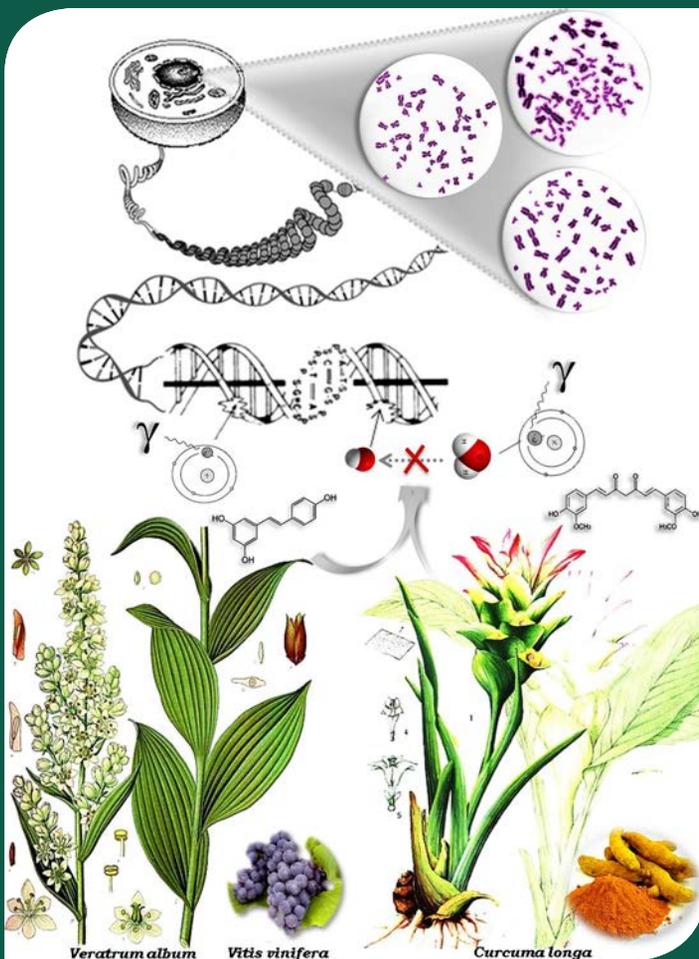


# RADIOPROTECCIÓN

LA REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Nº 81 • ENERO 2015

edición digital



- ▶ EFECTO GENOTÓXICO, RADIOPROTECTOR Y RADIOSENSIBILIZANTE DE LA CURCUMINA Y EL *TRANS*-RESVERATROL EN CULTIVOS *IN VITRO* DE LINFOCITOS HUMANOS
- ▶ UNA EXPERIENCIA EN LA GESTIÓN DE LA DOSIMETRÍA PERSONAL Y LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES
- ▶ NUEVA DIRECTIVA DE PROTECCIÓN OCUPACIONAL ANTE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS
- ▶ LA VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA DEL SUELO COMO HERRAMIENTA EN LA PREPARACIÓN LOCAL PARA LA RECUPERACIÓN POSACCIDENTE. ACTUALIZACIÓN DE LOS MAPAS NACIONALES

ENTREVISTA:

**Gumersindo Verdú**

PRESIDENTE DEL COMITÉ ORGANIZADOR DEL CONGRESO CONJUNTO SEFM-SEPR.  
VALENCIA 2015



# 4 CONGRESO CONJUNTO 20 SEFM | 15 SEPR Valencia 2015

## FÍSICA Y SALUD: RETOS Y PERSPECTIVAS DE LA FÍSICA MÉDICA Y LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

20 SEFM - 15 SEPR

Sociedades Españolas de Física Médica  
y de Protección Radiológica

del 23 al 26 de junio

### CARTA DE BIENVENIDA

Queridos amigos y amigas,

El Comité Organizador del 4º Congreso Conjunto SEFM-SEPR, cordialmente les da la bienvenida. Este es el segundo Congreso Conjunto que se celebra en la Comunidad Valenciana, esta vez en Valencia en la sede de la Ciudad Politécnica de la Innovación de la Universitat Politècnica de València.

El lema del Congreso es "Física y Salud: Retos de la Física Médica y la Protección Radiológica" y acorde con ello es una oportunidad para exponer con rigor científico y calidad las numerosas ponencias y debates que se están organizando en torno a la Física Médica y la Protección Radiológica, para lo cual os animamos a participar, y así poder conseguir un nivel alto de calidad científica, utilidad e interés y que a la vez colme vuestras expectativas.

Pensamos que este 4º Congreso Conjunto SEFM-SEPR es además una oportunidad para visitar Valencia. Esta ciudad bimilenaria con un gran legado histórico ha apostado por el desarrollo innovador del siglo XXI a través de la Ciudad de las Artes y las Ciencias, l'Hemisfèric, el Palau de les Arts, el Museu de les Ciències, y l'Oceanogràfic, los cuales son ejemplos de ciudad abierta, moderna e innovadora.

Es una satisfacción, un compromiso y un honor el poder organizar el 4º Congreso Conjunto SEFM-SEPR, y esperamos que sea muy productivo para todos vosotros.

Un Saludo,

Gumersindo Verdú  
Presidente del Comité Organizador

### PROGRAMA

Ya está disponible el programa preliminar.

Más información en la web:

[www.sefmseprvalencia2015.es](http://www.sefmseprvalencia2015.es)

### PLAZOS DE INSCRIPCIÓN Y PRESENTACIÓN DE COMUNICACIONES

Abiertos los plazos de inscripción y presentación de comunicaciones. Fecha límite para envío de comunicaciones hasta el **15 de febrero** de 2015.

Más información en la web:

[www.sefmseprvalencia2015.es](http://www.sefmseprvalencia2015.es)

### SEDE DEL CONGRESO



Ciudad  
Politécnica de la  
Innovación (CPI)

<http://cpi.upv.es>

Visite nuestra web:

[www.sefmseprvalencia2015.es](http://www.sefmseprvalencia2015.es)

Promueve



# RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

**Directora**  
Ángeles Sánchez

**Coordinador**  
Borja Bravo

## Comité de Redacción

Cristina Garrido  
Rosa Gilarranz  
José Gutiérrez  
Sofía Luque  
Alegría Montoro  
Juan Carlos Mora  
Matilde Pelegrí  
Javier Pifarré  
José Ribera  
Beatriz Robles  
Borja Rosell  
Pedro Ruiz  
Inmaculada Sierra  
M<sup>a</sup> Luisa Tormo  
María Ángeles Trillo  
Fernando Usera

**Coordinador de la página electrónica**  
Juan Carlos Mora

## Comité Científico

**Presidente:** José Gutiérrez  
Ignacio Hernando  
Xavier Ortega  
Teresa Ortiz  
Eduardo Sollet  
Alejandro Úbeda

## Realización, Publicidad y Edición:

SENDA EDITORIAL, S.A.

Directora: Matilde Pelegrí

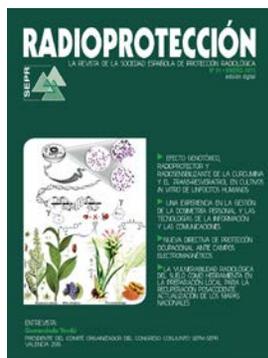
Capitán Haya, 56. 7º D - 28020 Madrid

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

Correo electrónico: redaccionpr@gruposenda.es

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

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 comparta necesariamente.



**EDICIÓN Enero 2015**

Revista digital disponible en: <http://www.sepr.es>

Disponible sólo para socios los números del año actual, los números anteriores disponibles para el público en general.

RADIOPROTECCIÓN se publica con una frecuencia trimestral.  
Indexada: Latindex

## S U M A R I O

- **Editorial** 4
- **Entrevista** 5  
Gumersindo VERDÚ  
*Presidente del Comité Organizador del Congreso Conjunto SEFM-SEPR. Valencia 2015*
- **Colaboraciones** 12
  - Efecto genotóxico, radioprotector y radiosensibilizante de la curcumina y el trans-resveratrol en cultivos *in vitro* de linfocitos humanos  
*Víctor Adolfo Fisher, Beraya Tirsa Muñoz Natividad Sebastián, Laura Gómez-Cabrero, Verónica La Parra, David Hervás, Regina Rodrigo, Juan Ignacio Villaescusa, José Miguel Soriano y Alegría Montoro* 12
  - Una experiencia en la gestión de la dosimetría personal y las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones  
*P. Galán Montenegro, M. Sánchez Hidalgo, C. Bodineau y B. Oliveros Fernández* 21
  - Nueva Directiva de Protección Ocupacional ante Campos Electromagnéticos  
*Tania Berlan Llorente y Alejandro Úbeda Maeso* 25
  - La vulnerabilidad radiológica del suelo como herramienta en la preparación local para la recuperación posaccidente. Actualización de los mapas nacionales  
*C. Trueba, B. García y M. Montero* 32
- **Noticias**
  - de la SEPR 7
  - de España 39
  - del Mundo 40
- **Publicaciones** 43
- **Convocatorias y Cursos** 45

La SEPR permite la reproducción en otros medios de los resúmenes de los artículos publicados en RADIOPROTECCIÓN, siempre que se cite al principio del texto del resumen reproducido su procedencia y se adjunte un enlace a la portada del sitio web [www.sepr.es](http://www.sepr.es), así como también el nombre del autor y la fecha de publicación. Queda prohibida cualquier reproducción o copia, distribución o publicación, de cualquier clase del contenido de la información publicada en la revista sin autorización previa y por escrito de la SEPR. La reproducción, copia, distribución, transformación, puesta a disposición del público, y cualquier otra actividad que se pueda realizar con la información contenida en la revista, así como con su diseño y la selección y forma de presentación de los materiales incluidos en la misma cualquiera que fuera su finalidad y el medio utilizado para ello, sin la autorización expresa de la SEPR o de su legítimo autor, quedan prohibidos.

# Editorial

La Revista de la Sociedad Española de Protección Radiológica incluye artículos (en español) científicos originales, de revisión y monográficos, entrevistas, secciones de información y noticias relacionadas con el campo de la Protección Radiológica a nivel nacional e internacional, incluyendo radiaciones ionizantes así como no ionizantes. Contempla aquellos campos relacionados con la investigación, con el desarrollo de nuevas estrategias y tecnologías diseñadas para la protección radiológica en el campo médico, medioambiental e industrial. Las líneas de investigación incluidas son: dosimetría física radioecología, radiactividad ambiental, efectos biológicos de la radiación ionizante *in vitro* e *in vivo*, protección del paciente y trabajador expuesto.

Este año 2015 es año de congreso, por lo que su celebración destaca sobre el resto de eventos. Por ello, este número de **RADIOPROTECCIÓN** se abre con la entrevista a Gumerindo Verdú, presidente del Comité Organizador del IV Congreso Conjunto de la SEFM y la SEPR, que cada día está más cerca, puesto que tendrá lugar del 23 al 26 de junio de 2015, en Valencia. En ella se desgranarán los detalles de la preparación de un congreso que, estamos seguros, resultará excelente en todos los sentidos. Justo al cierre de este número se acaba de anunciar la extensión del periodo para el envío de trabajos, por lo que los rezagados están aún a tiempo de participar compartiendo sus experiencias o ideas que permitan seguir mejorando nuestra práctica de la protección radiológica.

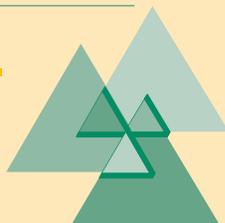
Además, podemos encontrar en este número un puñado de artículos muy interesantes. El primero, nos presenta las investigaciones llevadas a cabo en el Hospital La Fe de Valencia sobre el "Efecto genotóxico, radioprotector y radiosensibilizante de la curcumina y el trans-resveratrol en cultivos *in vitro* de linfocitos humanos", observando la capacidad radioprotectora de estos compuestos, pero también la dependencia de sus efectos sobre la radiosensibilidad celular, pudiendo incluso ocasionar diferentes grados de genotoxicidad. Por ello, concluyen, se hace necesario seguir profundizando en su estudio, vislumbrándose incluso su potencial uso como agentes radiomoduladores en pacientes sometidos a radiaciones ionizantes.

El artículo de Berlana (CSIC) y Úbeda (H. Ramón y Cajal) analiza las diferencias entre la antigua directiva europea sobre protección de los trabajadores que utilizan equipos de radiaciones no ionizantes y la nueva Directiva 2013/35/UE, así como sus implicaciones, dado que se ha producido una cierta relajación de los requerimientos. Desde el Hospital Regional Universitario de Málaga, nos presentan su experiencia positiva en la gestión de la dosimetría personal utilizando plataformas de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y otras de gestión de trabajadores, cuyo resultado ha sido reducir la tasa de no recambio mensual de los dosímetros personales en un 75%. Finalmente, el último artículo, una colaboración entre el Ciemat y la Universidad Complutense, presenta la actualización de una metodología, basada en las propiedades edáficas, para clasificar la vulnerabilidad radiológica de los suelos españoles, o aptitud de los mismos para transferir la contaminación debida a  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{90}\text{Sr}$  tras un accidente nuclear, lo cual permite identificar las áreas donde priorizar la recuperación. Sus resultados, representados en forma de mapas, se han puesto al día aprovechando las mejoras en la representación de los suelos europeos y de las tecnologías geoespaciales de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En definitiva, este número demuestra una vez más el carácter pluridisciplinario de nuestra profesión, que abarca desde la biología hasta las tecnologías de la información, pasando por las ciencias de la tierra, pero siempre, no hemos de olvidarlo, sustentado en valores éticos comunes.

EDUARDO GALLEGO  
Presidente de la SEPR

SEPR



SOCIEDAD ESPAÑOLA DE  
PROTECCIÓN RADIOLÓGICA  
[www.sepr.es](http://www.sepr.es)

## Secretaría Técnica

C/ Capitán Haya, 56 - 7º D  
28020 Madrid  
Tel.: 91 373 47 50  
Fax: 91 316 91 77  
Correo electrónico: [secretaria@sepr.es](mailto:secretaria@sepr.es)

## Junta Directiva

Presidente: **Eduardo Gallego**  
Vicepresidenta: **Mercè Ginjaume**  
Secretaría General: **Beatriz Robles**  
Tesorera: **Elena Alcaide**  
Vocales: **Antonio Gil, Francisco Javier Rosales, Borja Rosell, Carmen Rueda, Rosario Salas y Waldo Sanjuanbenito**

## Comisión de Actividades Científicas

Presidenta: **Mercè Ginjaume**  
Secretaría: **Sofía Luque**  
Vocales: **Ángeles Sánchez, Pedro Ruiz, Rosa Gilarranz, Margarita Herranz, Alejandro Úbeda, Pío Carmena, Carlos Enriquez, Carmen Rueda y Esteban Velasco**

## Comisión de Publicaciones

Presidenta: **Beatriz Robles**  
Secretaría: **Angeles Sánchez**  
Vocales: **Juan Carlos Mora, José Gutiérrez y Pedro Ruiz**

## Comisión de Asuntos Económicos y Financieros

Presidenta: **Elena Alcáide**  
Vocales: **Alejandro Úbeda, Eduardo Gallego, Rosario Salas, Pío Carmena, Beatriz Robles y Carmen Vallejo**

## Comisión de Asuntos Institucionales

Presidente: **Eduardo Gallego**  
Secretaría: **Mercè Ginjaume**  
Vocales: **Leopoldo Arranz, Manuel Fernández, Ignacio Hernando, David Cancio, José Gutiérrez, Xavier Ortega, Juan José Peña, Eduardo Sollet, Pedro Carboneras, Manuel Rodríguez, Rafael Ruiz Cruces, Pío Carmena y Marisa España**



# Gumersindo VERDÚ

## Presidente del Comité Organizador del Congreso Conjunto SEFM-SEPR. Valencia 2015

### LA SEDE

Valencia será la ciudad anfitriona del cuarto Congreso Conjunto de las Sociedades de Física Médica y de Protección Radiológica, el próximo mes de junio de 2015.

#### ¿Cuáles son los motivos que han llevado a la elección de esta ciudad?

Cuando la candidatura que iba a organizar el 4º Congreso Conjunto se retiró, un grupo de socios valencianos pertenecientes a ambas sociedades nos reunimos y, con responsabilidad, postulamos Valencia como sede del Congreso Conjunto.

#### ¿Qué aspectos considera especialmente destacados de la Ciudad Politécnica de la Innovación de la Universitat Politècnica de Valencia (UPV), donde tendrá lugar el Congreso?

La Ciudad Politécnica de la Innovación de la UPV es el parque científico de la Universitat Politècnica de València, es un edificio funcional y moderno con todas las facilidades para celebrar congresos. Es de agradecer a la UPV que nos ceda todas las salas de conferencias para celebrar allí nuestro Congreso.

#### ¿Cuál está siendo la respuesta de las autoridades locales en el proceso de organización?

La respuesta de todas las instituciones y autoridades locales ha sido muy positiva, aunque hay que lamentar que sea sólo eso, positiva, sin llegar más lejos, ya que el apoyo económico es escaso.

### LA ORGANIZACIÓN

El próximo Congreso es el cuarto que desarrollan conjuntamente ambas sociedades.



#### ¿Cómo se han estructurado los comités responsables de la organización?

Desde el primer momento se configuró el Comité Organizador (CO) del Congreso Conjunto con socios voluntarios locales de ambas sociedades. Después de acuerdos con ambas sociedades se eligieron los presidentes y secretarios del Comité Científico (CC). Su primera tarea fue la configuración del CC implicando a expertos de ambas sociedades. La segunda tarea fue la preparación del Programa Científico provisional.

#### ¿Cuáles han sido las lecciones aprendidas de las ediciones anteriores que permitirán mejorar este encuentro?

El CO y el CC han seguido los consejos de la guía publicada después del Congreso de Cáceres y, por supuesto, las lecciones aprendidas de anteriores congresos.

#### ¿Cuáles son las principales ventajas de la organización conjunta?

La principal ventaja es que muchos socios pertenecen a las dos sociedades y trabajan en temas comunes dentro del ámbito de la Protección Radiológica y la Física Médica. Es por ello que estos temas comunes y otros transversales se articulan en sesiones plenarias y semiplenarias. La principal ventaja, por supuesto es económica, ya que la organización conjunta garantiza la viabilidad del Congreso Conjunto.

#### ¿Cuáles son los principales retos, teniendo en cuenta que un único congreso debe conjugar los intereses de los miembros de ambas sociedades?

El principal reto es como dice la pregunta conjugar los intereses de ambas sociedades, y eso no es fácil. Para ello, el CO y el CC han puesto todo el empeño posible.

### EL PROGRAMA TÉCNICO

El lema del Congreso es *Física y Salud. Retos de la Física Médica y la Protección Radiológica*.

#### ¿Cómo influye este lema en la estructura del Congreso?

Como sabéis uno de los fines de ambas sociedades es el cuidado de la salud del paciente, del trabajador, del público, ..., y es por ello que los avances en la Física redundan en la física aplicada y en la ingeniería que tienen un gran impacto en la salud. El lema influye en el Congreso por que se pretende recoger las últimas aportaciones en los campos de la Protección

Radiológica y la Física Médica, y los retos a superar en el futuro inmediato.

### ¿Cuáles son las principales novedades de esta edición?

Quizás la principal novedad es la inclusión de la AAPM y el OIEA de forma más activa en el Congreso Conjunto. Otras novedades a desarrollar son los campos tales como la dosimetría del cristalino, los materiales NORM, entre otros.

### ¿Cómo se estructura el Programa Técnico? (sesiones plenarias, sesiones técnicas)

La estructura se puede observar en el Programa Científico provisional, para ello hay que acceder a la web del Congreso. Hay que reseñar que puede haber cambios.

### ¿Podemos adelantar los nombres de los ponentes invitados?

Al igual que la pregunta anterior se puede consultar en la web.

### ¿Qué participación de conferenciantes extranjeros tiene prevista la organización?

Creo, sin lugar a dudas, que la participación de conferenciantes extranjeros en este Congreso tiene un gran peso específico. Se puede consultar en la web.

## EL CONGRESO COMO PUNTO DE ENCUENTRO

Además del Programa Técnico, que constituye el eje principal, el Congreso es también el punto de encuentro de los profesionales.

### ¿Qué actividades está proponiendo la organización para fomentar estos encuentros?

Como sabemos además de ciencia hay *networking*, para ello el cóctel de bienvenida se va a realizar en un sitio simbólico dentro de la ciudad de Valencia, de igual manera la Cena de Gala será en un restaurante con gran impacto visual.

En cuanto a ciencia está previsto realizar sesiones técnicas con las casas comerciales durante la hora del almuerzo, por supuesto, quien acuda a estas sesiones tendrá un almuerzo de trabajo financiado por las casas comerciales.

### ¿Cuál es el programa social previsto?

El programa social también se puede ver en la web ([www.sefmseprvalencia2015.es](http://www.sefmseprvalencia2015.es)). Habrá un programa social para acompa-



ñantes, y el miércoles por la noche habrá una visita guiada en el centro histórico de Valencia.

## EL APOYO INSTITUCIONAL Y PRIVADO

Los organismos relacionados con la Física Médica y con la Protección Radiológica han apoyado tradicionalmente este Congreso. Sin embargo, la actual situación de crisis parece afectar a todas las instancias, tanto públicas como privadas.

### ¿Qué iniciativas plantea la organización para impulsar ese necesario apoyo?

Estamos visitando todos los organismos que han apoyado tradicionalmente el Congreso, en particular esperamos que el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y las plantas nucleares se involucren más en nuestro Congreso. También hemos visitado a otras instituciones que ya nos han confirmado su apoyo.

### ¿Cómo están respondiendo las instituciones?

La respuesta, como he dicho antes, es muy positiva, pero necesitamos que estas instituciones den un paso más.

La Exposición Comercial constituye un elemento de gran interés para que las empresas presenten sus productos y servicios a los directivos y profesionales del sector.

### ¿Cómo avanza la participación de las empresas en este encuentro?

La participación de las empresas está siendo muy buena. Es nuestra idea que a medida que haya confirmación de la participación de una empresa, ésta aparezca con su logo en la web del Congreso.

## LA PARTICIPACIÓN

### Cuando faltan cuatro meses para la celebración del Congreso, ¿qué previsiones tiene la organización sobre la asistencia?

Mis compañeros del CO son muy optimistas, pero hay que ser prudentes. La ciudad de Valencia está bien comunicada, tiene un gran reclamo, pero lo vuelvo a decir, hay que ser prudentes.

### ¿Qué iniciativas se impulsarán para promover la participación de los jóvenes en Valencia?

Se ha hecho un gran esfuerzo ya que jóvenes investigadores (menor de 35 años) y residentes tienen una tasa de inscripción muy reducida. Además hay una sesión competitiva para ellos con premios a la mejor ponencia.

Como presidente del Comité Organizador, le invitamos a transmitir un mensaje a todos los socios de la SEPR para que asistan al Cuarto Congreso Conjunto.

Tal como dije en mi presentación, el lema del Congreso es *Física y Salud: Retos de la Física Médica y la Protección Radiológica* y, acorde con ello, es una oportunidad para exponer con rigor científico y calidad las numerosas ponencias y debates que se están organizando en torno a la Física Médica y la Protección Radiológica, para lo cual os animamos a participar y así poder conseguir un nivel alto de calidad científica, utilidad e interés y que a la vez colme vuestras expectativas.

Pensamos que este 4º Congreso Conjunto SEFM-SEPR es, además, una oportunidad para visitar Valencia. Esta ciudad milenaria, con un gran legado histórico, ha apostado por el desarrollo innovador del siglo XXI a través de la Ciudad de las Artes y las Ciencias, l'Hemisfèric, el Palau de les Arts, el Museu de les Ciències y l'Oceanogràfic, los cuales son ejemplos de ciudad abierta, moderna e innovadora.

## LA JUNTA DIRECTIVA INFORMA

La Junta Directiva celebró la reunión en Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, el día 12 de diciembre de 2014.

Durante la misma, Eduardo Gallego informó sobre el borrador del programa científico del Congreso Conjunto de Valencia. Se hicieron puntualizaciones que se enviaron al presidente del congreso, Gumersindo Verdú, y a al copresidente científico de la SEPR, Eugenio Gil.

La vicepresidenta, Mercè Ginjaume, presentó cómo se ha desarrollado y cuáles han sido los logros del plan de actividades científicas del año 2014 y se definieron las temáticas para desarrollar jornadas científicas durante el año 2015. Informó sobre la reunión de la Comisión de Actividades Científicas que tuvo lugar el día 19 de diciembre en el Ciemat y cuya reseña aparece también en esta sección.

Otro de los temas que se trataron fue la renovación parcial de los comités de Publicación y Científico de RADIOPROTECCIÓN. La actual directora, Ángeles Sánchez había expuesto a la Junta Directiva su decisión de dejar el puesto después de haber dirigido durante más de cuatro años la revista en una etapa crucial en la que ésta ha comenzado su andadura digital. La Junta Directiva agradece, de una forma muy especial, la estupenda labor llevada a cabo por Ángeles Sanchez al frente de su dirección. La persona designada como nueva directora es Cristina Correa, una persona que siempre ha estado muy vinculada con la Sociedad. En el próximo número de la revista se dará información detallada sobre los cambios de otros miembros del Comité de Redacción.

La tesorera Elena Alcaide, presentó las cuentas e hizo un repaso a la situación económica y financiera de la Sociedad. Se están estudiando las implicaciones que los patrocinios de las empresas pueden tener en la situación jurídica de la Sociedad y la necesidad de adaptarse a ello.

*Beatriz Robles  
Secretaria General de la SEPR*

## Reunión de la Comisión de Actividades Científicas

El día 19 de noviembre de 2014 tuvo lugar en el Ciemat la reunión anual de la Comisión de Actividades Científicas (CAC) de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR).

Atendiendo al orden del día, la presidenta de la Comisión dio comienzo a la reunión informando a los asistentes de las actividades llevadas a cabo por la SEPR durante el ejercicio de 2014, con objeto de realizar un análisis conjunto del cumplimiento de los objetivos previstos para el mismo.

En este sentido destacó como objetivo cumplido el éxito obtenido en la creación de la Plataforma Española de I+D en Protección Radiológica (PEPRI) con la participación de unas cuarenta instituciones relacionadas con la materia con las que se ha comenzado la andadura de esta Plataforma, la ejecución del Plan de Actividades Científicas previsto para 2014, que ha supuesto un mayor número de actuaciones respecto a las de otros años, los buenos resultados de la *Jornada La Protección Radiológica* en 2013 organizada por la Sociedad en abril de 2014 y la buena colaboración con otras sociedades afines.

Como aspectos mejorables se citó la necesidad de impulsar la revisión del Plan Estratégico de la SEPR y la participación de los jóvenes en las actividades de la Sociedad. Finalmente, se debatió



sobre la importancia de la colaboración entre la SEPR y la SEFM para la organización del Congreso Conjunto a celebrar en 2015.

A continuación se realizó un análisis en detalle de las actividades realizadas por los grupos de trabajo de la Comisión y otros socios de la SEPR durante 2014, del que se pudo concluir que el cumplimiento había sido cercano al 100%, habiéndose organizado todas las reuniones y jornadas previstas para 2014, todos los cursos y talleres excepto uno, todas las publicaciones y todas las actividades en las que la SEPR figuraba como colaboradora. Asimismo, aunque no programado en el Plan de Actividades, se había finalizado el libro web sobre el III Congreso conjunto SEFM-SEPR, celebrado en Cáceres en 2013.

En relación a la página web de la SEPR, se habló sobre la consolidación de la sección de preguntas y respuestas, con una frecuencia aproximada de dos preguntas por semana, así como de la creciente presencia de la SEPR en las redes sociales, con dos páginas de Facebook, de 5.000 y 1.500 amigos, una cuenta de Twitter con 150 seguidores y una de LinkedIn con, aproximadamente, 500 contactos.



### Propuesta preliminar de actividades para 2015

En esta sección se presentaron, de forma preliminar, las actividades sobre las que los grupos de trabajo y otros miembros de la Sociedad tienen previsto trabajar durante 2015 (ver tabla adjunta), destacando la organización del III Congreso Conjunto SEPR-SEFM que tendrá lugar en Valencia en 2015, para lo que se reservó un punto específico del orden del día, y durante el cual el vicepresidente del Comité Organizador del Congreso presentó a los asistentes la situación actual en la que se encontraba el proceso.

En otro orden de cosas se debatió la necesidad de introducir algunas modificaciones en la composición de la CAC para adaptarse a las nuevas líneas de trabajo actuales, que serán analizadas y estudiadas por la Junta Directiva de la Sociedad.

Finalmente la presidenta de la CAC dio por concluida la reunión, considerando cumplidos todos los objetivos de la misma, agradeciendo a todos los presentes su asistencia y contribución y emplazando a los mismos a seguir trabajando en la misma línea de colaboración y profesionalidad.

#### ACTIVIDADES DE LA SEPR PREVISTAS PARA 2015

Actividades 2015	Observaciones
<b>PUBLICACIONES</b>	
Revista <b>RADIOPROTECCIÓN</b>	1 número ordinario + 2 monográficos + 1 del Congreso
Página web de la SEPR	www.sepr.es
Pruebas de aceptación en diagnóstico por imagen	Descargable web
Protocolo de control de calidad en medicina nuclear	Descargable web
Guía sobre la metodología de estimación de dosis internas	Descargable web
Guía sobre la vigilancia de emisores alfa en centrales nucleares.	Descargable web
<b>CURSOS Y TALLERES</b>	
II Curso sobre "Monitores de radiación tipo pòrtico"	UPM (patrocinio Enresa)
<b>REUNIONES Y JORNADAS CIENTÍFICAS</b>	
II European Workshop on the Ethical Dimensions of the Radiological Protection System	Madrid (04-06 febrero 2015)
Jornada sobre "La Protección Radiológica en 2014"	Madrid (abril 2015)
IV Congreso conjunto SEPR-SEFM	Valencia (24-26 junio 2015)
Jornada sobre dosimetría del cristalino	Barcelona (3 febrero 2015)
<b>OTRAS ACTIVIDADES EN LAS QUE COLABORA LA SEPR</b>	
IRPA	Buenos Aires (12-17 abril 2015)
<b>EXPOSICIÓN PERMANENTE</b>	
Expo'PR	Centro Tecnológico Mestral Vandellòs (Tarragona)

Mercè Ginjaume y Sofía Luque

### Jornada Técnica sobre Dosimetría Interna

El pasado 19 de noviembre de 2014 se celebró en el salón de actos del Ciemat la *Jornada Técnica sobre Dosimetría Interna* con la participación de un gran número de asistentes. Esta jornada estaba enmarcada en las actividades del Comité de Actividades Científicas de la SEPR y fue organizada por la SEPR y el Ciemat con la colaboración del CSN, Enresa y Tecnatom.

La jornada fue inaugurada por Margarita Vila, subdirectora de Relaciones Institucionales y Transferencia de Tecnología del Ciemat; Javier Zarzuela, subdirector de Protección Radiológica Operacional del CSN y Mercè Ginjaume, vicepresidenta de la SEPR.

Las presentaciones técnicas de la Jornada estuvieron a cargo de M<sup>a</sup> Luisa Tormo (CSN) que expuso la ponencia **Marco regulador de la dosimetría interna en España. Situación actual**. Su presentación consistió en mostrar el ámbito del marco regulador de la dosimetría interna en España presentando las disposiciones de la reglamentación nacional en esta materia, tanto en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, como en las guías de seguridad del CSN (N<sup>o</sup> 7.1), recomendaciones internacionales (ICRP103, Guía de seguridad RS-G-1.2 del OIEA y Normas ISO 20553, 28218, 27048). También hizo una breve descripción de los servicios de dosimetría interna autorizados en España y como consideración final puso de manifiesto el esfuerzo que habrá de llevarse a cabo para la incorporación en el marco regulador del CSN de las nuevas recomendaciones internacionales.

La segunda exposición **Hacia la armonización y la investigación coordinada en dosimetría interna en Europa** corrió a cargo de María Antonia López (Ciemat) cuya ponencia versó sobre el marco de trabajo actual de la comunidad internacional en dosimetría interna y expuso una revisión de las principales novedades y los últimos avances en investigación y armonización en Europa. Aspectos a destacar son la coordinación de la investigación desde la plataforma EURADOS (*European Radiation Dosimetry Group*), la adaptación de las nuevas recomendaciones de ICRP103 en esta materia y los nuevos informes OIR (*Occupational Intake of Radionuclides*) de ICRP para exposición interna ocupacional y para el público en general, que incluye la actualización de modelos biocinéticos y de los coeficientes de dosis para la estimación de la dosis efectiva comprometida E(50) mSv. También informó sobre la normativa ISO en dosimetría interna, la nueva versión de las Guías IDEAS para el cálculo de dosis por exposición interna y el proyecto TECHREC (*Technical Recommendations on internal dosimetry*) de la Comisión Europea, proyecto en el que participa el Ciemat.



M<sup>a</sup> Luisa Tormo durante la presentación de su ponencia.

A continuación, el tercer ponente Borja Bravo (Tecnatom) expuso **Dosimetría interna ocupacional en el ciclo de combustible** donde hizo un recorrido sobre la justificación de la vigilancia ocupacional de

la dosimetría interna en el marco del sector nucleoelectrónico, mostró los medios técnicos, métodos de medida, y capacidades del servicio de dosimetría interna de Tecnatom que actúa como referente sectorial y su labor como apoyo al grupo radiológico del CSN para los planes de emergencias. En este mismo marco se sumó la presentación de Eduardo Sollet (Unesa) con el tema: **Actualización de la aplicación INDAC** donde expuso que esta nueva versión de INDAC amplía las capacidades de la versión 2.5 (2002) e introduce mejoras significativas en la parametrización de variables, incorpora el modelo gastrointestinal HRTM, amplía la lista de radionucleidos en la librería de INDAC, e introduce mejoras en los métodos de ajuste de la estimación de la incorporación.

En la segunda parte de la jornada se abordó uno de los temas más novedosos y de interés para el sector sanitario:

La Dra. Cécile Challeton-de Vathaire (IRSN) comenzó su presentación **Monitoring and internal dosimetry for staff exposed to medical radionuclides as unsealed sources**. En su intervención presentó los resultados de las campañas de evaluación de dosis efectivas internas realizadas por el IRSN a los trabajadores del sector de medicina nuclear durante 5 años 2006-2010. Puso de manifiesto que las contaminaciones más habituales son producidas por I-131, Tc99m, Tl-201 y F-18. Señaló cuáles eran las circunstancias más comunes para estas contaminaciones y se hizo la valoración de dosis efectivas internas para 31 trabajadores. Expuso las últimas publicaciones y recomendaciones de ICRP 78 y 57 en caso de riesgo de exposición interna por trabajar con fuentes radiactivas no encapsuladas y presentó la nueva norma ISO 16637 (de publicación inminente) sobre la necesidad de programar controles para casos de contaminación interna, qué técnicas de medida son las más apropiadas y el diseño de programas de control (según ISO20553). Finalmente, abordó la interpretación de los datos para la mejor estimación de dosis efectiva interna en estos casos.

Finalmente, el Dr. Xavier Moya (IRSN) expuso **Results of the «in vivo» and «in situ» internal dosimetry monitoring campaign to workers from the nuclear medicine sector in France**. Presentó el trabajo y las conclusiones de una campaña de medidas de contaminación interna realizada en Francia, a personal expuesto del sector médico que trabaja con fuentes no encapsuladas. Expuso los medios del IRSN para esta campaña, las técnicas utilizadas en laboratorios fijos y móviles, las características técnicas de ambos, las medidas realizadas a trabajadores de organismo total (Tc-99, F18, In-11, Tl-201) y de tiroides (I-125, I-131 y I-123). El balance de las cuatro campañas de medidas de 2012 a 193 trabajadores de Medicina Nuclear (MN) y 15 trabajadores independientes dio como resultado que 32 de los controlados tenían contaminación interna. La campaña de 2013 se realizó a 156 trabajadores de MN y 30 trabajadores independientes y también dio como resultado que 32 de los controlados tenían contaminación interna. Mostró la experiencia de cuatro años de un Servicio de Medicina Nuclear desde 2009 al 2012 con una media de 26 trabajadores por año medidos y nueve de ellos (valor medio) a los que se les detecta contaminación interna.

Una vez terminadas las presentaciones se abrió un coloquio en el que los ponentes respondieron a las preguntas, comentarios y sugerencias de la audiencia sobre este tema. Los asisten-

tes dialogaron sobre todos los aspectos tratados en la jornada.

Como cierre, Teresa Navarro (Ciemat) agradeció a los ponentes su esfuerzo y participación y emplazó a los asistentes a reflexionar sobre los retos que la nueva Directiva Europea (2013/59/Euratom) y las nuevas normas internacionales plantean a los profesionales de la protección radiológica y, especialmente, a los que se dedican a la dosimetría de radiaciones ionizantes, respecto a la necesidad de controlar a los trabajadores del sector hospitalario que trabajen con fuentes no encapsuladas.

Teresa Navarro, CIEMAT

## 2ª Edición del curso **Protección Radiológica en las Industrias NORM**

Los días 18, 19 y 20 de noviembre y en las instalaciones del Centro Nacional de Aceleradores en la Isla de la Cartuja (Sevilla) se celebró la segunda edición del curso titulado **Protección Radiológica en las Industrias NORM**. Dicho curso ha sido organizado por la Sociedad Española de Protección Radiológica, con la colaboración de la Universidad de Sevilla, Ciemat, CSN y Enresa. Como responsables del Curso actuaron Juan Carlos Mora (Ciemat) y Rafael García-Tenorio (Universidad de Sevilla) actuando en las labores de coordinación entre el curso y la Sociedad, Beatriz Robles (SEPR).

El curso, segundo de una serie que comenzó en el 2012 y que, en vista del éxito alcanzado en ambas ediciones tendrá continuidad con seguridad en ediciones posteriores, está motivado por la preocupación hacia los posibles incrementos a la exposición a la radiactividad natural que se producen en una serie de industrias denominadas NORM (del acrónimo en inglés de *Naturally Occurring Radioactive Materials*). Los esfuerzos tanto por parte del OIEA, que viene realizando desde el año 2006 guías específicas que consideran la protección radiológica en estas industrias, como de la Unión Europea, quien ha promovido recomendaciones específicas y la existencia de Redes de intercambio de experiencias, como del CSN español, que financió diversos estudios encaminados a evaluar el posible impacto radiológico de estas industrias, dan una idea de la amplitud que la regulación que este tipo de radiactividad plantea en las Industrias afectadas.

En este curso se ha proporcionado una información exhaustiva a los agentes afectados, de forma que se facilite la realización de los estudios de evaluación que las industrias involucradas están obligadas a realizar. Además se ha dado soporte a esas industrias y a las empresas que deben realizarlas así como información a las UTPR o centros que vayan a realizar dichas evaluaciones. Finalmente, y como punto clave, el curso sirve de punto de encuentro entre todos los actores involucrados.

En esta segunda edición han participado un total de 26 alumnos procedentes de industrias NORM, UTPR, universidades y Administración, siendo importante mencionar la participación de alumnos procedentes de las industrias involucradas. Dichos alumnos recibieron un total de doce horas teóricas sobre legislación, sobre los estudios pilotos realizados en industrias NORM, los procedimientos para la determinación de dosis, la gestión de los materiales residuales producidos en las industrias NORM, la valorización de esos materiales y sobre la problemática del radón en este tipo de industrias. Todo ello, como novedad en esta

edición, se vio incrementado por nueve horas prácticas en las que los alumnos analizaron y estudiaron casos que se pueden plantear en este campo, tomaron contacto con diferentes códigos para la estimación de dosis recibidas por trabajadores y tuvieron una sesión de laboratorio en la que entraron en contacto con los sistemas de medida más utilizados en las medidas de radiactividad en estas industrias NORM. Las sesiones prácticas realizadas, complementadas cada día con una mesa redonda de una hora duración, permitieron crear una atmosfera de implicación y participación del alumnado extremadamente positiva.

Terminaremos indicando que el éxito alcanzado por este curso encuentra su fundamento y cimiento en la motivación y dedicación del profesorado especializado que impartió las diferentes sesiones: Juan Carlos Mora y Beatriz Robles (Ciemat), José Luis Martín Matarranz (CSN), M<sup>o</sup> Teresa Ortiz, M<sup>o</sup> Teresa López y Pedro Carboneras (Enresa), Luis Quindós (Universidad de Cantabria), Juan Pedro Bolívar (Universidad de Huelva) y Rafael García-Tenorio, Guillermo Manjón, Juan Mantero e Inmaculada Díaz (Universidad de Sevilla).

Rafael G<sup>a</sup> Tenorio y Juan C. Mora  
Organizadores del curso.

## Plan de I+D en Protección Radiológica de PEPRI

Hasta la fecha se han incorporado a la Plataforma Nacional I+D en Protección Radiológica, PEPRI, 48 entidades que realizan actividades relacionadas con la I+D en protección radiológica con la siguiente distribución por sectores:

Sector	Nº Miembros
Hospitalario	7
Instituciones de I+D y universidades	26
Industria y energía	3
Ingeniería y servicios	6
Equipos	3
Regulador	1
Otros	2

El pasado 11 de diciembre se celebró en Madrid la primera reunión del Grupo de trabajo *ad hoc* de PEPRI para elaborar una propuesta de Plan de I+D en Protección Radiológica. Este documento pretende ser un instrumento mediante el que se establecen las condiciones de contorno para el desarrollo de las líneas de I+D en protección radiológica. Identifica las prioridades científico técnicas, recoge los objetivos que se pretenden alcanzar y propone las líneas de mayor interés en la I+D en protección radiológica en España, facilitando su presentación a los agentes financiadores nacionales e internacionales.

De forma esquemática, su contenido incluye los siguientes aspectos:

- Objetivos generales y específicos de las actividades de I+D en protección radiológica.
- Líneas técnicas en las que se propone debe unificarse el esfuerzo de investigación en protección radiológica en España.
- Descripción de programas en curso, agentes e infraestructuras.
- Priorización de áreas de actividad, identificando actividades a corto (3 años), medio (3-5 años) y largo (>5 años) plazo, cuando sea posible.

- Capacidades científico-técnicas e infraestructuras.
- Propuesta de acciones.
- Instrumentos de gestión y difusión.

El objetivo es poder presentar este Plan de I+D en protección radiológica en el Congreso Conjunto de la SEPR y SEFM, que se celebrará en Valencia del 23 al 26 de junio del 2015.

La próxima reunión del Consejo Gestor de la PEPRI se celebrará en Sevilla, por invitación de su Universidad, el 26 de febrero de 2015.

Respecto a la organización de la participación española en el próximo programa europeo de investigación en protección radiológica dentro del *Horizon 2020*, en octubre de 2014 el consorcio europeo *Concert* presentó a la Comisión Europea (CE) una propuesta para gestionar toda la I+D de protección radiológica europea. Actualmente forman parte de este consorcio el Ciemat, en su papel de *Program Manager* nacional (PM) y el CREAL.

El Ciemat ha informado que la propuesta está en evaluación por parte de la CE y se espera tener resultados de esta evaluación a finales de febrero o principios de marzo. Una vez finalizada esta evaluación se abre un periodo de negociación entre la CE y *Concert*, que está previsto dure tres meses.

Durante esta fase de negociaciones habrá opción de que el PM proponga nuevos participantes nacionales en *Concert*. Estos deben cumplir los siguientes criterios:

- Tener un papel claro asignado en el Consorcio *Concert*.
- Tener un acuerdo marco de colaboración con el Ciemat aplicable a este campo.

Sin embargo, parece ser que va a ser posible también incorporarse al Consorcio posteriormente, a través de las sucesivas convocatorias que se vayan haciendo.

La fecha prevista para la firma del convenio entre *Concert* y la CE es junio 2015, por lo que la primera convocatoria abierta de *Concert* sería a finales del 2015 o principios del 2016.

Más información de PEPRI en 

Comité de redacción

## Libro de ponencias del 3<sup>er</sup> Congreso Conjunto SEFM-SEPR

La edición digital de ponencias del 3<sup>er</sup> Congreso Conjunto de la Sociedad Española de Física Médica (SEFM) y la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) celebrado en Cáceres entre el 18 y 23 de junio de 2013, ya está a disposición de todos los socios en nuestra página web. Bajo el título *Seguridad y garantía de calidad en los avances tecnológicos de Física Médica y Protección Radiológica* el libro recoge todas las ponencias presentadas en dicho Congreso, con un completo y automatizado índice de autores para que, con un solo click, se acceda de forma inmediata a la documentación buscada. Además, el documento puede ser impreso y descargado en PDF.



Comité de redacción

## La SEPR responde

Dentro de los cambios producidos en la web se introdujo en los últimos años una nueva sección, propuesta por la expresidenta Marisa España y por Teresa Navarro, denominada *Pregunta a la SEPR*. Esta sección, magistralmente gestionada hasta la fecha por Isabel Sierra y por Leopoldo Arránz, recoge las inquietudes de aquellas personas que acuden a la web de la SEPR para obtener respuestas.

De este modo tanto los socios de la SEPR como personas que se encuentran preocupadas por los efectos de las radiaciones, ionizantes o no, pueden plantear sus preguntas. Dichas preguntas son reenviadas a expertos de la Sociedad, seleccionados por los administradores de la sección, que elaboran las respuestas que se transmiten y almacenan en nuestra web.

Si bien todas las preguntas y respuestas pueden consultarse, creemos que es de interés para los socios aprovechar estas líneas para mostrar el resultado de más de un año de funcionamiento de la sección. En ella se han creado cuatro categorías de preguntas: *Información General*, *Radiaciones No Ionizantes*, *Aplicaciones Médicas* y *Radiación Natural*, donde se recogen, abiertas a todo el público y a día de hoy, un total de 12, 19, 38 y 1 preguntas respectivamente. La mayoría de las preguntas, por tanto, están dirigidas a resolver inquietudes relacionadas con estas aplicaciones médicas. Además de estas preguntas se recopilaban una serie de preguntas frecuentes con sus correspondientes respuestas.

Es evidente que la Sección resulta útil y que se está convirtiendo en una herramienta fundamental de comunicación de la SEPR con los socios, los profesionales que aplican las radiaciones y la sociedad en general.

Nos ha parecido adecuado presentar en estas líneas, a modo de ejemplo pero sin pretender que estas sean las más representativas, algunas de las preguntas:

- Tengo una compañera de trabajo a la que le han realizado una Gammagrafía renal con Captopril. El caso es que me dio un abrazo a las 7 horas, después de haberse realizado la prueba. Estoy embarazada de 25 semanas y quería saber si he corrido algún riesgo. Su doctora, según ella, le dijo que después de una hora de la prueba ya no había riesgo. Quisiera saber si esto es así.
- Mi padre, que era médico internista, tenía un aparato de rayos X en casa. Él falleció hace años, pero el aparato sigue en la casa. Queremos deshacernos de él, bien sea mediante donación a algún museo o fundación, o bien reciclándolo. Los contactos que hemos hecho hasta ahora han sido infructuosos. ¿Podrían aconsejarnos el mejor modo de proceder?
- El personal de enfermería que está en quimioterapia, ¿puede rotar al Servicio de Radioterapia? Ojalá me puedan orientar, soy de Mexicali, Baja California, México.



Figura 1.- Categorías de las preguntas recogidas en la sección "Pregunta a la SEPR".

- Soy pediatra reumatóloga. A menudo en la consulta realizamos gammagrafía ósea para diagnóstico diferencial de múltiples patologías (traumáticas, infecciosas, crónicas, etc.). Me gustaría saber: 1) ¿Cómo se mide la radiación que estos pacientes reciben?, ya que no encuentro nada claro para el paciente pediátrico y los padres lo preguntan a menudo. En ocasiones he leído que es similar a un TAC craneal, pero desde mi servicio de medicina nuclear dicen que se emplea poco contraste y que es muy poca radiación. ¿Cómo se mide? ¿A qué sería equivalente? Dependiendo del peso usan una cantidad de contraste, pero supongo que la radiación recibida será por superficie corporal, de tal manera que será proporcional la dosis al tamaño del niño y que, por lo tanto, aunque se use poco contraste, si el niño es pequeño sería proporcional, ¿no? La verdad es que no lo sé. 2) Nosotros vemos a los niños la misma mañana que se realizan la gammagrafía, pero supongo que verlos ese mismo día hace que estemos expuestos a la radiación durante un mínimo de un cuarto de hora que suele durar la consulta y que eso a la larga no es bueno. Podemos ver como tres niños de esos cada mes, algún mes sobre todo en invierno más. Perdonen la cantidad de preguntas, pero nunca me quedan claro estos dos aspectos.
- Me gustaría que me informaran sobre los teléfonos inalámbricos dect. Yo tengo uno desde hace años y he leído que emiten las mismas ondas que una antena móvil.
- Soy un particular que ha visto con mucho interés vuestra página y deseo plantear una consulta por desconocimiento de la materia. Tengo cerca de mi puesto de trabajo, unos dos metros, el cuadro eléctrico de la planta de mi oficina. Mi pregunta es si esto puede ser un problema para mi salud. ¿Este tipo de cuadros eléctricos pueden emitir algún tipo de radiación?
- Voy a viajar a Japón por dos semanas y quisiera saber si existe riesgo de radiación en la comida y qué precauciones debo tomar en general.

En la sección pueden consultarse todas las preguntas recibidas y las correspondientes respuestas. Esperamos como siempre que todas las actividades que realizamos desde el Comité de Redacción sean de utilidad para todos los socios.

Juan Carlos Mora  
Coordinador web de la SEPR

# Efecto genotóxico, radioprotector y radiosensibilizante de la curcumina y el *trans*-resveratrol en cultivos *in vitro* de linfocitos humanos

Víctor Adolfo Fisher<sup>1,2</sup>, Beraya Tirsia Muñoz<sup>2,3</sup>, Natividad Sebastià<sup>4</sup>, Laura Gómez-Cabrero<sup>2,3</sup>,  
Verónica La Parra<sup>2,3</sup>, David Hervás<sup>5</sup>, Regina Rodrigo<sup>3</sup>, Juan Ignacio Villaescusa<sup>2,6</sup>,  
José Miguel Soriano<sup>7,8</sup> y Alegría Montoro<sup>2,6,8</sup>

<sup>1</sup>Centro Internacional de Radiocirugía y Radioterapia Oncológica. Panamá.

<sup>2</sup>Servicio de Protección Radiológica, Hospital Universitario y Politécnico La Fe.

<sup>3</sup>Biomedicina molecular, celular y genómica, Instituto de Investigación Sanitaria La Fe. H. Universitario y Politécnico La Fe.

<sup>4</sup>Servicio de Protección Radiológica. Instituto de Investigación Sanitaria La Fe (IISLAFE), H. Universitario y Politécnico La Fe.

<sup>5</sup>Unidad de Bioestadística del IISLAFE, Hospital Universitario y Politécnico La Fe.

<sup>6</sup>Grupo de Investigación Biomédica en Imagen GIBI230. IISLAFE, Hospital Universitario y Politécnico La Fe.

<sup>7</sup>Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad de Valencia

<sup>8</sup>Unidad Mixta de Investigación en Endocrinología, Nutrición y Dietética Clínica. IISLAFE, H. Univers. y Politécnico La Fe.

**RESUMEN:** La curcumina y el *trans*-resveratrol son compuestos polifenólicos de origen natural. La curcumina es obtenida a partir de los rizomas de la planta de la cúrcuma (*Curcuma longa*), mientras que el *trans*-resveratrol se encuentra en uvas, moras y otras bayas. Estos compuestos presentan propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, inmunoestimulantes y anticancerígenas, entre otras. Además, también se les conoce por sus propiedades radiomoduladoras, ya que son capaces de radioproteger o radiosensibilizar a células sanas o tumorales dependiendo de diversos factores. Esta doble acción puede ser resultado de su capacidad para eliminar o secuestrar radicales libres así como su influencia sobre los mecanismos o puntos de control del ciclo celular, activados en respuesta al daño genético inducido por la radiación. A pesar de las múltiples propiedades beneficiosas que se les atribuye a estos compuestos polifenólicos, algunos estudios sugieren que éstos podrían ser agentes genotóxicos para algunas líneas celulares.

Los resultados obtenidos en este estudio ponen de manifiesto que ambos compuestos poseen un efecto radioprotector en linfocitos de sangre periférica cuando éstos se encuentran en la fase de reposo del ciclo celular (G0); sin embargo, son capaces de radiosensibilizar a este tipo de células cuando se encuentran en la fase de crecimiento (G2). Además, observamos un efecto de genotoxicidad diferente según la concentración de cada compuesto.

Por tanto, este estudio sugiere que la curcumina y el *trans*-resveratrol pueden ejercer un triple efecto, genotóxico, radioprotector y radiosensibilizante sobre los cultivos de linfocitos humanos dependiendo de las condiciones de estudio.

**ABSTRACT:** Curcumin and *trans*-resveratrol are natural polyphenol compounds. Curcumin is obtained from the rhizomes of the Curcumin plant (*Curcuma longa*), while *trans*-resveratrol is found in grapes, blackberries and other types of berry. These compounds have antioxidant, anti-inflammatory, immunostimulant and anticarcinogenic properties among others. In addition, they are also known for their radiomodulating properties since they are capable of providing radioprotection or radiosensitization for normal or tumours cells depending on different factors. This dual action may be the result of their properties, such as free radicals scavenging, as well as their influence on cell cycle checkpoints or control mechanisms. These are activated in response to the genetic damage induced by radiation. Despite the many beneficial properties attributed to these polyphenol compounds, some studies suggest that they are able to be genotoxic agents for some cellular lines. The results obtained indicate that both compounds possess a radioprotective effect on the lymphocytes of peripheral blood in the quiescent phase of the cellular cycle (G0). Nevertheless, they are capable of induce radiosensitivity on these type of cells in the growth phase (G2), and in addition, a different genotoxic effect can be seen according to the concentration of each compound.

This study suggests, therefore, that curcumin and *trans*-resveratrol are able to exert a triple effect, genotoxic, radioprotective and radiosensitizing on *in vitro* cultures of human lymphocytes depending on the study parameters.

Palabras claves: genotoxicidad, radioprotectores, radiosensibilidad, compuestos polifenólicos  
Keywords: genotoxicity, radioprotectors, radiosensitivity, polyphenolic compounds



## ANTECEDENTES

Durante varias décadas las radiaciones ionizantes provenientes de materiales radiactivos y equipos generadores de radiación ionizante han sido utilizadas en diferentes aplicaciones en la medicina, industria, investigación y docencia. Sin embargo, un aumento en el uso de las fuentes de radiación ionizante en estas u otras prácticas, aumentan la probabilidad de exposiciones, planificadas o no (accidentales).

Debido a que los efectos deletéreos que pueden causar las radiaciones ionizantes son ampliamente conocidos, en los últimos años el uso de sustancias radioprotectoras ha despertado un gran interés en las áreas de la industria nuclear, misiones espaciales, seguridad frente ataques terroristas y en medicina, como por ejemplo en el campo de la radioterapia.

Varios compuestos sintéticos y naturales han sido estudiados en el pasado debido a su eficacia para proteger a los sistemas biológicos de los efectos deletéreos de la radiación, sin embargo, la toxicidad y efectos secundarios que muestran los agentes sintéticos a las concentraciones radioprotectoras, ha promovido una investigación más enfocada a radioprotectores más seguros a la vez que efectivos, centrándose especialmente en el uso de extractos o principios activos de varias plantas, hierbas o frutos, de los cuales se presupone una toxicidad inferior a la de los radioprotectores sintéticos [1,2], rutas de administración más favorables y farmacocinéticas mejoradas. Varios extractos ya han sido evaluados como radioprotectores, por ejemplo, extracto etanólico de propolis [3], extracto acuoso de *Mentha piperita* [4], extracto acuoso de cítricos [5], infusión de *Aspalathus linearis* [6] etc.; no obstante, estos extractos contienen un gran número de compuestos, así que es difícil evaluar cuál o qué combinación de éstos actúa como radioprotector.

La curcumina y el *trans*-resveratrol son compuestos polifenólicos de origen natural. La curcumina se obtiene a partir de los rizomas o tallos subterráneos de la planta *Curcuma longa*, conocida con el nombre de Cúrcuma o Azafrán de la India y ha sido utilizada en Asia durante siglos como aditivo alimentario, cosmético y medicina natural tradicional [7], mientras que el *trans*-resveratrol es una fitoalexina del subgrupo de los estilbenos, que se encuentra en varias especies de plantas y frutos, como uvas, moras, arándanos o cacahuetes [8]. En la naturaleza el *trans*-resveratrol está presente en forma de dos isómeros, *cis* y *trans*, sin embargo, es más común encontrar el isómero *trans* en las plantas [9]. Estudios de mecanismos de actividad molecular y biológica han mostrado que es éste isómero el que posee propiedades antioxidantes superiores [10].

Nuestro interés se ha centrado en la evaluación de estos dos compuestos por separado. En los últimos años, diferentes estudios han revelado que ambos polifenoles, curcumina y *trans*-resveratrol, presentan propiedades antioxidantes [11],

antiinflamatorias, inmunoestimulantes y anticancerígenas [7]. En concreto, sus propiedades antioxidantes están basadas en ciertas capacidades, tales como la eliminación de radicales libres y el aumento de mecanismos de defensa antioxidante celular. Además, son conocidos por sus propiedades radiomoduladoras, ya que son capaces de radioprotger o radiosensibilizar a células sanas o tumorales dependiendo de diversos factores. De hecho, se ha comprobado que los antioxidantes naturales pueden influir en la regulación de mecanismos relacionados con el daño celular ocasionado por la radiación ionizante [2].

El daño radioinducido en el ADN es uno de los efectos adversos más importantes de la radiación ionizante. Por un lado, para analizar y cuantificar el daño radioinducido en el ADN existen diferentes tipos de técnicas citogenéticas y moleculares; entre ellas, el análisis de cromosomas dicéntricos y la técnica de condensación prematura de cromosomas (PCC, *Premature Chromosome Condensation*); ambas técnicas se recogen en el manual de preparación y respuesta a accidentes radiológicos de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) [12]. Por otro lado, el ensayo G2 desarrollado por Pantelias y Terzoudi [13] se emplea para la evaluación de la radiosensibilidad individual basándose en la comparación de las dinámicas de reparación del daño radioinducido en el ADN en presencia o no de la cafeína, sustancia que elimina el punto de control existente entre la fase G2 y M del ciclo celular y representa una situación de radiosensibilidad extrema a la radiación ionizante; este ensayo también se utiliza para la evaluación del posible efecto radiosensibilizante de determinadas moléculas o compuestos químicos. Respecto a la evaluación de la genotoxicidad, técnicas de análisis de distintos tipos de aberraciones cromosómicas o la técnica del intercambio de cromátidas hermanas (SCE, *Sister Chromatid Exchange*) son frecuentemente utilizadas [14].

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto genotóxico, radioprotector y radiosensibilizante de diferentes concentraciones de curcumina y *trans*-resveratrol, de forma independiente, en cultivos de linfocitos humanos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Recogida y preparación de muestras

Los estudios fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad de Valencia. Las muestras de sangre periférica fueron tomadas después de obtener el consentimiento informado de los voluntarios sanos, en tubos estériles Vacutainer que contenían heparina de litio como anticoagulante.

Los estándares de curcumina y *trans*-resveratrol fueron suministrados por Sigma-Aldrich (EEUU). Se prepararon soluciones stock a partir de los estándares puros un día antes de los diferentes ensayos y se almacenaron a -21 °C en oscuridad.

### **Evaluación del efecto genotóxico**

Las muestras de sangre fueron incubadas con diferentes concentraciones de curcumina y *trans-resveratrol* por separado, sin ser expuestas a radiación ionizante. A partir de las soluciones stock y utilizando etanol (95 %) como solvente, se prepararon las diluciones necesarias para obtener concentraciones finales de 1.4, 2.7, 5.4, 14, 28 y 140  $\mu\text{M}$  de curcumina y 2.2, 22 y 220  $\mu\text{M}$  de *trans-resveratrol* en 12 ml de sangre periférica humana, añadiendo en todos los casos un volumen de 250  $\mu\text{l}$  de las diluciones de compuestos.

### **Evaluación del efecto radioprotector mediante la técnica de análisis de cromosomas dicéntricos (gold standard)**

Las muestras de sangre fueron incubadas con diferentes concentraciones de curcumina y *trans-resveratrol* por separado, durante una hora antes de la irradiación. A partir de las soluciones stock y utilizando etanol (95%) como solvente, se prepararon las diluciones necesarias para obtener concentraciones finales de 14, 140 y 1400  $\mu\text{M}$  de curcumina y 2.2, 22 y 220  $\mu\text{M}$  de *trans-resveratrol* en 12 ml de sangre periférica humana, añadiendo en todos los casos un volumen de la dilución de los compuestos igual a 250  $\mu\text{l}$ .

### **Evaluación del efecto radioprotector mediante la técnica de PCC**

Para ello, usando etanol 95 % como solvente, se prepararon diluciones de curcumina y *trans-resveratrol* para conseguir las concentraciones de 0.14, 1.4 y 7  $\mu\text{M}$  curcumina y 2.2, 22 y 220  $\mu\text{M}$  *trans-resveratrol* para las pruebas de PCC con linfocitos en fase G0 del ciclo celular. Las muestras de sangre se incubaron con diferentes concentraciones de ambos polifenoles durante una hora antes de proceder a la irradiación.

### **Evaluación del efecto radiosensibilizante mediante el ensayo G2**

Para el ensayo G2, las muestras de sangre con los linfocitos ya estimulados, se incubaron durante una hora con concentraciones de 1.4 y 140  $\mu\text{M}$  de curcumina o con 2.2 y 220  $\mu\text{M}$  de *trans-resveratrol*. Es decir, la adición de los dos compuestos se realizó a las 71 h desde el inicio del cultivo celular, cuando los linfocitos estaban en la fase G2 del ciclo celular, y se mantuvo hasta las 72 h de cultivo.

Los análisis citogenéticos para todos los estudios fueron realizados utilizando un microscopio convencional y un sistema de análisis de imagen con el software IKAROS (MetaSystems Germany).

### **Condiciones de irradiación**

Para evaluar el efecto radioprotector de la curcumina y el *trans-resveratrol* mediante el ensayo de cromosomas dicéntri-

cos, diferentes concentraciones de ambos compuestos fueron añadidas a las muestras de sangre periférica una hora antes de la irradiación e incubadas a 37°C. Transcurrido ese tiempo, las muestras fueron irradiadas a 2 Gy (tasa de dosis de 50  $\text{cGy}\cdot\text{min}^{-1}$ ) usando una Unidad de Teleterapia de Cobalto localizado en el Hospital La Fe. Después de la irradiación, las muestras fueron incubadas de nuevo durante una hora para facilitar los mecanismos de reparación. Como control, un tubo de sangre fue irradiado a 2 Gy sólo en presencia del solvente de los compuestos estudiados (etanol 95%) y otro tubo que contenía sólo sangre fue irradiado a la misma dosis. Durante la irradiación de las muestras, se siguieron las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) [12] para garantizar una irradiación homogénea.

Para evaluar el efecto radioprotector y radiosensibilizante mediante la técnica de PCC y el ensayo G2 la irradiación fue realizada en un irradiador Gamma Cell 220, localizado en el Centro Nacional de Investigación Demokritos (Grecia), a temperatura ambiente y a una tasa de dosis de 45  $\text{cGy}/\text{min}$ . Para las pruebas de PCC, se usaron diferentes tiempos de irradiación para suministrar a las muestras dosis de 2, 4 y 6 Gy, mientras que para el ensayo G2 se usó sólo una dosis de 1 Gy.

### **Condiciones de cultivo**

Para evaluar el efecto genotóxico de ambos compuestos y el efecto radioprotector mediante la técnica de cromosomas dicéntricos, se prepararon cultivos por separado para cada concentración de curcumina y *trans-resveratrol* y para los dos controles con 0.75 ml de sangre y 5 ml de medio PB-Max™ Karyotyping y se incubaron durante 48 y 72 h a 37 °C. Para analizar exclusivamente metafases en primera división, una concentración final de 12  $\mu\text{g}/\text{ml}$  de bromodeoxyuridina estuvo presente desde el inicio del cultivo. Dos horas antes de finalizar los tiempos de cultivo, a las 46 y 70 h, se añadieron 150  $\mu\text{g}$  de Colcemid® para detener las células en la metafase. Tras un tratamiento con una solución hipotónica de KCl, los linfocitos fueron fijados con el fijador Carnoy (metanol:ácido acético, 3:1) y la disolución se dispuso en portaobjetos para su posterior análisis.

Las condiciones de cultivo de las muestras de sangre periférica y las células de ovario de hámster chino utilizadas en la técnica de PCC para evaluar el efecto radioprotector de la curcumina y el *trans-resveratrol* se siguieron de acuerdo a Sebastia y col. [15]. Mediante esta técnica resulta posible evaluar el efecto radioprotector ejercido por los compuestos de forma directa, sin tener en cuenta la influencia del ciclo celular, tal y como se tiene en la técnica de cromosomas dicéntricos.

Para la evaluación del efecto radiosensibilizante de ambos polifenoles mediante el ensayo G2, se prepararon cultivos de



sangre periférica mediante la adición de 1 ml de sangre a 9 ml de medio RPMI-1640 suplementado con 10% de suero fetal bovino, 1% de fitohematoglutina, 1% de glutamina y antibióticos (penicilina: 100 U/ml; estreptomycin 100 g/ml) y se incubaron durante 72 h previamente a la irradiación.

### Técnicas de tinción

Para realizar los análisis citogenéticos y evaluar los efectos genotóxicos, radioprotectores y radiosensibilizantes de la curcumina y el *trans-resveratrol* se han empleado diferentes tinciones: técnica de tinción de bandeado C para la evaluación de efectos radioprotectores mediante el ensayo de dicéntricos, solución de Giemsa (3%) para la evaluación de efectos radioprotectores y radiosensibilizantes mediante la técnica de PCC y ensayo G2, y Técnica de Fluorescencia más Giemsa para evaluar la genotoxicidad.

### Análisis citogenético

Para evaluar el efecto genotóxico y radioprotector de las diferentes concentraciones de curcumina y *trans-resveratrol* se realizó el análisis cromosómico en metafases de primera división que contenían 46 centrómeros. Las aberraciones cromosómicas (AC) se clasificaron en cromosomas dicéntricos (dic) y anillos (r), sólo cuando sus fragmentos acéntricos estaban presentes. También se registraron otras anomalías como roturas cromosómicas (ctb) y gaps, translocaciones e inversiones.

Para el análisis de la genotoxicidad se estudiaron los SCE en metafases en segunda división (en cultivos de 72 h), el índice mitótico (IM) (en cultivos de 48 h) y el índice de proliferación (IP) (en cultivos de 72 h). El número de células analizadas para el estudio de genotoxicidad mediante aberraciones cromosómicas fue de 100 para cada concentración de compuesto y ambos controles. El análisis de la frecuencia de SCE se calculó a partir del recuento de 50 metafases en segunda división. El índice mitótico se calculó para cada concentración y para los controles a partir de las metafases en primera división como la proporción del número de metafases en un total de 500 células. El índice mitótico relativo se calculó como  $IMR = (IM \text{ muestra tratada} / IM \text{ control}) \times 100$ . Para el índice de proliferación se obtuvo, para cada muestra, la proporción de metafases en primera, segunda y tercera división en un total de 100 metafases a partir de la fórmula  $PI = (M1 + 2M2 + 3M3) / 100$  y el índice de proliferación relativo a partir de la fórmula  $IPR = (IP \text{ muestra tratada} / IP \text{ control}) \times 100$ .

La técnica de PCC se realizó de acuerdo con la metodología del grupo de trabajo de Sebastià y col. [15], basado en un método de Pantelias y Maillie [16]. Para el análisis de PCC, el exceso de fragmentos de cromosoma por célula (número de piezas o fragmentos mayor de 46), fueron anotados para cada punto experimental usando un microscopio de

luz acoplado a un sistema de análisis de imagen (IkarosMetaSystems, Germany).

El ensayo de radiosensibilidad, o ensayo G2 estandarizado aplicado a los compuestos estudiados es descrito por Sebastià y col. [15] y está basado en el publicado por Pantelias y Terzoudi [13]. Este método se utiliza para evaluar el potencial radiosensibilizante de los polifenoles estudiados mediante la inducción de roturas cromatídicas en linfocitos cultivados tras su irradiación en fase G2. El daño cromosómico fue visualizado y cuantificado como roturas cromosómicas por célula (ctb/célula). Los gaps cromosómicos fueron contabilizados como roturas sólo cuando presentaban una longitud mayor a la del ancho de la cromátida. Para cada punto experimental se analizaron 50 células y se obtuvieron dos valores diferentes de roturas cromatídicas. El primer valor se obtuvo de la muestra que no fue tratada con cafeína (situación real en un individuo) y el segundo se obtuvo de la muestra tratada con cafeína para eliminar el punto de control G2-M en los linfocitos irradiados en la fase G2 del ciclo celular. La radiosensibilidad individual (RSI) fue calculada usando la fórmula  $RSI = (\text{valor } G2 / \text{valor } G2_{\text{cafeína}}) \times 100\%$ .

La imagen observada al microscopio de cada técnica citogenética empleada para las evaluaciones de genotoxicidad, radioprotección y radiosensibilidad está representada en la Figura 1.

### Análisis estadístico

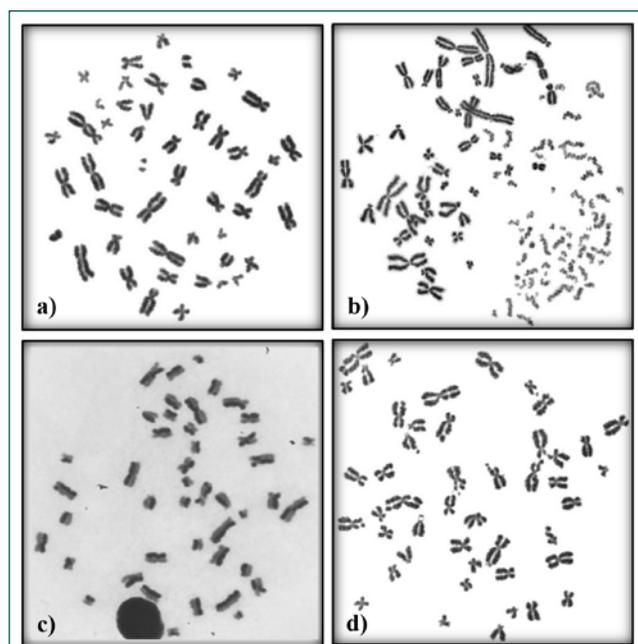
Para el análisis estadístico se utilizó la prueba *t* de Student, en el cual los valores  $P < 0.05$  se consideraron estadísticamente significativos. La correlación se evaluó utilizando el coeficiente de correlación de Spearman. Los análisis estadísticos se realizaron usando SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) versión 10.0 para Windows. La distribución de Poisson se verificó mediante la variable de prueba U del índice de dispersión (varianza / promedio). Un valor de  $U > 1.96$  indica una sobredispersión a un nivel de significancia de 5%.

Para la técnica de PCC y el ensayo G2, el análisis estadístico se realizó usando un modelo de regresión lineal múltiple. Para el ensayo de PCC, el modelo considera como variable de respuesta el daño cromosómico y la dosis de radiación, mientras que los compuestos polifenólicos y sus diferentes concentraciones se consideran variables predictivas. Para el ensayo G2, el modelo considera el valor promedio de ctb/célula como la variable respuesta, y el etanol 95%, concentración del compuesto y cafeína como variables explicativas.

## RESULTADOS

### Evaluación del efecto genotóxico

La actividad genotóxica de estos compuestos polifenólicos ha sido estudiada mediante el análisis de aberraciones cromosómicas (AC) e intercambio de cromátidas hermanas (SCE).



**Figura 1:** Metafases obtenidas con distintas técnicas citogenéticas: a) ensayo de dicéntricos; b) técnica de condensación prematura de cromosomas (PCC); c) técnica de intercambio de cromátidas hermanas (SCE); d) ensayo G2.

Los resultados obtenidos de los análisis de AC en linfocitos humanos no irradiados y sin ningún tratamiento, los tratados sólo con etanol al 95% (solvente) y los tratados a diferentes concentraciones de curcumina o *trans*-resveratrol muestran que la frecuencia de fragmentos acéntricos aumentó cuando las muestras fueron tratadas tanto con el solvente solamente como con las diferentes concentraciones de los polifenoles. Las concentraciones de los compuestos que produjeron mayor frecuencia de fragmentos acéntricos fueron 28 y 140  $\mu\text{M}$  en el caso de la curcumina y 2.2  $\mu\text{M}$  para el *trans*-resveratrol. Para las muestras tratadas con curcumina se observó una relación dependiente de la concentración, es decir, a mayor concentración de curcumina mayor fue la frecuencia de fragmentos acéntricos y AC totales observadas, a diferencia del *trans*-resveratrol, en el cual el aumento de fragmentos acéntricos y alteraciones cromosómicas totales no fue proporcional a la concentración del compuesto. En el caso de otras aberraciones cromosómicas, los datos no muestran una diferencia estadísticamente significativa de las muestras control ni una relación dependiente de la concentración de curcumina o *trans*-resveratrol.

El valor promedio de SCE y la frecuencia de SCE ( $Y_{\text{SCE}}$ ), en linfocitos humanos no irradiados a diferentes concentraciones de curcumina, no mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) al compararlo con los grupos control y etanol 95%. En muestras tratadas con *trans*-resveratrol se observó un aumento en la frecuencia de SCE ( $Y_{\text{SCE}}$ ) dependiente de la concentración, pero sólo en las muestras con concentraciones de 22 y 220  $\mu\text{M}$  se observó una frecuencia de SCE

estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) en comparación con la muestra control (Tabla I). Respecto al índice mitótico (IM) y de proliferación (IP), los datos fueron los siguientes; para la curcumina, concentraciones entre 2.8 y 140  $\mu\text{M}$  aumentaron significativamente los valores del IM respecto al control del etanol 95%. Por otro lado, las concentraciones de 5.6 y 14 aumentaron el IP significativamente. Para el *trans*-resveratrol, ninguna concentración modificó significativamente el IM; sin embargo, las concentraciones de 2.2 y 22  $\mu\text{M}$  aumentaron significativamente el IP respecto al control del etanol 95% (Tabla II).

### Evaluación del efecto radioprotector mediante el ensayo de cromosomas dicéntricos y PCC

Los resultados del estudio de radioprotección de la curcumina y el *trans*-resveratrol mediante la técnica de dicéntricos y de PCC se muestran en las Figuras 2 y 3. Al irradiar linfocitos de sangre periférica en presencia de estos polifenoles se observa que disminuye el número de cromosomas dicéntricos y el número de fragmentos PCC de forma estadísticamente significativa a determinadas concentraciones.

A través del análisis de cromosomas dicéntricos en los linfocitos humanos expuestos a 2 Gy de rayos  $\gamma$ , se demuestra que la frecuencia de cromosomas dicéntricos en muestras pretratadas con diferentes concentraciones de curcumina y *trans*-resveratrol fue significativamente menor ( $p < 0.05$ ) en relación con las muestras no pretratadas con estos compuestos; en concreto, con las concentraciones de 14 y 1400  $\mu\text{M}$

Curcumina ( $\mu\text{M}$ )	$Y_{\text{SCE}}$
0	6.90 $\pm$ 0.60
Etanol 95%	7.53 $\pm$ 0.53
1.4	5.64 $\pm$ 0.50
2.8	6.88 $\pm$ 0.70
5.6	7.16 $\pm$ 0.56
14	6.44 $\pm$ 0.41
28	5.56 $\pm$ 0.59
140	8.00 $\pm$ 0.65
<i>Trans</i> -resveratrol ( $\mu\text{M}$ )	$Y_{\text{SCE}}$
0	6.84 $\pm$ 0.42
Etanol 95%	7.5 $\pm$ 0.42
2.2	7.96 $\pm$ 0.56
22	8.98 $\pm$ 0.49*
220	10.02 $\pm$ 0.49*

\*Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )

**Tabla I:** Frecuencia de SCE ( $Y_{\text{SCE}}$ ) en linfocitos de muestras de sangre periférica humana control y tratadas con distintas dosis de curcumina y *trans*-resveratrol.



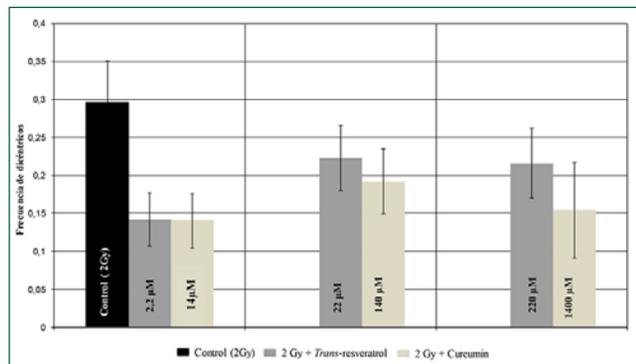
Curcumina ( $\mu\text{M}$ )	IM	IMR	IP	IPR
0	0.04 $\pm$ 0.006	100	1.56 $\pm$ 0.08	100
Etanol 95%	0.04 $\pm$ 0.009	116.28	1.53 $\pm$ 0.08	97.74
1.4	0.05 $\pm$ 0.01	153.90	1.39 $\pm$ 0.06	89.03
2.8	0.08 $\pm$ 0.012*	222.56	1.68 $\pm$ 0.08	107.44
5.6	0.08 $\pm$ 0.012*	232.59	1.89 $\pm$ 0.08*	120.87
14	0.09 $\pm$ 0.013*	239.74	1.95 $\pm$ 0.08*	124.74
28	0.09 $\pm$ 0.013*	247.48	1.61 $\pm$ 0.07	102.97
140	0.09 $\pm$ 0.013*	248.93	1.45 $\pm$ 0.06	92.73
Trans-resveratrol ( $\mu\text{M}$ )	IM	IMR	IP	IPR
0	0.074 $\pm$ 0.011	100	1.64 $\pm$ 0.06	100
0+ 95% Etanol	0.043 $\pm$ 0.009*	58.05	1.53 $\pm$ 0.08	93.09
2.2	0.079 $\pm$ 0.012	106.91	2.26 $\pm$ 0.08*	137.51
22	0.086 $\pm$ 0.012	116.00	2.13 $\pm$ 0.07*	129.88
220	0.057 $\pm$ 0.010	76.42	1.62 $\pm$ 0.06	98.57

\*Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )

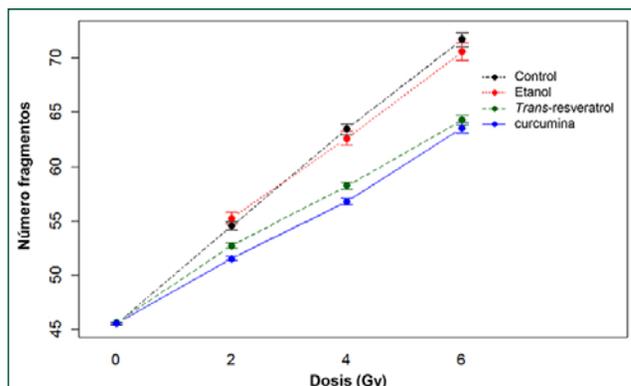
**Tabla II:** Índice mitótico (IM) y de proliferación (IP) en linfocitos de muestras de sangre periférica humana control y en presencia de diferentes concentraciones de curcumina y trans-resveratrol. También se muestran los índices mitótico y de proliferación relativos (IMR e IPR).

de curcumina y 2.2  $\mu\text{M}$  de trans-resveratrol. Estos resultados evidencian que la presencia de los polifenoles estudiados en las muestras irradiadas a 2 Gy disminuye la frecuencia de dicéntricos aunque no de manera dependiente de la concentración. El máximo nivel de radioprotección alcanzado fue 52.0 % y 52.7 % con 14  $\mu\text{M}$  de curcumina y 2.2  $\mu\text{M}$  de trans-resveratrol, respectivamente.

Mediante el método de PCC se investigó el efecto radioprotector frente al daño cromosómico inducido por la radiación en linfocitos de sangre periférica en fase G<sub>0</sub>, sin influencia del ciclo celular. La irradiación de los linfocitos en ausencia de compuestos (control) aumentó el valor promedio



**Figura 2:** Frecuencia de cromosomas dicéntricos en linfocitos de sangre periférica humana expuestos a 2 Gy de radiación  $\gamma$  en muestra control y en presencia de diferentes concentraciones de curcumina y trans-resveratrol.



**Figura 3:** Resultados de la técnica de PCC de las muestras control, linfocitos tratados con etanol 95%, curcumina y trans-resveratrol.

de exceso de fragmentos cromosómicos por célula (4,33 fragmentos/Gy), a diferencia de lo ocurrido en la irradiación de linfocitos en presencia de curcumina y trans-resveratrol. El efecto radioprotector de ambos compuestos puede ser observado en la Figura 3, en la cual se muestran los valores promedios de fragmentos PCC de linfocitos en función de la dosis de radiación (0 – 6 Gy). Cuando se irradiaron las muestras de sangre en presencia de estos polifenoles, se observó una reducción estadísticamente significativa en el daño cromosómico (-1.37/Gy y -1.28/Gy respectivamente), en comparación con la muestra que sólo fue expuesta a radiación. El solvente (etanol 95%) no mostró propiedades radioprotectoras.

### Evaluación del efecto radiosensibilizante mediante el ensayo G<sub>2</sub>

La acción radiosensibilizante de la curcumina y el trans-resveratrol a través de la producción de aberraciones cromosómicas fue analizada en linfocitos de sangre estimulados mediante el ensayo G<sub>2</sub> estandarizado, tratando los linfocitos de sangre periférica con distintas concentraciones de ambos compuestos una hora antes de ser expuestos a 1 Gy de rayos  $\gamma$  a las 72 h del inicio del cultivo. La mayoría de los linfocitos de los linfocitos se encuentran en este periodo en la fase de transición G<sub>2</sub>-M, la cual es una etapa muy radiosensible del ciclo celular. Las roturas cromatídicas por célula (ctb/célula) inducidas por la radiación en presencia o ausencia de estos compuestos polifenólicos son analizadas en la metafase. Los resultados obtenidos bajo diferentes condiciones se muestran en la Figura 4.

La presencia de determinadas concentraciones de curcumina o trans-resveratrol una hora antes de la irradiación en la fase G<sub>2</sub> y durante la transición G<sub>2</sub>-M, aumentó significativamente los valores promedio de ctb/célula en comparación con la cantidad de ctb/célula producidas cuando la irradiación se realizó sin la presencia de estos compuestos polifenólicos. En algunos casos, los valores de ctb/célula fueron

muy similares o superaron a los obtenidos en las muestras tratadas con cafeína (Figura 4).

## DISCUSIÓN

### Evaluación del efecto genotóxico

Los posibles efectos genotóxicos observados en este estudio pueden deberse a la propiedad clastogénica (capacidad de inducir roturas cromosómicas) de la curcumina y la capacidad del *trans*-resveratrol para inhibir a las topoisomerasas (enzimas que regulan el superenrollamiento del ADN) [17]. De acuerdo a Kocaman y col. [18], la curcumina, como agente clastógeno, puede contribuir a la formación de aberraciones cromosómicas a través de la ruptura de la estructura del ADN. Sin embargo, destacamos que la frecuencia de SCE no se modificó significativamente en ningún caso. El hecho de que la curcumina sea un agente clastogénico pero no aumente la frecuencia de SCE, podría deberse a que es un factor clastogénico independiente de la fase S, es decir, capaz de romper el ADN pero sin interferencia en el proceso de replicación del material genético [14 y 19]. Por otro lado, la habilidad del *trans*-resveratrol para inducir aberraciones cromosómicas puede ser explicada por la actividad conocida con el nombre de "envenenamiento de la topoisomerasa" [20]. Las topoisomerasas juegan un papel importante en la replicación, transcripción, segregación, condensación y reparación de los cromosomas [17]. La alteración de esta enzima por parte del *trans*-resveratrol conlleva a una inestabilidad genética, que puede traducirse en cambios cromosómicos como los efectos clastogénicos. Respecto al aumento significativo de la frecuencia de SCE, algunos autores como Matsuoka y col. [21] sugieren que este efecto puede deberse a la capacidad del *trans*-resveratrol para detener el ciclo celular en la fase S y bloquear la horquilla de replicación de la célula.

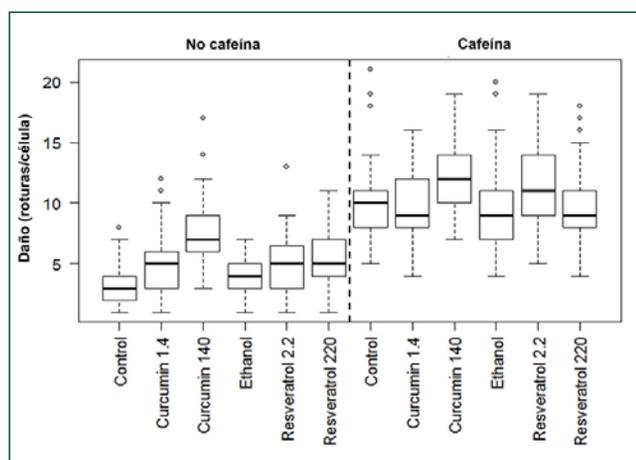


Figura 4: Resultados del ensayo G2 con las muestras no tratadas y tratadas con cafeína (control, etanol 95%, curcumina y *trans*-resveratrol).

### Evaluación del efecto radioprotector mediante el ensayo de cromosomas dicéntricos

Después de irradiar muestras de linfocitos pretratadas con curcumina o *trans*-resveratrol se observó que la frecuencia de dicéntricos y el número total de aberraciones cromosómicas disminuía significativamente respecto a las muestras control no tratadas. Estos resultados están en concordancia con los estudios realizados por Srinivasan y col. [22], los cuales observaron que diferentes concentraciones de curcumina y otros compuestos antioxidantes, como el licopeno y el sesamol, disminuían la frecuencia de cromosomas dicéntricos en comparación con muestras sin pretratamiento e irradiadas con 2 Gy. La capacidad de la curcumina para proteger a las células contra el daño en el ADN puede ser explicada en parte por sus propiedades hidrofóbicas que le permiten atravesar la membrana celular hacia el citosol y por sus propiedades antioxidantes que le permiten secuestrar los radicales libres (como el anión superóxido y el radical hidroxilo) en el medio intracelular. Además, su solubilidad lipídica le permite actuar como antioxidante cuando interacciona con los radicales lipídicos de peróxido formados en la membrana celular al interaccionar la radiación. Otros autores también han estudiado los mecanismos de acción de este compuesto polifenólico. Balasubramanyam y col. [23] demostraron que la curcumina inhibía la generación de especies reactivas de oxígeno. Goel y Aggarwal [24], demostraron que la curcumina protege órganos normales tales como el hígado, riñón, mucosa oral y corazón de la toxicidad inducida por la quimioterapia y radioterapia. Estos efectos protectores se deben a la capacidad de la curcumina de inducir la activación de determinados factores nucleares y la expresión de enzimas antioxidantes (SOD, CAT y GPx). Estos estudios y el hecho que se haya clasificado a la curcumina como farmacológicamente segura [25], podría favorecer el desarrollo de estudios clínicos que demuestren su potencial en el tratamiento de pacientes con cáncer o para proteger personas que residen en áreas donde la radiación de fondo natural es más alta.

Los resultados del efecto radioprotector del *trans*-resveratrol obtenidos en este trabajo son apoyados por los estudios realizados por Carsten y col. [26], quienes administraron *trans*-resveratrol de forma oral a ratones durante dos días antes de ser expuestos a 3 Gy de radiación  $\gamma$  a cuerpo entero y encontraron una disminución estadísticamente significativa en la frecuencia de aberraciones cromosómicas totales por metafase. Varios mecanismos del efecto radioprotector de este polifenol han sido propuestos por diferentes estudios. Yen y col. [27] estudiaron la actividad del *trans*-resveratrol contra el daño oxidativo del ADN en linfocitos humanos causado por otros factores, y observaron que cuando estos



eran tratados con un agente oxidante y pretratados con *trans-resveratrol*, las células mantenían cantidades normales de glutatión (antioxidante intracelular), el cuál inhibe la proliferación de especies reactivas de oxígeno. Además de mantener concentraciones normales de antioxidantes intracelulares, el *trans-resveratrol* es capaz de restaurar a niveles normales algunos enzimas antioxidantes como la glutatión reductasa [28], glutatión peroxidasa, glutatión S-transferasa [27], dismutasa y catalasa [29].

Además de proteger a las células normales contra la radiación, este compuesto polifenólico ha demostrado tener un gran potencial para actuar como radiosensibilizante en células cancerígenas [26], propiedad que podría ser usada para el tratamiento contra el cáncer.

### **Evaluación del efecto radioprotector mediante el ensayo de PCC**

El efecto radioprotector en células en fase de reposo (fase G0) fue evaluado por la metodología PCC. Los resultados que se muestran en la Figura 3 evidencian el efecto radioprotector de la curcumina y el *trans-resveratrol* sobre células en fase G0, es decir, excluyendo la interferencia de ciertos mecanismos del ciclo celular relacionados con la reparación del daño inducido por radiación y la activación de mecanismos de control. La disminución estadísticamente significativa de fragmentos PCC inducidos por radiación puede ser el resultado de las propiedades antioxidantes de estos compuestos polifenólicos que eliminarían los radicales libres radioinducidos en la muestra de sangre y por tanto evitarían o disminuirían el daño a la molécula de ADN. Como se he mencionado anteriormente, dado que la curcumina y *trans-resveratrol* son moléculas hidrofóbicas o lipofílicas, pueden pasar fácilmente a través de las membranas celulares y por tanto secuestrar los radicales libres producidos por la radiación.

También se observó que el efecto radioprotector no fue dependiente de la concentración, este comportamiento puede deberse a que, independientemente de la concentración e incorporación celular de polifenoles, sólo cierta cantidad de moléculas puede llegar al entorno más cerca de la doble hélice de ADN y secuestrar los radicales libres allí formados. Esta hipótesis ha sido apoyada por Kunwar y col. [30], quienes realizaron estudios de absorción celular de curcumina en linfocitos humanos y encontraron que a pesar de que la absorción de la curcumina depende de la concentración, sólo se encontraron cantidades de curcumina intracelular del orden de picomoles (pmol). Otros estudios [31 y 32] muestran que a pesar de que el *trans-resveratrol* se encuentre presente en las regiones del citoplasma y la región del nucléolo, su concentración dentro del núcleo también está en el orden de pmoles. De nuevo, debido a que la curcumina y el *trans-res-*

*veratrol* son liposolubles, pueden penetrar la bicapa lipídica de la membrana celular y reaccionar con los radicales libres para detener los eventos en cadena que provocan el aumento de la concentración de los radicales en la célula. Además, la preincubación durante una hora con estos compuestos polifenólicos podría permitir cambios de las vías regulatorias con impacto sobre las enzimas de detoxificación y la magnitud del daño del ADN en el momento de la irradiación [7]. También se ha observado que el pretratamiento con curcumina disminuye significativamente la frecuencia de otro tipo de aberraciones cromosómicas como los micronúcleos [22].

### **Evaluación del efecto radiosensibilizante mediante el ensayo G2**

El análisis y la interpretación de los resultados de estudio se basan en el trabajo realizado por Pantelias y Terzoudi [13]. El análisis consistió en comparar el daño inducido por la radiación en linfocitos en fase G2 del ciclo celular y en presencia de curcumina y *trans-resveratrol* con el daño producido por la radiación en presencia de ambos compuestos y de la cafeína. El tratamiento con cafeína se debe a que esta sustancia aboga o elimina el punto de control entre las fases G2 y M de las células irradiadas, que están en fase G2; esta abrogación permite interpretar el resultado del daño cromosómico en muestras con cafeína como un control positivo de radiosensibilidad máxima.

Una vez las muestras fueron tratadas o no con cafeína, se comparó la inducción de aberraciones cromosómicas (roturas de tipo cromátida) obtenida tras la incubación de las muestras a diferentes concentraciones de curcumina y *trans-resveratrol* con el valor obtenido tras añadir a las muestras cafeína. Como se esperaba, la abrogación o eliminación del punto de control en la fase G2 por la cafeína, provocó un aumento de las roturas cromatídicas por célula (ctb/célula) inducidas por radiación, ya que la eliminación del punto de control impide la detención temporal del ciclo celular con el fin de reparar el mayor daño radioinducido posible antes de pasar a la fase M de mitosis.

El aumento del valor de roturas de tipo cromátida en las muestras tratadas con determinadas concentraciones de curcumina y *trans-resveratrol* reveló que la presencia de los dos compuestos simulaba de alguna forma la acción de la cafeína, es decir, aumentaban la radiosensibilidad de la muestra. Los resultados revelan que tanto la curcumina y el *trans-resveratrol* como la cafeína, ejercen su acción radiosensibilizante por mecanismos similares, es decir, disminuyendo la efectividad del punto de control en fase G2 para detener las células dañadas. Al permitir que las células dañadas sigan hacia la mitosis antes de la reparación del daño de ADN en la fase G2, se produce un aumento significativo en la producción de roturas cromatídicas inducidas por radiación observada

cuando las células alcanzan las mitosis, causando el efecto radiosensibilizante observado en la Figura 4.

### CONCLUSIONES

La curcumina y el *trans*-resveratrol son compuestos polifenólicos que poseen propiedades radioprotectoras, sin embargo, dependiendo de la concentración de éstos, del estado de la célula en el ciclo celular y posiblemente del tipo de célula estudiada, también pueden modificar la radiosensibilidad celular y ocasionar diferentes grados de genotoxicidad. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de profundizar en el estudio de la dualidad de acción que pueden ejercer ambos polifenoles pudiendo ser un punto de partida hacia su futuro uso como agentes radiomoduladores en pacientes sometidos a radiaciones ionizantes, con fines de tratamiento y/o diagnóstico médico.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al equipo del Dr. Pantelias del Centro de Investigación Nacional *Demokritos* (Atenas, Grecia) por su apoyo incondicional a nuestro grupo. También al Laboratorio de Citogenética, del Servicio de Hematológica del Hospital Universitario y Politécnico La Fe por permitirnos utilizar sus equipos. Por último, al Consejo de Seguridad Nuclear por el proyecto que nos concedió sobre radioprotectores de origen natural 2696/SRO.

### REFERENCIAS

- [1] Nair G.G. and Nair C.K.K. Radioprotective Effects of Gallic Acid in Mice. Hindawi Publishing Corporation. BioMed Research International 2013: 1-13; 2013.
- [2] Weiss J.F., Landauer M.R. Protection against ionizing radiation by antioxidant nutrients and phytochemicals. Toxicology 189 (1-2):1-20; 2003.
- [3] Montoro A., Almonacid M., Serrano J., Saiz M., Barquero J.F., Barrios L., Verdú G., Pérez J., Villaescusa J.I. Assessment by cytogenetic analysis of the radioprotection properties of propolis extract. Radiation Protection Dosimetry 115 (1-4):461-464; 2005.
- [4] Baliga M.S., Rao S.R. Radioprotective potential of mint: A brief review. Journal of Cancer Research and Therapeutics 6 (3): 255 – 262; 2010.
- [5] Hosseinimehr S.J., Tavakoli H., Pourheidari G.R., and Shafiee A. Radioprotective effects of citrus extract against gamma irradiation in mouse bone marrow cell. Journal of Radiation Research, 44: 237-241; 2003.
- [6] Shimoi, K., S. Masuda, B. Shen, M. Furugori & N. Kinoshita. Radioprotective effects of antioxidative plant flavonoids in mice. Mutation Research 350 (1): 153-161; 1996.
- [7] Sebastià N., Montoro A., Almonacid M., Villaescusa J.I., Cervera J., Such E., Silla M.A., Soriano J.M. Assessment in vitro of radioprotective efficacy of curcumin and resveratrol. Radiation Measurements 46: 962 – 966; 2011.
- [8] Kim W., Seong K.M. and Youn B.H. Phenylpropanoids in radioregulation: double edged sword. Experimental and Molecular Medicine 43 (6): 323 – 333; 2011.
- [9] Signorelli P., Ghidoni R. Resveratrol as an anticancer nutrient: molecular basis, open questions and promises. Journal of Nutritional Biochemistry 16: 449-466; 2005
- [10] Moreno C.S., Rogero S.O., Ikeda T.I., Cruz A.S., Rogero J.R. Resveratrol and radiation biological effects. International Journal of Nutrition 5 (1): 28-33; 2012.
- [11] Giovannini C., Filesi C., D'Archivio M., Scaccocchio B., Santangelo C., Marsella R. Polyphenols and endogenous antioxidant defences: effects on glutathione and glutathione related enzymes. Ann. Ist. Super. Sanità 42: 336 – 347; 2006.
- [12] International Atomic Energy Agency (IAEA). 2011. Biological dosimetry: chromosomal aberration analysis for dose assessment. Technical Reports Series 260, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- [13] G.E. Pantelias, G.I. Terzoudi, A standardized G2-assay for the prediction of individual radiosensitivity, Radiother. Oncol. 101 (2011) 28-34.
- [14] [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp\\_354.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_354.pdf)
- [15] Sebastià N., Montoro A., Hervás D., Pantelias G., Hatzí V.I., Soriano J.M., Villaescusa J.I., Terzoudi G.I. Curcumin and *trans*-resveratrol exert cell cycle-dependent radioprotective or radiosensitizing effects as elucidated by the PCC and G2-assay. Mutation Research 766-767: 49-55; 2014
- [16] Pantelias G. E. and Maillie H. D. A simple method for premature chromosome condensation induction in primary human and rodent cells using polyethylene glycol. Somatic Cell Genetics 9: 533-547; 1983.
- [17] Sebastià N., Almonacid M., Villaescusa J.I., Cervera J., Such E., Silla M.A., Soriano J.M., Montoro A. Radioprotective activity and cytogenetic effect of resveratrol in human lymphocytes: An in vitro evaluation. Food and Chemical Toxicology 51: 391-395; 2013.
- [18] Kocaman, A.Y., Rencuzogullar, E., Topaktas, M., Istifli, E.S., Buyukleyla, M., 2011. The effects of 4-thujanol on chromosome aberrations, sister chromatid exchanges and micronucleus in human peripheral blood lymphocytes. Cytotechnology 63, 493-502.
- [19] Sebastià N., Soriano J.M., Barquero J.F., Villaescusa J.I., Almonacid M., Cervera J., Such E., Silla M.A., Montoro A. In vitro cytogenetic and genotoxic effects of curcumin on human peripheral blood lymphocytes. Food and Chemical Toxicology 50: 3229-3233; 2012.
- [20] Webb, M.R., Ebeler, S.E., 2004. Comparative analysis of topoisomerase II inhibition and DNA intercalation by flavonoids and similar compounds: structural determinants of activity. Biochem. J. 384, 527-541.
- [21] Matsuoka, A., Furuta, A., Ozaki, M., Fukuhara, K., Miyata, N., 2001. Resveratrol, a naturally occurring polyphenol, induces sister chromatid exchanges in a Chinese hamster lung (CHL) cell line. Mutat. Res. 494, 107-113.
- [22] Srinivasan M., Prasad N.R., Menon V.P. Protective effect of curcumin on radiation induced DNA damage and lipid peroxidation in cultured human lymphocytes. Mutation Research 611: 96-103; 2006.
- [23] Balasubramanyam M., Koteswari A.A., Sampath K.R., Finny M.S., Uma M.J., Mohan V. Curcumin-induced inhibition of cellular reactive oxygen species generation: novel therapeutic implications. Journal of Biosciences 28 (6): 715 – 721; 2003.
- [24] Goel A. and Aggarwal B.B. Curcumin, the Golden Spice from Indian Saffron, is a Chemoprotector and Radioprotector for Normal Organs. Nutrition and Cancer 62 (7): 919 – 930; 2010.
- [25] Aggarwal B.B., Kumar A., Bharti A.C. Anticancer potential of curcumin: preclinical and clinical studies. Anticancer Research 23: 363 – 398; 2003.
- [26] Carsten R.E., Bachand A.M., Bailey S.M., Ullrich R.I. Resveratrol reduces radiation-induced chromosome aberration frequencies in mouse bone marrow cells. Radiation Research 169: 633 – 638; 2008.
- [27] Yen G.C., Duh P.D., Lin C.W. Effects of resveratrol and 4-hexylresorcinol on hydrogen peroxide-induced oxidative DNA damage in human lymphocytes. Free Radical Res. 37: 509-514; 2003.
- [28] Jang M., Pezzuto J.M. Cancer chemo-preventive activity of resveratrol. Drug Exp. Clin. Res. 25: 65-77; 1997.
- [29] Aftab N., Vieira A. Antioxidant activities of curcumin and combinations of this curcuminoid with other phytochemicals. Phytother. Res. 24: 500 – 502; 2010.
- [30] Kunwar A., Barik A., Mishra B., Rathinasamy K., Pandey R., Priyadarsini K.I. Quantitative cellular uptake, localization and cytotoxicity of curcumin in normal and tumor cells. Biochim. Biophys. Acta 1780: 673- 679; 2008.
- [31] Lancon A., Hanet N., Jannin B., Delmas D., Heydel J.M., Lizard G., Chagnon M.C., Artur Y., Latruffe N. Resveratrol in human hepatoma HepG2 cells: metabolism and inducibility of detoxifying enzymes. Drug Metab. Dispos. 35: 699 – 703; 2007
- [32] Delmas D., Aires V., Limagne E., Dutartre P., Mazu F., Ghiringhelli F., Latruffe N. Transport, stability, and biological activity of resveratrol. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1215: 48 – 59; 2011.

# Una experiencia en la gestión de la dosimetría personal y las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

P. Galán Montenegro<sup>1</sup>, M. Sánchez Hidalgo<sup>1</sup>, C. Bodineau<sup>1</sup> y B. Oliveros Fernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Radiofísica Hospitalaria.

<sup>2</sup>Unidad de Tecnologías de la Información y Comunicaciones.  
Hospital Regional Universitario de Málaga

**RESUMEN:** Una de las cuestiones habitualmente planteada en la gestión de la dosimetría personal hospitalaria es la alta incidencia en la tasa de no recambio mensual de los dosímetros personales y desde la aplicación de la instrucción del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) sobre la asignación de la dosis administrativa, esto supone en la actualidad un alto número de las mencionadas asignaciones; lo que conlleva un deficiente control de la dosimetría personal.

Para un mejor control dosimétrico, se requiere realizar una gestión más personalizada y directa de la dosimetría individual de cada uno de los trabajadores expuestos y transmitir una información rápida y personal. Debido al número total de trabajadores expuestos y de la diversidad y dispersión de los centros bajo control dosimétrico se hace imposible este tipo de gestión sin emplear grandes recursos.

Para conseguir los objetivos de una gestión más personalizada en un escenario como el descrito, y reducir la tasa de no recambio mensual de los dosímetros personales y de las dosis administrativas asignadas, en el año 2009 se pusieron en marcha en este centro algunas medidas utilizando las plataformas de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y otras de gestión de trabajadores, cuyo resultado ha sido el de la reducción de la tasa de no recambio mensual de los dosímetros personales en un 75%.

**ABSTRACT:** One of the most frequently issues raised within the management of hospital personnel dosimetry service is the high incidence of the rate evidencing the lack of dosimeter badges replacement in personnel dosimetry on monthly basis. In this respect and following the enforcement of the dispositions ordered by the CSN (Spanish Nuclear Safety Council as Regulatory Agency) concerning the assignment of "administrative dose", such rate turns currently into a high number of these doses assigned, thus leading to an inefficient monitoring of the personnel dosimetry.

In order to achieve a more suitable dosimetry monitoring it is required a more direct and tailored management of personnel dosimetry in every occupationally exposed workers as well as providing with personal and fluent information. The total number of occupationally exposed workers and the diversity and geographical dispersion of the centers under dosimetry monitoring make impossible a customized management without involving substantial resources.

With the aim of achieving a more tailored management in an scenario as the one described above as well as reducing the lack of replacement of dosimeter badges in personnel dosimetry on monthly basis and the administrative doses assigned, some measures were implemented in 2009 by applying Communications and Information Technology platforms and further employees management giving as a result a 75% reduction in the rate of non replacement of dosimeter badges in personnel dosimetry.

Palabras claves: dosimetría personal, dosis administrativa, bases de datos, SMS, TIC

Keywords: personnel dosimetry, assigned dose, data base, SMS platform, CIT

## INTRODUCCIÓN

En el ámbito sanitario es amplio y extensivo el uso de las radiaciones ionizantes para el diagnóstico, la terapia y el uso de imagen guiada por radiaciones ionizantes como apoyo en múltiples áreas, esto lleva a una gran variedad de instalaciones, procesos y actividades implicadas. La aplicación de la normati-

va existente [1-2] lleva al establecimiento de los mapas de riesgo en las instalaciones y actividades y al control dosimétrico de los trabajadores y de las diferentes áreas donde pudiera existir riesgo a radiaciones ionizantes, con un interés creciente a todos los niveles por la seguridad radiológica de las instalaciones sanitarias y los procedimientos desarrollados [3].

Para una adecuada gestión de los trabajadores expuestos y de las lecturas dosimétricas que les afectan, tanto personales como de área, y su implicación en el uso seguro de las radiaciones ionizantes y participación en el control dosimétrico, se requiere realizar una gestión personalizada y directa de la dosimetría individual de cada uno de los trabajadores expuestos y transmitir una información rápida y personal. Debido al número total de trabajadores expuestos y de la diversidad y dispersión de los centros bajo control dosimétrico se hace imposible una gestión personalizada sin emplear grandes recursos.

La centralización de la información dosimétrica en los Servicios de Protección Radiológica (SPR), traía consigo una cierta desinformación de los trabajadores al tener menos accesible estos datos y, en muchas ocasiones, esto era confundido con ocultación de información, lo que ocasionaba desconfianza y falta de implicación en la seguridad.

Debido al gran número de trabajadores afectados, instalaciones, procedimientos y dispersión de los centros, la Unidad de Radiofísica Hospitalaria, en su actividad como Servicio de Protección Radiológica estableció como política de información la de comunicar personalmente mediante un informe a los trabajadores en diferentes circunstancias: a petición del interesado; cuando se producía una lectura personal anómala para las actividades asignadas y en comparación con el resto de lecturas de trabajadores en la misma actividad; cuando el trabajador no enviaba el dosímetro para su lectura de forma persistente; y anualmente se remitía un informe del historial dosimétrico personalizado.

Este aparente alejamiento entre la gestión dosimétrica y los trabajadores podría ser una de las causas de la falta de implicación de los mismos en el adecuado uso de los dosímetros personales y, por tanto, en la alta incidencia en la tasa de no recambio mensual de dosímetros personales.

Con el objetivo de una mayor agilidad y proximidad en la gestión e información dosimétrica a los trabajadores y a partir de disponer de la información dosimétrica en formato digital facilitada por el Centro Nacional de Dosimetría (CND), información que ha ido evolucionando y facilitando esta tarea [4], a partir del año 2000 y con la participación de la Unidad de Tecnologías de la Información y Comunicaciones del centro, se empieza a elaborar un acceso a través del espacio web de la Unidad de Radiofísica Hospitalaria para que todos los trabajadores tuvieran acceso de forma personalizada a su historial dosimétrico y a la comunicación directa para la gestión de su historial.

La aplicación para la gestión dosimétrica a través del espacio web se realiza originalmente en ASP, para gestionar la actualización de las tablas en Access suministradas por

la Unidad de Radiofísica Hospitalaria y en PHP v3 para gestionar la lectura definitiva en tablas de MySQL.

Más adelante, y por motivos de seguridad, se descartó el servidor de base de datos en MySQL y se comenzó a utilizar SQL\_Server. La versión actual, por encontrarse en un servidor Linux, está sólo en PHP v5.0 con una base de datos SQL\_Server v2005.

A partir de los archivos recibidos mensualmente desde el Centro Nacional de Dosimetría, y cruzándolos con una base de datos propia que contiene datos personales de los usuarios, se genera una nueva base de datos con toda la información dosimétrica. Esta aplicación está desarrollada en Visual Basic 6.0. Las bases de datos que se remiten mensualmente a la Unidad de Tecnologías de la Información y Comunicaciones se van acumulando en una nueva base de datos que permite al usuario acceder a su histórico de lecturas. Por otra parte, el espacio web también permite la solicitud de documentos (historiales dosimétricos) así como hacer llegar modificaciones de datos personales u otras solicitudes.

En febrero de 2001, junto con el informe dosimétrico anual, se informa a los usuarios que está disponible este espacio web para su información y comunicación a través de la intranet del hospital de forma segura y personal.

La medida no surte el efecto esperado pues no hay un notable descenso en la tasa de no recambio mensual de dosímetros personales.

En enero de 2008, el Centro Nacional de Dosimetría comienza a aplicar la Instrucción Técnica CSN-IT-03/17 del Consejo de Seguridad Nuclear relativa a la Asignación de Dosis Administrativas. La aplicación de esta Instrucción supone un antes y un después en la información dosimétrica [5-6] y que origina cambios en la gestión dosimétrica en muchos centros [7].

En este centro y durante el año 2008, sobre un total de 313 historiales dosimétricos y 3.640 lecturas previstas, se realizan 2.350 lecturas (64.56%) y se asignan 569 dosis administrativas por no envío reiterado del dosímetro frente a sólo cinco asignaciones por pérdida de dosímetro.

Esta situación lleva a que 13 usuarios alcancen los 600 mSv de dosis equivalente superficial, y 50 usuarios más de 200 mSv de dosis equivalente superficial. En 2008, la tasa media de no recambio mensual de dosímetros es del 35%, siendo del 55% la tasa mayor para una de las unidades bajo control dosimétrico personal.

Las campañas de notificación de bajas dosimétricas emprendidas por el Centro Nacional de Dosimetría en octubre de 2008, noviembre de 2009 y noviembre de 2010, son trasladadas a los usuarios mediante notificación por la cual se les informa que van a ser dados de baja dosimétrica debido a la falta de recambio de los dosímetros.

A partir de abril de 2008 se comienzan a remitir, mediante información personalizada, a los usuarios las dosis administrativas que se les van asignando, a la vez que se les insta al recambio adecuado del dosímetro y a personarse para gestionar las dosis administrativas y, de esta forma, intentar normalizar su situación dosimétrica.

### MEDIDAS DE ACCIÓN

Ante la situación planteada y con el fin de conseguir los objetivos de una gestión más personalizada y directa en un escenario como el descrito, y reducir la tasa de no recambio mensual de los dosímetros personales y de las dosis administrativas asignadas, en el año 2009 se pusieron en marcha en este centro algunas medidas utilizando las plataformas de las TIC [8] y otras medidas de gestión de trabajadores.

Las medidas puestas en marcha se centran en tres acciones simultáneas:

- Mantener y actualizar el espacio web de acceso a los historiales dosimétricos individuales y gestión personal de los datos.
- Sistema de información personalizada a través de mensajería por Servicio de Mensajes Cortos (SMS).
- Objetivos específicos en el Complemento de Productividad Individual.

La primera de las medidas es la actualización en una nueva plataforma de la aplicación web que ya estaba funcionando en el centro, y desde donde cada trabajador puede conocer, de forma personalizada, la situación de sus dosímetros y lecturas dosimétricas, así como realizar todas las gestiones necesarias y de comunicación [9].

Para la realización de la segunda acción, se ha contado con la plataforma de comunicación mediante mensajería SMS del centro y los servidores informáticos del mismo, donde se ha desarrollado una base de datos electrónica de todos los trabajadores con dosimetría personal. Para la puesta en marcha de esta acción se ha contado con la colaboración de la Unidad de Tecnologías de la Información y Comunicaciones.

A partir de los datos remitidos por el Centro Nacional de Dosimetría, se desarrolla mensualmente una base de datos. Desde esta base de datos se genera la información y los mensajes específicos para cada trabajador, que son transferidos a la plataforma de mensajería por SMS. En esta plataforma, mensualmente y de forma

sistemática, o ante cualquier incidencia que se presente, se envía a cada trabajador expuesto la información sobre su situación dosimétrica personal mediante un mensaje SMS personalizado. En estos mensajes generados no se informa sobre la lectura dosimétrica y si contiene información sobre lectura anormal de dosimetría, la situación para el cambio de dosímetro, pérdidas y bajas de dosímetros, así como cualquier otra incidencia que afecte al trabajador individual.

En la Figura 1 se muestran los mensajes establecidos en los procedimientos para generar los mismos.

Simultáneamente a las medidas anteriores, se acuerda incluir en los Acuerdos de Gestión Clínica de las diferentes unidades del centro el indicador de tasa de no recambio de dosímetros personales. Entre las retribuciones, en el Servicio Andaluz de Salud existe el concepto de Complemento de Productividad Individual, como complemento retributivo variable vinculado al rendimiento profesional individual. En este concepto, y como uno de los objetivos específicos asignado a cada trabajador con dosimetría personal se incluye el cumplimiento adecuado del uso del dosímetro personal, y como indicador la tasa de no recambio mensual del dosímetro para su lectura y se establece para este indicador un valor inferior al 10% para el cumplimiento de este objetivo.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La plataforma web de acceso a la información y comunicación con la gestión dosimétrica ha seguido activa desde su implantación con adaptaciones y actualizaciones sucesivas.

Para el año 2009 se incluyó en los Acuerdos de Gestión Clínica los indicadores de uso correcto de la dosimetría personal, según se ha indicado, y de aplicación individual a los trabajadores, y se ha mantenido desde esa fecha.

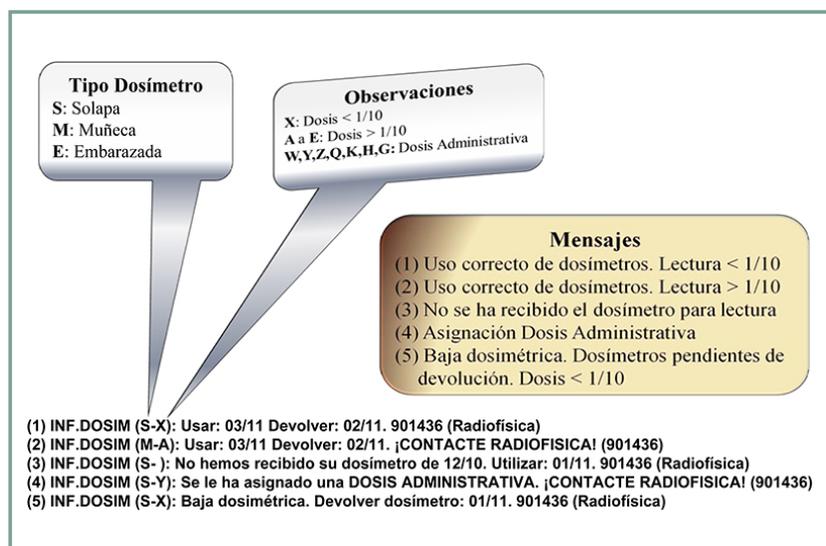


Figura 1: Mensajes generados para la plataforma SMS.

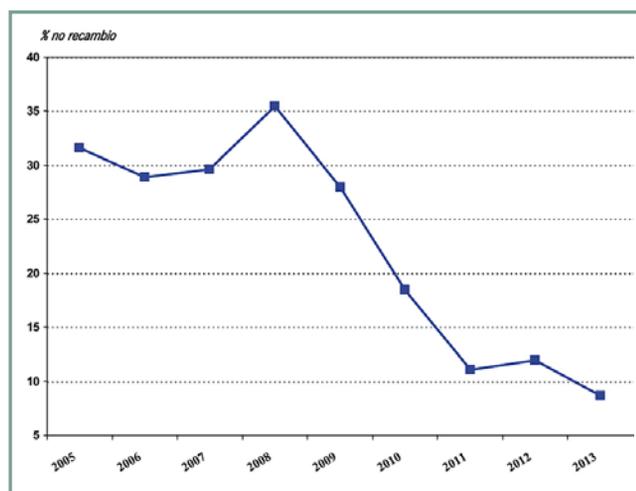


Figura 2: Evolución de la tasa global de no recambio de dosímetro personal.

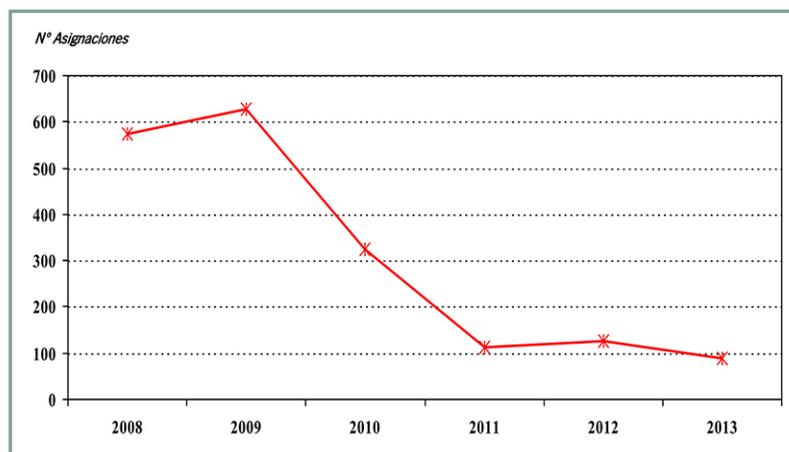


Figura 3: Evolución de las dosis administrativas asignadas.

En agosto de 2009 se puso en marcha las acciones descritas para la plataforma de información mediante mensajería SMS.

El objetivo planteado es un mejor uso de los dosímetros personales para un mayor control sobre los riesgos en el uso de las radiaciones ionizantes, considerando la práctica habitual y la puesta en marcha de la asignación de "dosis administrativa" que enmascara la dosimetría individual, se considera como buen indicador del uso adecuado de los dosímetros personales, la tasa de no recambio mensual de dosímetros, por cada unidad y globalmente.

En la Figura 2 se muestran los resultados para el indicador medio global de todo el centro de la incidencia de la tasa de no recambio de dosímetro personal desde 2005, y en la Figura 3 se presenta la correspondiente evolución del número de asignaciones de "dosis administrativa".

## CONCLUSIONES

Desde la puesta en marcha de estas acciones y de forma constante, se han ido incrementando el número de consultas y se ha podido realizar una atención más cercana y personal a los trabajadores usuarios de dosimetría individual. El indicador de tasa de no recambio mensual de dosímetro personal ha descendido en aproximadamente un 75% desde la puesta en marcha de estas acciones.

Este sistema de comunicación y la inclusión en los objetivos específicos individuales ha llevado a que los usuarios sean más conscientes del control que se realiza de forma exhaustiva como medida del control de riesgos, y se impliquen en mayor medida en la seguridad radiológica y en el uso adecuado de los dosímetros personales.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- [2] Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.
- [3] Mateos Rodríguez J. Prevención y protección en trabajadores del ámbito sanitario expuestos a radiaciones ionizantes. *Revisión. Revista de la Sociedad Española de Salud Laboral en la Administración Pública* III/2: 4-9; 2012.
- [4] Martínez Masmano JM, Escutia Piñana C, Casal Ruiz J, Picazo Córdoba T, Casal Zamorano E. Información dosimétrica ofertada a través de la página web del Centro Nacional de Dosimetría. 18º Congreso de la SEFM y 13º Congreso de la SEPR. Sevilla 2011.
- [5] Casal Zamorano E, Picazo Córdoba T, Martínez Masmano JM, Palma Copete, JD. Análisis de la incidencia de la asignación de dosis administrativas en los casos de pérdida de información dosimétrica en dosimetría personal, durante el quinquenio 2006-2010. 18º Congreso de la SEFM y 13º Congreso de la SEPR. Sevilla 2011.
- [6] Sánchez K, Prieto D, Alonso L, Sastre JM, Ferrer N, Arranz L. Análisis sobre la asignación de dosis administrativas en el control de dosimetría personal en el HU Ramón y Cajal de Madrid. 18º Congreso de la SEFM y 13º Congreso de la SEPR. Sevilla 2011.
- [7] Ruiz López MA, Ramírez Ros JC, Lobato Muñoz M, Jódar López CA, JérezSáinz MI, Carrasco Rodríguez JL. Influencia de la modificación del protocolo interno de cambio de dosímetros en el control de la dosimetría personal. 19º Congreso de la SEFM y 14º Congreso de la SEPR. Cáceres 2013.
- [8] Sánchez Hidalgo M, Galán Montenegro P, Bodineau Gil C, Jiménez Martín A, Cano Sánchez JJ. Dosimetría personal y plataformas de información. 18º Congreso de la SEFM y 13º Congreso de la SEPR. Sevilla 2011.
- [9] <http://www.hospitalregionaldemalaga.es/radiofisica>

# Nueva Directiva de Protección Ocupacional ante Campos Electromagnéticos

Tania Berlana Llorente<sup>1</sup> y Alejandro Úbeda Maeso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Servicio de Prevención, Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
<sup>2</sup>Servicio BEM-Investigación, Hospital Universitario Ramón y Cajal – IRYCIS

**RESUMEN:** Las preocupaciones manifestadas por ciertos sectores tecnológicos e industriales sobre el impacto que la aplicación de los criterios de la Directiva 2004/40/CE tendría en sus actividades, han motivado la derogación de tal Directiva y su sustitución por otra más permisiva, la Directiva 2013/35/UE. Esta nueva regulación sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos) se basa en las modificaciones que la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) ha introducido recientemente en sus directrices originales, que sirvieron de base a la Directiva ahora derogada.

**ABSTRACT:** Concerns on the potential impact that the application of Directive 2004/40/EC would have on the activities of some industrial and technological sectors, have led to the repeal of that Directive and its replacement by the more permissive Directive 2013/35/EU. This new regulation on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (electromagnetic fields) is based on the modifications that the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) recently made on its original guidelines.

Palabras claves: Radiación No Ionizante, campos electromagnéticos, Directiva Europea, ocupacional  
Keywords: Non Ionizing Radiation, electromagnetic fields, European Directive, occupational

## ANTECEDENTES

La exposición a campos electromagnéticos (CEM) y sus posibles efectos en la salud han sido una fuente constante de preocupación que ha ido en aumento a medida que se ha ido incorporando a la vida cotidiana un mayor número de equipos e instalaciones que emiten radiaciones electromagnéticas. Este creciente interés de la sociedad ha impulsado en los últimos años diversas investigaciones sobre los efectos en la salud derivados de la exposición a CEM.

La interpretación que la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) hizo de los resultados de varios estudios recientes ha llevado a dicha Comisión a relajar los criterios y niveles de protección propuestos en sus Directrices de 1998 [1]. En virtud de ello, ICNIRP publicó entre 2009 y 2010 nuevas directrices para la protección ante la exposición a campos magnéticos estáticos [2] y a CEM de baja frecuencia [3], respectivamente. Esta relajación en los criterios de referencia de ICNIRP ha permitido a la Unión Europea derogar en 2013 su Directiva 2004/40/CE para la protección ante la exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos [4], cuyo plazo de transposición a las legislaciones estatales se había venido posponiendo en ocasiones sucesivas (2008 y 2012), y sustituirla por la nueva Directiva 2013/35/UE [5].

Las causas de la demora en la transposición de la Directiva 2004/40/CE, tal como se desprende de los consideran-

dos del texto actual, se encuentra en el hecho de que ciertas partes interesadas, en particular determinados colectivos y grupos de presión relacionados con la industria y la medicina, se mostraron abiertamente contrarios a la Directiva original, dadas las potenciales dificultades para la aplicación de los valores de referencia en determinadas actividades industriales y en los procedimientos médicos de imágenes por resonancia (Tabla I).

El texto de la Directiva 2013/35/UE, al igual que el de su antecesora, establece que su objetivo es la protección de la seguridad y salud de los trabajadores frente a los efectos físicos directos conocidos y los efectos indirectos provocados por los CEM. Es importante subrayar que este concepto de protección se aplica exclusivamente a efectos inmediatos, de exposiciones cortas y esporádicas. En efecto, tanto la presente Directiva como la derogada advierten que no están diseñadas para la protección contra potenciales efectos a largo plazo, derivados de las exposiciones ocupacionales crónicas que incluyen posibles efectos cancerígenos, neurodegenerativos, reproductivos, etc. En ambas Directivas la decisión de no abordar los posibles efectos a largo plazo se justifica por una alegada inexistencia de datos científicos comprobados que establezcan una relación causal entre la exposición crónica a campos subumbral y un riesgo incrementado de padecer cualquier daño o dolencia. Este argumento ha sido muy contestado desde diversos sectores de expertos e investigadores que, entre otros argumentos,

AÑO	NORMATIVA PARA PÚBLICO	OTROS AGENTES DE ÁMBITO INTERNACIONAL	NORMATIVA OCUPACIONAL
1998	Directrices ICNIRP para público y trabajadores. No aplicables a efectos a largo plazo (NLP)		
1999	Recomendación Europea 1999/5 19/CE. Adopta límites ICNIRP, pero los considera aplicables a efectos a largo plazo (LP)		
2000			
2001	Real Decreto RD 1066/2001. Adopta los criterios de la Recomendación, solo señales de telecomunicación (LP)		
2002	IARC-WHO clasifica los CEM de muy baja frecuencia como Posibles Cancerígenos 2B (LP)		
2003			
2004			Directiva 2004/40/CE. Adopta los límites de ICNIRP (NLP)
2005			
2006		Entran en acción grupos de presión contra Directiva 2004 (Alliance for MRI)	
2007			
2008			Estados Miembros incumplen el plazo de trasposición: <b>Prórroga a 2012</b>
2009	El Parlamento Europeo propone aplicación del Principio de Precaución ante RNI (LP). ICNIRP relaja sus límites y criterios para campo estático (NLP)		
2010	ICNIRP relaja sus límites para RNI de frecuencias bajas e intermedias (NLP)		
2011	IARC-WHO clasifica las RNI de radiofrecuencia como Posibles Cancerígenos 2B (LP). El Consejo de Europa propone aplicación ALARA para RNI, campañas informativas y que ICNIRP clarifique mejor sus criterios (LP)		
2012			Se incumple el plazo de trasposición
2013			Directiva 2013/35/UE deroga Directiva de 2004, <b>adopta los nuevos límites ICNIRP</b> y admite excepciones al cumplimiento (NLP)
2014			
2015			
2016			1 de julio, <b>plazo límite de trasposición</b> . Los Estados pueden promulgar normas más estrictas que en la Directiva vigente

Tabla 1: Cronología de los cambios registrados en los criterios y las normativas europeas para la protección del público y de los trabajadores ante la exposición a radiaciones no ionizantes de  $f < 300$  GHz.

Directiva 2004/40/CE versus Directiva 2013/35/UE	
Directiva 2004/40/CE	Directiva 2013/35/UE
Valores de referencia en términos de: • Valores de acción • Valores límite	Establece nuevas magnitudes para expresar los valores de referencia. • Valores de actuación - valor de actuación superior - valor de actuación inferior • Valores límite - valor límite relacionado con efectos para la salud - valor límite relacionado con efectos sensoriales
No incluye valores de referencia específicos para determinadas zonas corporales (las extremidades)	Incluye valores de referencia específicos para determinadas zonas corporales
Establece dos tablas de valores de referencia en términos de valores de acción y valores límite, independientemente de los efectos	Establece varias tablas de valores de referencia diferenciando entre efectos térmicos y no térmicos (coexistiendo valores diferenciados en el rango intermedio de frecuencias)
No incluye sectores específicos exentos	Incluye sectores exentos (trabajadores con RMI ámbito sanitario, personal en instalaciones militares operativas y actividades militares, otras actividades debidamente justificadas)
En ningún caso se podrán superar los valores límite	Especifica situaciones en que se podrán superar valores límite sensoriales y/o con efectos para la salud
No establece valores de referencia específicos para trabajadores sensibles	Establece valores de referencia específicos para casos de trabajadores especialmente sensibles (portadores de dispositivos médicos activos implantados)
No contempla procedimiento de urgencia	Procedimiento de urgencia para que la Comisión incorpore cambios ante situaciones de riesgo inminente para los trabajadores
Valores de referencia basados en ICNIRP 1998	Nuevos valores de referencia basados en documentos de ICNIRP 1998, 2009 y 2010 (más permisivos para determinadas frecuencias)

Tabla 2: Principales diferencias entre la Directiva vigente y la derogada.

subrayan que ya en 2002 la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, perteneciente a la Organización Mundial de Salud (IARC, WHO) incluyó los campos electromagnéticos débiles de frecuencia extremadamente baja, que abarcan a la frecuencia industrial de 50/60 Hz, en su clasificación de "Posibles Cancerígenos", Clase 2B (Tabla I). Y en 2011 la misma Agencia incluyó los campos de radiofrecuencias en la misma categoría, 2B, basándose en evidencias epidemiológicas y experimentales (ver detalles en [6]).

En cualquier caso, tanto la Directiva derogada como la vigente reconocen el derecho que asiste de los Estados Miembros de adoptar disposiciones más exigentes para la protección de los trabajadores, con valores de referencia más restrictivos de exposición a CEM.

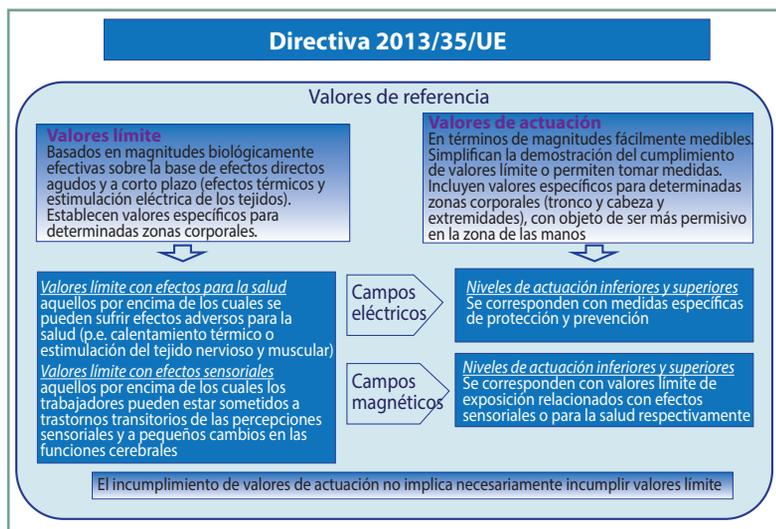
### CRITERIOS DE REFERENCIA

Los efectos de los CEM en el cuerpo humano dependen de la frecuencia de la radiación electromagnética. Para campos de frecuencias comprendidas entre 0 y 10 MHz se consideran los efectos físicos directos de tipo no térmico, tales como la estimulación de los músculos, del sistema nervioso central y periférico o de los órganos sensoriales. La estimulación de los órganos sensoriales

podría dar lugar a síntomas transitorios, como vértigos o fosfenos, mientras que en el sistema nervioso la estimulación podría dar lugar a disfunciones cognitivas o motoras inmediatas y reversibles. Para las radiaciones electromagnéticas en el intervalo de frecuencias entre 100 kHz y 300 GHz se contemplan los efectos físicos directos de tipo térmico, como el calentamiento de los tejidos por la absorción de energía. Por ello, las magnitudes físicas, los valores límite de exposición y los niveles de actuación establecidos en los anexos de la Directiva, están diferenciados en función de la frecuencia de la radiación y el nivel de exposición.

De forma complementaria se consideran otros efectos de tipo indirecto causados por la presencia de un objeto en un campo electromagnético que pueda entrañar un riesgo para la salud o la seguridad. Estos posibles riesgos incluyen interferencias con equipos y dispositivos médicos, proyección de objetos ferromagnéticos, activación de dispositivos electroexplosivos, incendios y explosiones resultantes de la ignición de materiales inflamables mediante chispas causadas por campos inducidos, corrientes de contacto o descargas eléctricas.

Para la protección ocupacional frente a estos posibles efectos directos e indirectos derivados de la exposición a CEM, la Directiva mantiene el criterio de establecer unos



**Figura 1** Conceptos de Valores Límite y Niveles de Actuación en la Directiva 2013/35/UE.

B ( $\mu$ T)	2004		2013		
	VA	NA min	NA max	NA extrem	
Frecuencia					
0 Hz	2·10 <sup>5</sup>	2·10 <sup>6</sup>	8·10 <sup>6</sup>	8·10 <sup>6</sup>	
1 Hz	2·10 <sup>5</sup>	2·10 <sup>5</sup>	3·10 <sup>5</sup>	9·10 <sup>5</sup>	
5 Hz	8·10 <sup>3</sup>	8·10 <sup>3</sup>	6·10 <sup>4</sup>	18·10 <sup>4</sup>	
10 Hz	25·10 <sup>2</sup>	25·10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>4</sup>	9·10 <sup>4</sup>	
50 Hz	5·10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	6·10 <sup>3</sup>	18·10 <sup>3</sup>	
100 Hz	250	10 <sup>3</sup>	3·10 <sup>3</sup>	9·10 <sup>3</sup>	
1 Hz	30.7	3·10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>2</sup>	9·10 <sup>2</sup>	
5 Hz	30.7	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>2</sup>	
10 Hz	30.7	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>2</sup>	
100 Hz	20	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>2</sup>	
1 Hz	2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>2</sup>	
5 Hz	0.4	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>2</sup>	
10 Hz	0.2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	3·10 <sup>2</sup>	

**Tabla 3:** Niveles de Actuación Mínimos (NA min), Máximos (NA max) y en Extremidades (NA extrem) para exposiciones a campos magnéticos de entre 0Hz y 10MHz, establecidos por la nueva Directiva (2013), comparados con los Valores de Acción (VA) de la Directiva derogada (2004). Tanto los NA como los VA se expresan en  $\mu$ T rms.

niveles de referencia en términos de valores límite de exposición y niveles de actuación en la línea de las recomendaciones recientes de la ICNIRP citadas anteriormente (Figura 1 y Tabla II). En general estos nuevos valores son más permisivos que los de la Directiva derogada, y en consecuencia, admiten un mayor nivel de exposición ocupacional a campos electromagnéticos de la frecuencia correspondiente (Tabla III).

Como novedad, la Directiva incorpora otros parámetros adicionales, denominados valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y valores límite de exposición con efectos sensoriales. Los valores límite de

exposición relacionados con efectos para la salud, se definen como aquellos “por encima de los cuales los trabajadores pueden sufrir efectos adversos para la salud, tales como calentamiento térmico o estimulación del tejido nervioso y muscular”. Por otro lado, define valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales como aquellos “por encima de los cuales los trabajadores pueden estar sometidos a trastornos transitorios de las percepciones sensoriales y a pequeños cambios en las funciones cerebrales” (Figura 1). En relación con el cumplimiento de estos valores de referencia la Directiva establece que “Los Estados miembros exigirán al empresario que garantice que la exposición de los trabajadores a campos electromagnéticos no supere los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y con efectos sensoriales”.

Al igual que la Directiva derogada, para simplificar la demostración del cumplimiento de los valores límite de exposición correspondientes o, en su caso, para aplicar las medidas de protección o prevención establecidas en la Directiva, se definen los niveles de actuación. Asimismo, el texto vigente incorpora niveles de actuación superior y niveles de actuación inferior, cuya consideración difiere según se trate de campo eléctrico o magnético. Para los campos eléctricos se entiende por “nivel de actuación inferior” y “nivel de actuación superior”, los niveles relacionados con medidas específicas de protección o prevención establecidas en la Directiva. Por el contrario, para los campos magnéticos, se entiende por “nivel de actuación inferior”, el correspondiente al valor límite de exposición para efectos sensoriales, en cada uno de los distintos rangos de frecuencia, siendo el “nivel de actuación superior” el correspondiente a los valores límite de exposición para efectos sobre la salud (Figura 1).

En relación con los valores de referencia para trabajadores especialmente sensibles, la Directiva incluye una especial protección para grupos específicos de trabajadores que presenten un riesgo particular, a fin de evitar problemas de interferencia con dispositivos médicos, tales como prótesis metálicas, marcapasos, desfibriladores cardíacos e implantes cocleares, y de otro tipo (Tabla IV). Tales interferencias por incompatibilidad electromagnética pueden darse por exposición de los equipos electrosensibles a valores de campo por debajo de los niveles de actuación establecidos en la Directiva. Por ello, el nuevo texto incorpora unos niveles de actuación más restrictivos, por ejemplo para exposiciones a campos magnéticos estáticos, en la línea de los valores propuestos recientemente por ICNIRP.

CARACTERÍSTICAS DE LA EXPOSICIÓN	DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO
<b>Valor límite relacionado con efectos sensoriales</b>	
Condiciones de trabajo normales	2T
Exposición localizada en extremidades	8T
<b>Valor límite relacionado con efectos para la salud</b>	
	8T
<b>Nivel de actuación</b>	
Interferencias con dispositivos médicos activos implantados, por ejemplo, marcapasos cardiacos	0,5mT
Riesgo de atracción y proyección en campo periférico de fuentes de campos intensos	3mT

Tabla 4. Valores límite y niveles de actuación para campo magnético estático.

### PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

De acuerdo con la Directiva 2013/35/UE el empresario deberá evaluar todos los riesgos para los trabajadores que se deriven de la exposición a CEM en el lugar de trabajo y, si resultase necesario, deberán medirse o calcularse los niveles de exposición ocupacional. Para ello el empresario podrá,

cuando proceda, basarse en los niveles de emisión y en otros datos relacionados con la seguridad, facilitados por el fabricante o distribuidor, de acuerdo con la correspondiente normativa de la Unión.

Esta obligación de realizar la evaluación debe ser proporcional a las características de la exposición. Así, la Directiva establece que “es necesario llevar a cabo una evaluación de los riesgos efectiva y eficiente (...) que debe ser proporcional a la situación en que se encuentra el lugar de trabajo”. Para ello se propone la necesidad de “diseñar un sistema de protección que agrupe diferentes riesgos de forma sencilla, gradual y fácilmente comprensible”.

A este respecto la Directiva contempla una serie de condiciones eximentes de una evaluación específica cuando se disponga de información fiable y suficiente. En particular:

- Los lugares de trabajo abiertos al público, siempre que ya se haya procedido a una evaluación conforme a las disposiciones sobre limitación de la exposición del público general a los CEM, se respeten las limitaciones especificadas en las mismas con respecto a los trabajadores y se descarten los riesgos para la salud y seguridad. En este sentido, se considerará que estos requisitos se cumplen cuando los equipos destinados a uso público se utilicen conforme a su finalidad y a la normativa de la Unión relativa a productos que establezca niveles de seguridad más restrictivos que los previstos en la Directiva, y no se utilice ningún otro equipo (Figura 2, punto 1).

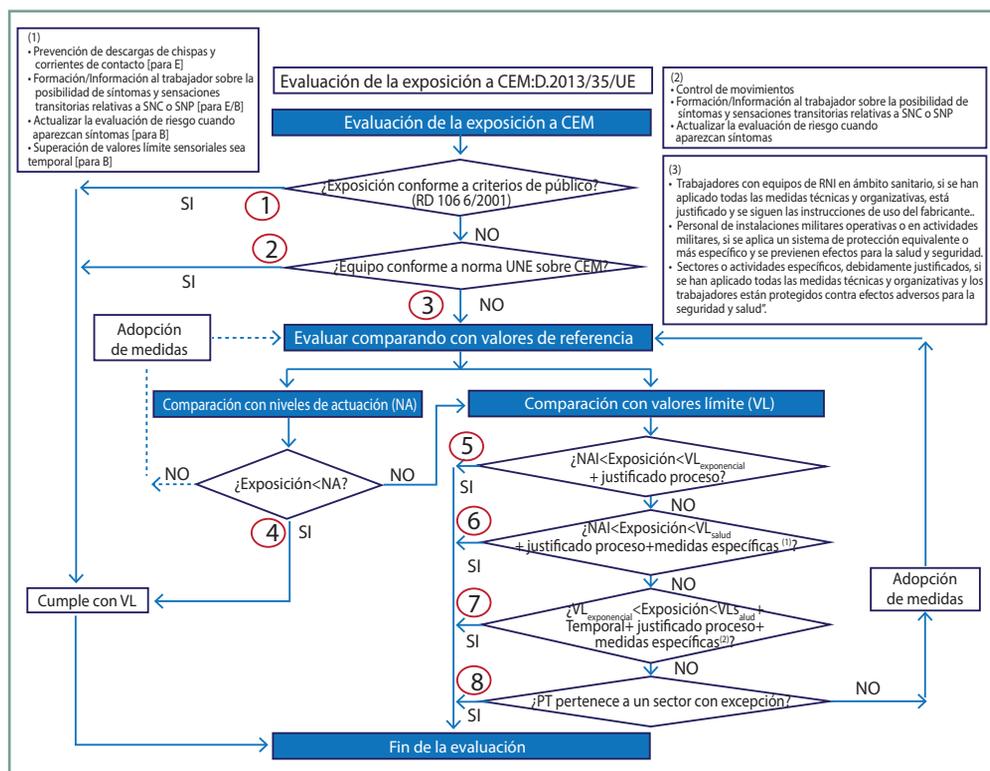


Figura 2. Procedimiento de evaluación en la Directiva 2013/35/UE. Los dos primeros pasos del diagrama recogen los supuestos en los que, considerando la naturaleza y el alcance de los riesgos relacionados con la exposición a CEM, la evaluación no requiere una valoración más detallada. Los pasos del 3 al 7 se refieren a evaluaciones detalladas de la exposición y describen las actuaciones a seguir en función de los resultados de la comparación del nivel de exposición medido y/o calculado con los valores de referencia establecidos por la Directiva.

El material de trabajo que es conforme a los requisitos establecidos en la correspondiente normativa de la Unión sobre Productos en la que se fijan unos niveles de seguridad más estrictos que los de la Directiva. Esto permite simplificar la evaluación en un gran número de casos (Figura 2, punto 2).

En el caso de que no se cumplan ninguno de los supuestos anteriores o no se disponga de información fiable, la evaluación de la exposición se realizará mediante una estimación deta-



llada de la exposición basada en mediciones y/o cálculos (modelización de fuentes, geometría espectral y propiedades eléctricas de tejidos y materiales). Realizadas las tareas de medición y/o cálculo, se procederá a la evaluación comparando los valores obtenidos con los de referencia establecidos: niveles de actuación y/o valores límite, según proceda (Figura 2, puntos del 3 al 7).

La evaluación detallada de la exposición a CEM prestará especial atención a los siguientes aspectos:

- Los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud y con efectos sensoriales, así como los niveles de actuación.
- La frecuencia, el nivel, la duración y el tipo de exposición, incluida la distribución en el cuerpo de los trabajadores y en el espacio de trabajo
- Cualquier efecto sobre la salud o la seguridad de los trabajadores que presenten un riesgo particular, en especial las gestantes y los portadores de dispositivos médicos activos o pasivos, implantados o no, incluyendo marcapasos cardíacos y bombas de insulina.
- Cualquier efecto físico directo o indirecto.
- La exposición a fuentes que emiten múltiples frecuencias.
- La exposición simultánea a campos emitidos por fuentes distintas de frecuencias diferentes.
- La información facilitada por el fabricante del equipo, la información apropiada obtenida de la vigilancia de la salud, así como cualquier otra información pertinente sobre salud y seguridad.

### COMPARACIÓN CON VALORES DE REFERENCIA

La Directiva 2013/35/UE establece que: “Deberá demostrarse el cumplimiento de los valores límite de exposición (...) mediante procedimientos pertinentes de evaluación de la exposición”. En este sentido la Directiva añade que “cuando se demuestre que no se supera los niveles de actuación correspondientes, se considerará que el empresario cumple los valores límite relacionados con efectos para la salud y efectos sensoriales” (Figura 2, punto 4).

Alternativamente “si la exposición supera los niveles de actuación deberá tomarse medidas, a menos que la evaluación demuestre que no se superan los valores límite de exposición y puedan descartarse riesgos para la seguridad”. Por tanto, la Directiva admite que en determinadas condiciones podrán rebasarse los niveles de actuación, en particular:

- Se podrá superar los niveles de actuación inferiores, cuando lo justifique la práctica o el proceso, siempre que no superen los valores límite para efectos sensoriales (Figura 2 punto 5).

O bien

- Se podrá superar los niveles de actuación inferiores, cuando lo justifique la práctica o el proceso, siempre que no superen los valores límite relacionados con efectos para la salud y se adopten los siguientes tipos de medidas de protección específicas según se trate de un campo eléctrico o magnético (Figura 2 punto 6):

o Para campo eléctrico (E): adopción de medidas o estrategias preventivas contra descargas excesivas de chispas y contra las corrientes de contacto, y proporcionar información a los trabajadores.

o Para campo magnético (B): que la superación de valores límite para efectos sensoriales sea temporal, se revise la evaluación de riesgos cuando aparezcan síntomas transitorios y se haya proporcionado información a los trabajadores.

Incluso en caso de no poder garantizar los supuestos anteriores, la Directiva admite que se rebasen los valores límite para efectos sensoriales, cuando se justifique por la práctica o el proceso siempre que (Figura 2 punto 7):

o La superación de los límites sea sólo temporal.

o No se superen los valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud.

o Se hayan adoptado medidas de protección específicas (como el control de los movimientos del trabajador durante la sobreexposición).

o Se actualice la evaluación de riesgos cuando aparezcan síntomas transitorios.

o Se haya proporcionado información a los trabajadores sobre la posibilidad de que surjan síntomas y sensaciones pasajeras relacionadas con los efectos en el sistema nervioso central (SNC) o periférico (SNP).

Es más, la Directiva admite que la aplicación de los valores de referencia puede entrar en conflicto en condiciones específicas de sobreexposición en diversas actividades, como en el ámbito de la defensa militar o de la resonancia magnética. Así, la Directiva incorpora la posibilidad de exención de cumplimiento para estas actividades y para cualquier otra “debidamente justificada.” En particular (Figura 2 punto 8):

- Exposiciones relacionadas con la instalación, el ensayo, uso, desarrollo o mantenimiento de equipos para la investigación o para la obtención de imágenes por resonancia magnética (IRM) en el ámbito sanitario (Figura 3).
- Exposiciones de personal que trabaje en instalaciones militares operativas o que participe en actividades militares, incluidos los ejercicios militares internacionales conjuntos.
- Las exposiciones en sectores específicos o durante la realización de actividades específicas ajenas a los ámbitos anteriores, en “circunstancias debidamente justificadas”

### MEDIDAS ENCAMINADAS A LA REDUCCIÓN DE RIESGOS

En relación con las medidas específicas de prevención y protección, la Directiva establece que “salvo que la evaluación realizada (...) demuestre que no se superan los valores límite de exposición correspondientes y que pueden descartarse los riesgos para la seguridad, el empresario elaborará y aplicará un plan de actuación que incluya medidas técnicas u organizativas”

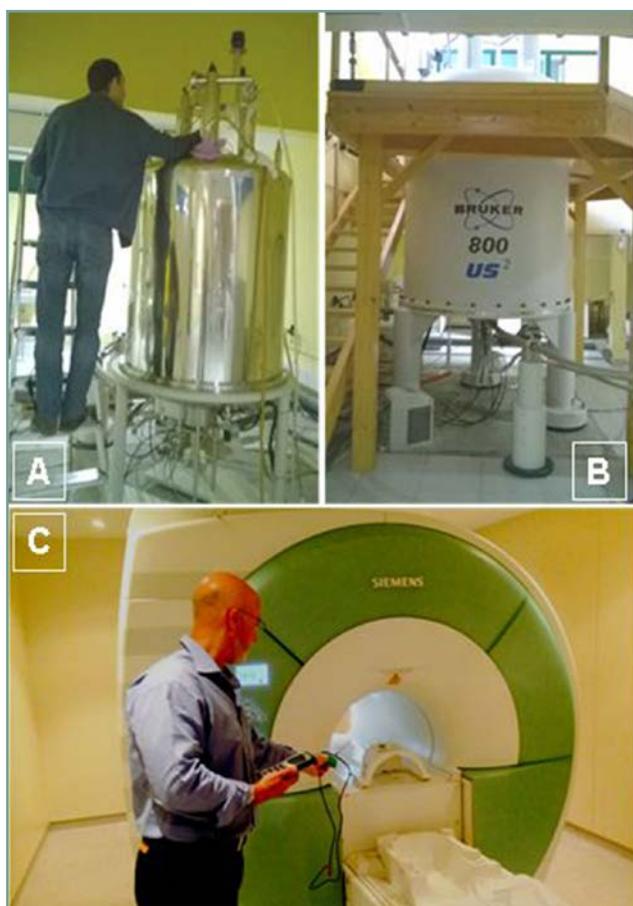
Entre estas medidas destinadas a reducir el nivel de exposición a campos electromagnéticos, la Directiva propone:

- Métodos de trabajo que conlleven una exposición menor.
- Elección de equipos que generen CEM menos intensos.
- Uso de sistemas de bloqueo o blindaje, o mecanismos similares de protección.
- Medidas adecuadas de delimitación y acceso, como señales, etiquetas, marcas en el suelo o barreras para limitar o controlar el acceso.
- Programas adecuados de mantenimiento de los equipos.
- Disponibilidad de equipos adecuados de protección personal.
- Proporcionar al trabajador formación e información sobre los resultados de la evaluación, las medidas adoptadas y los posibles efectos de la exposición, entre otros datos.

### MODIFICACIONES TÉCNICAS MEDIANTE PROCEDIMIENTO DE URGENCIA

Otra novedad que incorpora la Directiva 2013/35/UE es la posibilidad de introducir en su texto modificaciones en casos excepcionales, cuando sea necesario por razones de imperiosa urgencia de evitar posibles riesgos inminentes para la salud y la seguridad de los trabajadores. En este sentido, a fin de garantizar que se mantiene actualizada, la Directiva permite introducir modificaciones de carácter puramente técnico en sus anexos mediante procedimiento de urgencia de los actos delegados adoptados por la Comisión. Estas modificaciones tomarían en consideración nuevos reglamentos y directivas en el ámbito de la armonización y normalización técnicas, novedades tecnológicas, promulgación de normas o especificaciones más pertinentes y nuevos datos científicos relativos a los riesgos derivados de la exposición a CEM, con el fin de adaptar los niveles de actuación pertinentes. En particular la Directiva preveía que la Comisión adoptase un acto delegado para incluir, una vez fueran publicadas, las Directrices de la ICNIRP sobre los límites de exposición a los campos eléctricos inducidos por el movimiento del cuerpo humano en un campo magnético estático o en campos magnéticos variables de frecuencia  $f < 1$  Hz. Tales Directrices han sido publicadas recientemente [7].

Para ello se otorgan poderes a la Comisión para adoptar estos actos delegados, que previa notificación al Parlamento y al Consejo, entrarán en vigor inmediatamente y serán aplicables en tanto no se formule ninguna objeción. Dicha notificación expondrá los motivos de salud y de protección de los trabajadores por los cuales se aplica el procedimiento de urgencia.



**Figura 3.** Los equipos de resonancia magnética para investigación y diagnóstico por imagen se encuentran entre los que generan campos DC de mayor densidad de flujo. A: Bruker 600 MHz (14,1 T en el núcleo) para análisis químico por resonancia magnética. Durante el proceso de colocación de muestras (parte superior del equipo) el operario se ve expuesto a campos DC de hasta 17 mT. B: Bruker Ultrashield 800 (ultra-apatallado; 18 T en el núcleo) para análisis químico por resonancia magnética. Durante el proceso de cambio de sonda (parte inferior del equipo) se registran campos DC de 260 mT a nivel de las extremidades y la cabeza del operario. C: Equipo Siemens de 1,5 T para diagnóstico por imagen; 0,5 – 1,1 T en cabeza y tronco del sanitario durante la colocación del paciente. La Directiva vigente establece una exención de cumplimiento para las personas que operan estos equipos.



## ELABORACIÓN DE GUÍAS PRÁCTICAS

La Directiva, con el fin de facilitar la aplicación de los nuevos criterios, asigna a la Comisión la función de elaborar guías prácticas no vinculantes. Entre las guías propuestas cabe citar las referentes a:

- La determinación de la exposición, teniendo en cuenta normas europeas e internacionales pertinentes, en materia de métodos de cálculo, de obtención del promedio espacial y de directrices para el tratamiento de las incertidumbres en las mediciones y los cálculos.
- Descripción de los métodos de ponderación de picos y de la suma de campos de múltiples frecuencias, para los campos de baja frecuencia y altas frecuencias, respectivamente.
- Directrices para la demostración del cumplimiento de los límites sobre la base de una dosimetría bien establecida, en tipos especiales de exposición no uniforme en situaciones específicas.
- Realización de evaluaciones de riesgos mediante metodologías simplificadas que tengan en cuenta las necesidades específicas de las PYME.
- Evaluaciones de las exposiciones en el intervalo de frecuencias comprendido entre 100 kHz y 10 MHz cuando haya que tomar en consideración tanto los efectos térmicos como los no térmicos.
- Directrices sobre los exámenes médicos y la vigilancia de la salud.

## CONCLUSIONES

La actual Directiva D 2013/35/UE establece nuevos niveles de seguridad para exposición ocupacional a CEM, que son notablemente más permisivos que los propuestos en la Directiva de 2004, ahora derogada. Este cambio da respuesta a las aspiraciones de determinados sectores médicos e industriales, preocupados por las limitaciones que el cumplimiento de la Directiva anterior podía suponer para el desarrollo de sus actividades. Los nuevos niveles y criterios de seguridad, dice el texto de la nueva Directiva, permiten además garantizar la salud de los trabajadores, preservándolos de efectos nocivos inmediatos, directos o indirectos, derivados de una potencial sobreexposición. Al igual que su predecesora, la nueva Directiva no contempla la protección ante potenciales efectos a largo plazo por exposición ocupacional crónica a campos subumbral.

La actual normativa incorpora además nuevos parámetros en los límites de exposición, como los valores límite relacionados con efectos para la salud y valores límite relacionados con efectos sensoriales; así como dos categorías,

superior e inferior, de niveles de actuación. La Directiva también contempla nuevos escenarios de exposición, como la posibilidad de admitir que en determinadas condiciones puedan superarse los niveles de actuación y/o los valores límite relacionados con efectos sensoriales. La Directiva exige de la observancia de los límites en instalaciones militares o en actividades médicas o investigadoras que requieren el manejo de equipos de imagen por resonancia magnética.

Asimismo, con el fin de agilizar la actualización y adecuación de los criterios ante la aparición de nuevos datos sobre posibles riesgos inminentes para la seguridad y salud, se contempla la posibilidad de introducir modificaciones puramente técnicas por la vía de procedimiento de urgencia mediante actos delegados de la Comisión.

Por último, con objeto de facilitar la aplicación de los nuevos criterios, en particular en puntos complejos como la determinación de valores promedio de exposición, la ponderación de los picos o el cálculo mediante dosimetría, entre otros, se asigna a la Comisión la tarea de elaborar guías técnicas no vinculantes que constituyan herramientas útiles en la homogeneización y optimización de los datos metroológicos y dosimétricos para la valoración de las exposiciones ocupacionales.

## REFERENCIAS

- [1] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Heath Physics* 74: 494-522; 1998.
- [2] ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Heath Physics* 96 (4): 504-514; 2009.
- [3] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1-100 kHz). *Heath Physics* 99(6): 818-836; 2010.
- [4] Directive 2004/40/EC of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). *Official Journal of the European Union* L 159 of 30 April 2004
- [5] Directive 2013/35/EU of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). *Official Journal of the European Union* L 179 of 29 June 2013
- [6] Trillo M.A. y Úbeda A. IARC incluye las radiaciones de radiofrecuencias en la categoría de "Posibles Agentes Cancerígenos" *Radioprotección*, 69: 67-69 (2011)
- [7] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Electric Fields Induced by Movement of the Human Body in a Static Magnetic Field and by Time-Varying Magnetic Fields below 1 Hz. *Heath Physics* 106 (3): 418-425; 2014.

# La vulnerabilidad radiológica del suelo como herramienta en la preparación local para la recuperación posaccidente. Actualización de los mapas nacionales

C. Trueba<sup>1</sup>, B. García<sup>2</sup>, M. Montero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat)

<sup>2</sup>Doctoranda de la Facultad de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid (UCM); realizó parte de este trabajo como alumna de Fin de Máster en el Ciemat

**RESUMEN:** El accidente de la central nuclear de Fukushima-Daichii, ocurrido en marzo de 2011, ha puesto de manifiesto que para una adecuada protección de la población, además de una rápida y eficaz actuación en la fase de emergencia, es importante disponer de una adecuada planificación, adaptada a la especificidad local, para establecer las posibles estrategias de recuperación de la zona contaminada. En el ámbito de las estrategias de recuperación, el Ciemat desarrolló una metodología, basada en las propiedades edáficas, para estimar, relativa y cualitativamente, la aptitud de los suelos españoles a transferir la contaminación debida a <sup>137</sup>Cs y <sup>90</sup>Sr. Esta se definió como vulnerabilidad radiológica y sus resultados, representados en forma de mapas, permiten identificar las áreas donde priorizar la recuperación.

En el contexto actual y con el objetivo de que esta metodología pueda ser de utilidad en la toma de decisiones durante las fases intermedia y a largo plazo tras un accidente, se presenta una actualización de dichos mapas aprovechando las mejoras en la representación de los suelos europeos y de las tecnologías geoespaciales de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se discute, además, la conveniencia de utilizar otras metodologías de representación, así como la aplicabilidad de los mapas en los alrededores de las centrales nucleares y del futuro ATC.

**ABSTRACT:** The accident at the Fukushima-Daichii, NPP occurred in March 2011, has shown that an adequate protection of the population requires, along with a quick and effective action in the emergency phase, a proper planning of the possible recovery strategies, adapted to the local specificity, to be applied on the contaminated areas. In relation to recovery strategies, CIEMAT developed a methodology, based on soil properties, to estimate the relative and qualitative aptitude of Spanish soils to transfer <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr. This aptitude was defined as radiological vulnerability and its results, represented as maps, allow the identification of priority areas where recovery strategies are to be applied.

In the current context, and in order to make this methodology useful in decision making during the intermediate and long term stages after an accident, an update of the maps is presented taking advantage from the improvements in the representation of European soils and of the geospatial technologies of Geographic Information Systems (GIS). The appropriateness of using other methodologies of representation as well as the applicability of the maps around the NPP and future ATC, is also discussed.

Palabras claves: vulnerabilidad, suelo, recuperación, especificidad local, mapas  
Keywords: vulnerability, soil, rehabilitation, local parameters, maps

## INTRODUCCIÓN

El accidente de la central nuclear de Fukushima-Daichii, ocurrido en marzo de 2011, ha puesto de manifiesto que para una adecuada protección de la población frente a la radiación ionizante liberada, no sólo es importante una rápida y eficaz actuación en la fase de respuesta de la emergencia. También lo es el disponer de una adecuada planificación de las distintas estrategias de remediación y recuperación de la zona contaminada, una vez superada dicha fase, que debe estar adaptada a la especificidad local [1].

En efecto, una vez controlada la fuente de la emisión accidental y que ésta ha cesado, la contaminación radiactiva se encuentra en el medioambiente. Atendiendo al actual Sistema de Protección Radiológica [2], se corresponde con una situa-

ción de exposición existente, en la que la respuesta debe enfocarse tanto a mitigar las consecuencias sobre la población, infraestructuras y medioambiente como a establecer, de una forma optimizada, estrategias de recuperación y rehabilitación a largo plazo de las áreas afectadas que permitan retornar, en lo posible, a la actividad social y económica de sus habitantes.

Esto supone, que cuando se aborde el desarrollo y planificación de estas estrategias hay que tener identificados los posibles escenarios de actuación, tanto en el tiempo como en el espacio, previendo las vías de exposición dominantes y sus potenciales consecuencias [3].

Para predecir las consecuencias radiológicas en estos escenarios, así como la respuesta de las posibles estrategias de recuperación a utilizar, se utilizan modelos radi ecológicos que

consideran el comportamiento, distribución y evolución en el tiempo de los radionucleidos depositados en el suelo, incluyendo la transferencia a la cadena alimentaria. Las predicciones serán tanto más realistas, cuanto más específicos del escenario de evaluación, sean los parámetros utilizados.

La participación del Ciemat en distintos proyectos pos-Chernóbyl, en el ámbito de las estrategias de recuperación, motivaron la inquietud sobre el comportamiento de los radionucleidos en los suelos españoles, considerando su desarrollo bajo clima mediterráneo y siendo por tanto suelos distintos de los que resultaron afectados por la dispersión de la contaminación en Chernóbyl. Ante la escasez de datos experimentales españoles que permitieran validar los modelos predictivos, entre los años 1996-2000 y en el marco de un proyecto financiado por el Consejo de Seguridad Nuclear y Enresa [4], se desarrolló una metodología basada en los parámetros específicos de suelo con influencia en el comportamiento del  $^{137}\text{Cs}$  y del  $^{90}\text{Sr}$  en el mismo y en su transferencia a las plantas. Con este método indirecto, se estableció un sistema de evaluación de estos procesos que permite predecir de forma relativa y cualitativa la aptitud del suelo a transferir la contaminación. Esta aptitud, función de las propiedades edáficas, es lo que se definió como vulnerabilidad radiológica. La representación cartográfica de los resultados, permite identificar las áreas más vulnerables donde habría que priorizar las estrategias de recuperación [5].

A pesar de que, tras la experiencia de Chernobyl, se ha avanzado en muchos aspectos, tanto en lo relativo al conocimiento de los procesos que intervienen en la transferencia de los radionucleidos en el sistema suelo-planta, como en el propio desarrollo de modelos predictivos, el accidente de la central nuclear de Fukushima-Daichii, en marzo de 2011, ha vuelto a poner de manifiesto que para establecer estrategias de recuperación eficaces y óptimas es necesario conocer y aplicar la información y parámetros específicos de la zona de actuación.

En este contexto, se propone adecuar los mapas de vulnerabilidad españoles para evaluar a nivel local la sensibilidad que pueden presentar los suelos peninsulares a la contaminación radiactiva, con el fin de ayudar en la toma de decisiones durante las fases intermedia y a largo plazo tras un accidente nuclear o radiológico

El presente trabajo hace un breve repaso de la metodología de estimación de la vulnerabilidad radiológica de los suelos peninsulares españoles, con los resultados que se obtienen al aplicarla sobre el vigente mapa europeo de suelos, y para cuya representación se ha aprovechado la versatilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) [6], utilizándose el software de ESRI, ArcGIS [7]. Se discute, además, la conveniencia de utilizar otras metodologías de representación, así como la aplicabilidad de los mapas en los alrededores de las

centrales nucleares y del futuro Almacén Temporal Centralizado (ATC) de residuos.

### **CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS ESPAÑOLES. BASE DE DATOS DE PROPIEDADES EDÁFICAS**

Tras su liberación y dispersión, el  $^{137}\text{Cs}$  y el  $^{90}\text{Sr}$  se depositan en el suelo participando en distintos procesos físicoquímicos que afectan a su comportamiento, básicamente, la entrada, la migración vertical y la distribución entre las distintas fases del suelo. La entrada de los radionucleidos se va a producir por vía acuosa, bien por depósito húmedo o bien por depósito seco, pero con lluvia o riego posterior. El movimiento del radionucleido a través del perfil de suelo se produce, fundamentalmente, con el movimiento de la fase líquida o solución del suelo.

La distribución entre las fases está dominada por reacciones de intercambio catiónico, mostrando el  $^{137}\text{Cs}$  una elevada tendencia a adsorberse de forma muy selectiva y prácticamente irreversible en unas sedes de cambio muy específicas y características de los minerales de arcilla micáceos (especialmente la illita), compitiendo además por ellas con el potasio, presente en el suelo además de nutriente esencial de los cultivos [8]. El  $^{90}\text{Sr}$ , por su parte, se adsorbe de forma casi totalmente reversible en la fase sólida del suelo, condicionado por el pH, el contenido en materia orgánica y el contenido en calcio del suelo, otro nutriente esencial de los cultivos y con el que compete [9].

Los procesos a considerar en la estimación de la vulnerabilidad radiológica de suelo serán: la capacidad de infiltración, la capacidad de retención hídrica, la capacidad de retención físicoquímica y la capacidad nutricional dependientes de propiedades edáficas como la textura y la estructura del suelo, el pH, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido en cationes intercambiables, etc.

La caracterización de los suelos españoles se realizó a través de una extensa recopilación bibliográfica de perfiles de suelo, a nivel de la España peninsular. El objetivo perseguido era la elaboración de una base de datos de perfiles que permitiera identificar los distintos tipos de suelos peninsulares y los valores de sus propiedades edáficas.

La recopilación permitió identificar cerca de 2.500 perfiles de suelo con información relativa a su localización y uso, datos morfológicos y analíticos para cada horizonte del perfil y su clasificación. Teniendo en cuenta la heterogeneidad de las fuentes consultadas, no sólo en cuanto al año de publicación, también al tipo de fuente documental, fue necesario normalizar y tratar toda la información recogida, bajo unos criterios de calidad previamente establecidos, con el fin de seleccionar aquellos perfiles válidos para caracterizar los suelos, realizar las estimaciones y facilitar la comparación de resultados [10]. En lo que a clasificación de suelo se refiere, se seleccionaron dos sistemas por ser de uso generalizado a nivel mundial, la

leyenda de la FAO-Unesco del año 1974 [11] y la nomenclatura USDA-*Soil Taxonomy* del año 1975 [12].

El proceso de normalización y tratamiento de los datos permitió finalmente elaborar una base de datos con 2.176 perfiles de suelo [13], de los que 1.655 estaban lo suficientemente completos como para poder ser utilizados en la metodología de estimación de la vulnerabilidad radiológica.

La utilización de SIG en el proceso de elaboración de los nuevos mapas, ha permitido revisar dicha base de datos, sobre todo en lo relativo a la georreferenciación de todos los perfiles de suelo. Por una parte, se ha homogeneizado el sistema de coordenadas utilizado y, por otra, se ha realizado un control de calidad utilizando distintas herramientas, lo que ha permitido reubicar perfiles que erróneamente estaban mal situados [14]. Estas comprobaciones han permitido aumentar el número de perfiles para las estimaciones de vulnerabilidad, así como homogeneizar la información de la base de datos y ganar precisión en cuanto a la ubicación de perfiles.

### METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA

La unidad de referencia sobre la que se aplica la metodología de estimación de la vulnerabilidad radiológica es el perfil de suelo, siendo dos las potenciales vías de riesgo a la población, según el comportamiento descrito. Por una parte la irradiación externa (IE) por retención y acumulación de los radionucleidos en el horizonte más superficial del suelo y, por otra, la exposición interna debida a la ingestión de alimentos contaminados, si los radionucleidos consiguen transferirse desde el suelo a los cultivos, por absorción radicular y, finalmente, al hombre a través de la cadena alimentaria (CA).

Para el riesgo debido a IE la metodología considera las capacidades de infiltración, retención hídrica y retención fisicoquímica en el espesor del horizonte superficial del perfil; para el riesgo debido a la CA la metodología considera esas mismas capacidades así como la capacidad nutricional pero, en un espesor de suelo de hasta 60 cm (espesor crítico), por considerar que en él se produce el máximo desarrollo radicular y, que puede incluir, según el tipo de suelo, un número variable de horizontes.

Para cada una de estas capacidades, se han establecido cinco categorías,  $C_i$ , definidas de muy baja a muy alta capacidad, a las que se ha asignado un rango de valores de menor a mayor. La Tabla I muestra, respectivamente, las cinco categorías y los valores asociados para las capacidades de infiltración  $C_{F_r}$ , de retención hídrica  $C_{H_r}$ , de retención fisicoquímica del  $^{137}\text{Cs}$   $C_{F_{QCS_r}}$ , de retención fisicoquímica del  $^{90}\text{Sr}$   $C_{F_{QSR_r}}$  y nutricional del potasio  $C_K$  y del calcio  $C_{Ca}$ .

La estimación de la vulnerabilidad radiológica se realiza de forma cualitativa sobre cada una de esas categorías, a las que se les asigna un valor entre 1 y 5, según la influencia relativa que cada una de las capacidades tiene sobre la transferencia

de la contaminación, según la vía de riesgo de que se trate. Estos valores para cada capacidad y vía de riesgo se definen como índices de vulnerabilidad,  $I_{IE}$  e  $I_{CA}$ , que oscilan entre la mínima (1) y la máxima (5) tendencia de transferir la contaminación al hombre, es decir, la mínima y máxima vulnerabilidad radiológica, facilitando así la categorización de los suelos. Los índices así definidos son parciales porque consideran cada capacidad de forma individual.

El primer paso a seguir es, por tanto, asignar a cada perfil de suelo, según los valores que muestren las capacidades consideradas, la categoría correspondiente. Como cada horizonte del perfil muestra sus propios valores, para determinar la categoría del conjunto del mismo hay que tener en cuenta el espesor de suelo considerado según la vía de exposición de que se trate. Así, según lo descrito, para IE, los valores que muestren las capacidades de infiltración, retención hídrica y retención fisicoquímica en el horizonte superficial serán las que correspondan al conjunto del perfil. En el caso de la CA, la capacidad de infiltración del perfil será la que muestre el horizonte superficial, por ser la propiedad de entrada de los radionucleidos, mientras que para el resto de capacidades será necesario combinar los valores que muestren los distintos horizontes que integran el espesor crítico. La combinación suele ser el valor medio en el espesor crítico, ponderado por el espesor de cada horizonte.

Una vez que cada perfil tiene asignadas las correspondientes categorías para cada capacidad, según la vía de exposición, el siguiente paso es la evaluación de la vulnerabilidad radiológica. Así, para el riesgo de IE, un suelo será menos vulnerable cuanto menos se acumulen los radionucleidos en el horizonte superior, reduciéndose el riesgo de exposición. Esto sucede a mayor  $C_{F_r}$  menor  $C_{H_r}$  y menor  $C_{F_Q}$  (ya sea del  $^{137}\text{Cs}$  como del  $^{90}\text{Sr}$ ), favoreciendo la migración a horizontes más profundos.

En cuanto al riesgo de ingestión de productos agrícolas contaminados a través de la CA, un suelo será menos vulnerable cuanto menor sea la potencialidad de transferencia de los radionucleidos a los cultivos por quedar adsorbidos de forma no intercambiable en el espesor crítico considerado. Esto sucede a menor  $C_{F_r}$  al ser muy lenta la velocidad de entrada de los contaminantes con el agua, menor  $C_{H_r}$  favoreciendo la migración a horizontes más profundos y mayores  $C_{F_Q}$  (ya sea del  $^{137}\text{Cs}$  como del  $^{90}\text{Sr}$ ) y  $C_K$  y  $C_{Ca}$ , favoreciendo tanto la retención en la fase sólida como el contenido en nutrientes competidores.

La tendencia global del suelo ante una situación de contaminación, se obtendría combinando los índices parciales. En este caso, se considera el sumatorio de los índices parciales de influencia, según la vía de riesgo y para cada radionucleido obteniendo los siguientes índices globales:

$$\begin{array}{ll} \text{Irradiación externa:} & \text{Cadena Alimentaria:} \\ I_{T\_IE_{Cs}} = I_{F\_IE} + I_{H\_IE} + I_{F_{QCS\_IE}} & I_{T\_CA_{Cs}} = I_{F\_CA} + I_{H\_CA} + I_{F_{QCS\_CA}} + I_K \\ I_{T\_IE_{Sr}} = I_{F\_IE} + I_{H\_IE} + I_{F_{QSR\_IE}} & I_{T\_CA_{Sr}} = I_{F\_CA} + I_{H\_CA} + I_{F_{QSR\_CA}} + I_{Ca} \end{array}$$



Descripción	C <sub>f</sub>	C <sub>H</sub>	C <sub>FQCs</sub>	C <sub>FQsr</sub>	C <sub>K</sub>	C <sub>Ca</sub>
Muy baja	F ≤ 1,0	R ≤ 2,0	Arenoso	pH ≤ 4,5	K ≤ 0,1	Ca ≤ 1,0
Baja	1,0 < F ≤ 5,0	2,0 < R ≤ 3,0	Orgánico	4,5 < pH ≤ 5,5	0,1 < K ≤ 0,25	1,0 < Ca ≤ 2,0
Media	5,0 < F ≤ 20,0	3,0 < R ≤ 4,0	Arcilloso/1:1	5,5 < pH ≤ 6,5	0,25 < K ≤ 0,5	2,0 < Ca ≤ 5,0
Alta	20,0 < F ≤ 50,0	4,0 < R ≤ 5,0	Arcilloso/2:1 expansible	6,5 < pH ≤ 7,5	0,5 < K ≤ 1,0	5,0 < Ca ≤ 10,0
Muy alta	F > 50,0	R > 5,0	Arcilloso/2:1 no expansible	pH > 7,5	K > 1,0	Ca > 10,0

**Tabla 1:** Descripción y valores de las categorías de cada capacidad de suelo consideradas en la metodología.

## REPRESENTACIÓN DE LA VULNERABILIDAD RADIOLÓGICA

Los resultados de vulnerabilidad, diez índices parciales y cuatro globales, se han obtenido de forma individual para cada uno de los 1.657 perfiles completos de la base de datos. Sin embargo, los resultados representados en función de las coordenadas de cada perfil, no facilitan la visualización de la vulnerabilidad ni permiten la categorización de la misma, siendo necesario poder representar su distribución espacial en recintos de suelo.

Para ello, se ha utilizado la misma metodología de distribución espacial de la vulnerabilidad en recintos de suelo, que en la versión anterior [5], pero actualizando el mapa base de representación, en este caso el mapa de suelos de la *Soil Geographical Data Base of Europe* (SGDBE), versión 3, scale 1:1.000.000, [15].

Como en la primera edición, se han utilizado como unidades de representación las unidades cartográficas que se distinguen en el mapa de suelos, las denominadas SMU (*Soil Map Unit*: Unidad de Suelo Cartografiable). Cada una de ellas está definida por una asociación de distintos tipos de suelo, básicamente un suelo principal, que es el que ocupa la mayoría de la superficie del recinto (denominado STU, *Soil Type Unit*: Unidad de Tipo de Suelo) y uno o varios suelos asociados. Están además caracterizados, entre otras propiedades, por el material originario, la elevación del terreno, la textura del suelo principal, el uso del suelo y la pendiente dominante en el área de la asociación.

La metodología consiste básicamente en asignar a cada SMU los correspondientes perfiles de la base de datos, de manera que un valor estadístico de los índices de vulnerabilidad de éstos sea el que represente la SMU.

Para ello, las SMU se han agrupado en función de la clasificación FAO-Unesco del año 1974, coincidente con una de las dos clasificaciones de los perfiles de la base de datos. Además, dada la influencia del substrato litológico en el desarrollo de suelo y, por tanto, en el comportamiento de los radionucleidos, las SMU se han dividido en función de la litología en aquellos casos en los que las diferencias litológicas se han considerado relevantes y siempre y cuan-

do se fuera a contar con un número de perfiles de suelo significativo a los que poder asociar ese grupo de SMU. De este modo se ha llevado a cabo una reclasificación de las SMU, a las que se ha atribuido un código denominado CODSUELO.

Una vez reclasificadas, a estas unidades cartográficas se les han asignado

los correspondientes perfiles de la base de datos, en función de su clasificación y, en su caso, de la litología. Como los índices de vulnerabilidad se han calculado por perfil, lo normal es que, tras la asignación, una SMU presente distintos índices de vulnerabilidad para una misma capacidad. Estadísticamente se ha tomado el valor más frecuente o moda de entre todos ellos, como el valor del índice de vulnerabilidad representativo de la SMU.

De esta forma, cada unidad cartográfica reclasificada del mapa base adopta un valor del 1 al 5, en función del valor moda de los índices de vulnerabilidad radiológica de los perfiles asignados al mismo. Así, se asigna un valor 1 para vulnerabilidad mínima, representada en azul oscuro, 2 para vulnerabilidad baja, representada en azul claro, un valor 3 para vulnerabilidad media, representada en verde, un 4 para vulnerabilidad alta, representada en amarillo y un valor 5 para vulnerabilidad máxima, representada en rojo. Teniendo en cuenta que los índices de vulnerabilidad totales se obtienen de la suma de los parciales, los valores resultantes se han reclasificado en las cinco categorías de vulnerabilidad establecidas, siguiendo los criterios marcados ya en la primera edición de los mapas de vulnerabilidad [5].

Los pasos pormenorizados llevados a cabo, en lo que se refiere tanto a las agrupaciones y a las reclasificaciones de las unidades cartográficas del mapa base y de los perfiles de la base de datos, como a la conexión entre el mapa base y la base de datos de los perfiles y la representación final de los índices utilizando ArcGIS, están recogidos en [16].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta nueva versión de los mapas muestran, en general, para todos los índices, la misma tendencia de comportamiento que los resultados obtenidos en la versión del año 2000. Esto es lógico, si se tiene en cuenta que la metodología de distribución espacial de la vulnerabilidad no ha variado. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en la nueva versión de los mapas no sólo se ha potenciado la influencia de la litología; además se han podido representar índices de vulnerabilidad de suelos como los regosoles, acrisoles y rendzinas, entre otros, que en la versión anterior no pudieron representarse porque no existían como tales en el mapa base de suelos de la España peninsular utilizado en aquel momento.

Los resultados quedan por tanto más marcados en esta nueva versión que en la versión anterior.

Como ejemplo del tipo de resultados que se obtienen, se muestran los mapas de vulnerabilidad de retención fisicoquímica del  $^{137}\text{Cs}$ , respecto al riesgo debido a CA; la Figura 1 muestra los resultados del 2000 y la Figura 2, los del 2014.

Al depender este índice de la capacidad de intercambio catiónico y por tanto del contenido en arena, materia orgánica y arcilla y tipo de ésta, los índices de vulnerabilidad máxima se darán en aquellos suelos más arenosos, con menor número de sedes de intercambio y donde el  $^{137}\text{Cs}$  está disponible, en la solución del suelo del espesor crítico, para ser absorbido radicalmente. Por su parte, los índices bajos ocurrirán en suelos donde las arcillas dominantes son del tipo 2:1 expansibles, como vermiculita y montmorillonita, capaces de retener de forma más o menos intercambiable, dependiendo del grado de expansión en el que se encuentren, el radiocesio. La vulnerabilidad mínima se da en suelos con presencia de illitas, arcillas tipo 2:1 no expansibles, que retienen interlaminares y de forma no intercambiable al radiocesio, impidiendo su transferencia a las plantas. En el mapa del año 2000, ya se observaba una clara distribución geográfica de este índice entre los suelos de textura más arenosa y más arcillosa, marcándose esta tendencia aún más en el mapa actual.

Los resultados así presentados y basados en la reclasificación de las SMU, descrita anteriormente, no requieren de la georreferenciación de los perfiles de suelo ya que la relación entre éstos y el mapa de suelos se realiza a partir del tipo de suelo y de la litología del substrato. No obstante, se ha querido llevar a cabo la representación de la vulnerabilidad calculada en cada uno de los 1.657 puntos de los que se tienen datos, aprovechando la tarea de verificación de las coordenadas de los perfiles de la base de datos llevada a cabo. Para ello se han empleado dos metodologías diferentes. La primera de ellas, la unión espacial entre los perfiles y el mapa de suelos, consiste en tomar el valor de la moda de los perfiles que quedan dentro de cada una de las unidades cartográficas diferenciadas en el mapa de suelos para cada uno de los índices de vulnerabilidad. La segunda consiste en aplicar el método *Kriging* de interpolación, método con el que se han generado áreas con la misma vulnerabilidad radiológica, teniendo en cuenta los doce perfiles más próximos. En las Figuras 3 y 4 se puede observar el resultado de las dos metodologías alternativas empleadas para la representación del índice de vulnerabilidad de capacidad nutricional de potasio  $I_{K-CA}$ .

Para poder comparar los resultados de las tres metodologías, en la Figura 5 se muestra el resultado de la representación del índice de vulnerabilidad  $I_{K-CA}$  utilizando la metodología de reclasificación de las unidades cartográficas.

A pesar de que la tendencia general de distribución de la vulnerabilidad es similar aplicando las tres metodologías,

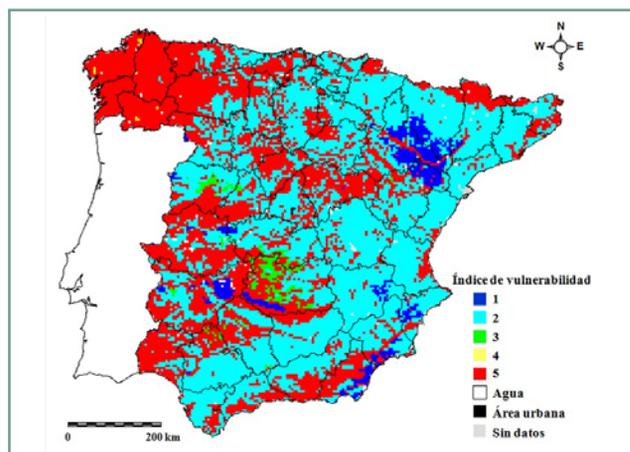


Figura 1: Resultados  $I_{FQCS-CA}$ , 2000.

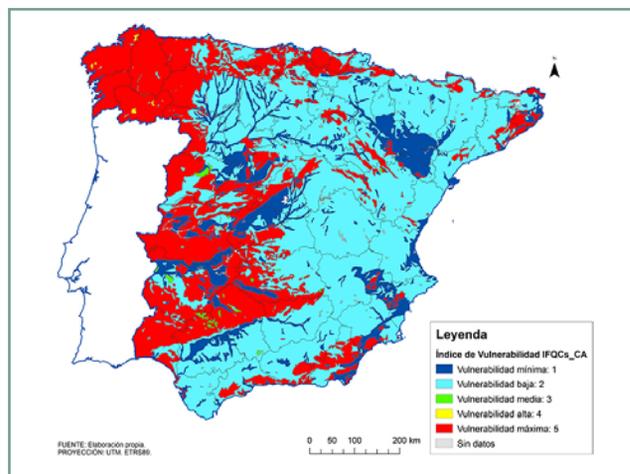
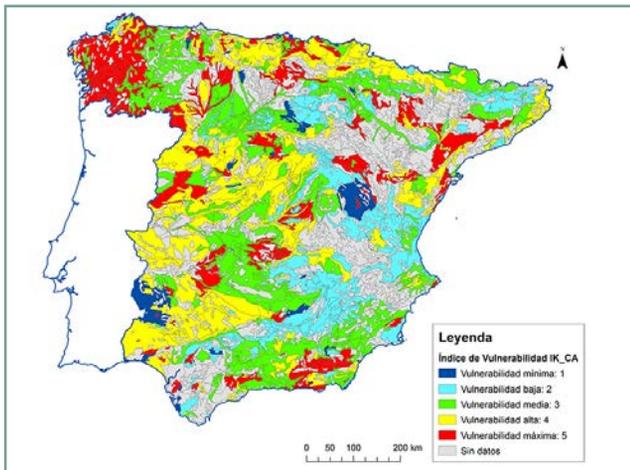


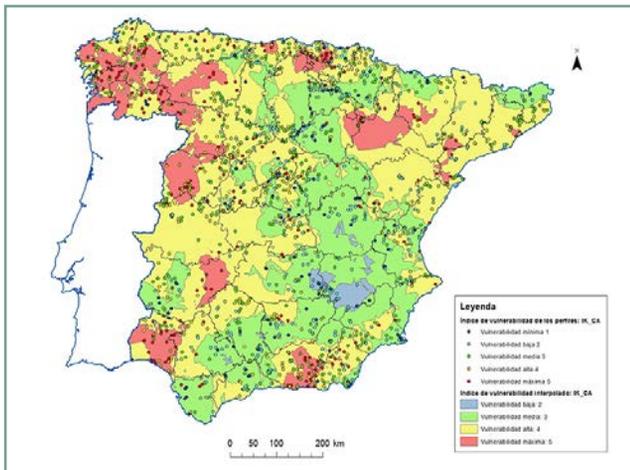
Figura 2: Resultados  $I_{FQCS-CA}$ , 2014.

existen diferencias importantes entre los mapas resultantes. El mapa de la Figura 3 muestra, que una parte de la superficie peninsular queda sin valores de vulnerabilidad (en gris, en el mapa), al no existir perfiles de suelo en la base de datos para todos y cada uno de los polígonos cartografiados en el mapa de suelos tomado como base de representación. En cuanto al mapa obtenido por el método de interpolación de la Figura 4, aunque en este caso se tiene toda la superficie del territorio español peninsular cubierta, existen áreas en las que la interpolación de valores se ha realizado a partir de perfiles demasiado alejados y, por el contrario, hay otras zonas en las que la densidad de perfiles es excesiva, lo que hace que se tenga información redundante en áreas concretas.

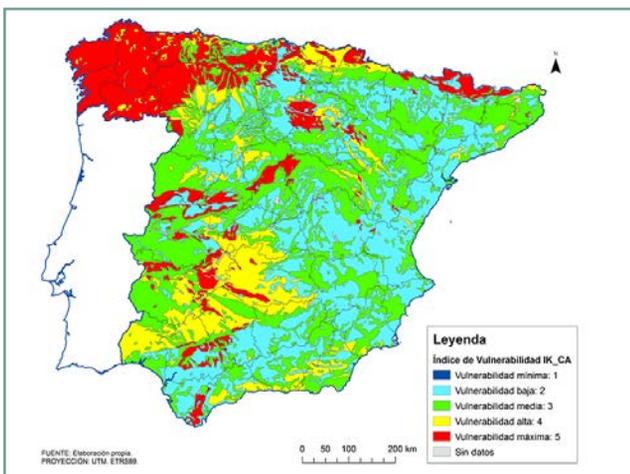
En lo relativo a la distribución de los perfiles, a pesar de que la densidad de puntos en el conjunto del territorio en estudio es elevada (concretamente de 0,0036 perfiles/km<sup>2</sup>, es decir, un perfil cada 300 km<sup>2</sup>, aproximadamente), su distribución es muy heterogénea, como ya se ha mencionado. Existen áreas de la España peninsular en las que no se cuenta



**Figura 3:** Mapa de vulnerabilidad radiológica para el contenido en K, utilizando el método de unión espacial entre los perfiles y el mapa de suelos.



**Figura 4:** Mapa de vulnerabilidad radiológica para el contenido en K, utilizando el método de interpolación Kriging. También se han representado los perfiles de suelos y el valor de la vulnerabilidad radiológica para el índice IK\_CA.



**Figura 5:** Mapa de vulnerabilidad radiológica para el contenido en K, utilizando la metodología de reclasificación de las SMU.

con perfiles de suelos, particularmente, en zonas de Zaragoza, Burgos, León, Cuenca, etc., mientras que otras tienen demasiados perfiles, como ocurre, por ejemplo, en Madrid y el País Vasco, donde la densidad de puntos es muy elevada (llegando hasta los 0,0113 perfiles/km<sup>2</sup>) y, por lo tanto, se podría tener información redundante.

La evidencia de la tan heterogénea distribución espacial de los mismos se ha verificado mediante el análisis de la distribución estadística de los 1.657 perfiles de suelo, realizado con el método *Average Nearest Neighbour* (Promedio de Vecinos más Cercanos) [17], incluido en ArcGis, y cuya distribución de densidad aparece en la Figura 6, ilustrando el fuerte agrupamiento que existe en los puntos.

Estas limitaciones, tanto las diferencias en la densidad de perfiles, como la representatividad de los mismos desde el punto de vista de su localización, sugieren que la mejor manera de representar la vulnerabilidad es utilizando la metodología utilizada en la propuesta original [5] de reclasificación de las SMU.

Esto justifica que, puesto que para la representación de la vulnerabilidad se tiene en cuenta la clasificación edáfica de los perfiles y no su localización geográfica específica, de la bibliografía recopilada en su día para elaborar la base de datos se extrajeran el mayor número de perfiles posible de cada tipo, con el fin de caracterizar mejor todos ellos. De este modo, la base de datos de perfiles contiene tanto aquellos que son representativos de la zona en la que se encuentran, como otros que corresponden a perfiles singulares dentro de su entorno.

Inciendiando en la importancia de la especificidad local para la recuperación post accidente, se ha realizado un análisis sobre la densidad de perfiles en las zonas de planificación de las medidas de protección de las centrales nucleares y del ATC, teniendo en cuenta las distancias que establece el Plan Básico de Emergencia Nuclear (3, 5, 10 y 30 km) [18], y las propuestas internacionales para ampliar la zona de planificación en el largo plazo entre 80 km y 100 km [19, 20]. En dicho análisis, cuyo resultado en forma de mapas se muestra en la Figura 7, se ha tomado como densidad de perfiles mínima aceptable un valor de 0,0022 perfiles/km<sup>2</sup>, cifra límite con la que se han distinguido las zonas con una densidad de perfiles suficiente (en color verde) y las zonas con un déficit de densidad de perfiles (en color rojo). La figura muestra que una gran parte de las zonas de planificación en torno a las centrales presentan una densidad baja de perfiles que oscilan entre el 26 % de Garoña y el 55 % de Almaraz.

En estas zonas sería, por lo tanto, conveniente establecer el número de perfiles adecuado y seleccionar los más representativos para completar la base de datos de perfiles y conseguir de este modo una densidad de perfiles óptima y una distribución homogénea de los mismos alrededor de las centrales nucleares y del ATC. Los resultados de vulnerabilidad serían en esta situación específicos de cada emplazamiento.

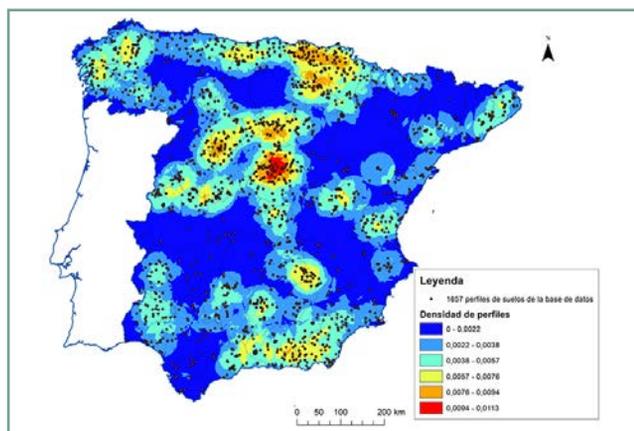


Figura 6: Estudio de la distribución de densidad de los perfiles de suelos.

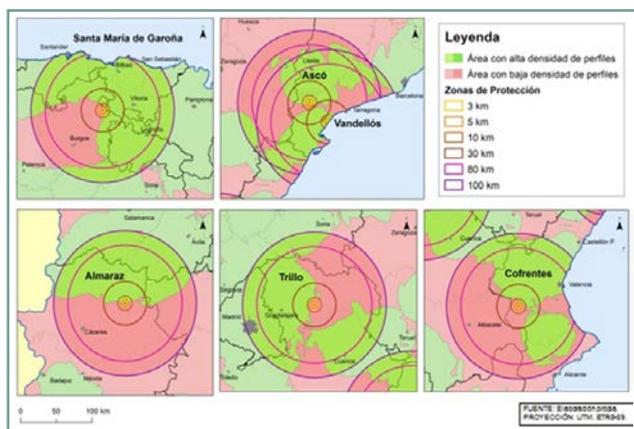


Figura 7: Zonas de planificación de las medidas de protección de las CCNN y del ATC con respecto a las áreas con exceso y déficit de perfiles de suelos.

## CONCLUSIONES

Con todo lo expuesto anteriormente puede afirmarse que, a nivel de la España peninsular, la representación de la vulnerabilidad radiológica con la propuesta de reclasificación de las SMU se considera válida y suficiente para determinar la tendencia general del comportamiento de los suelos respecto a la contaminación por Cs y Sr, y por tanto, para identificar potenciales escenarios de actuación.

En relación a una planificación en las zonas con mayor potencial de ser contaminadas, como los entornos de las centrales nucleares y el ATC, sería necesario mejorar la densidad y representatividad de los perfiles de suelo así como la metodología de representación, seleccionando alguno de los otros métodos propuestos.

Los mapas de vulnerabilidad radiológica obtenidos pueden constituir una herramienta útil y adecuada para evaluar a nivel local la sensibilidad que pueden presentar los suelos peninsulares a una posible contaminación radiactiva tras un accidente. Dentro del proceso de toma de decisiones, permitirán determinar las zonas prioritarias de actuación en función de esta vulnerabilidad así como en el establecimiento de

programas de vigilancia y monitorización radiológica de la zona de actuación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. International Agency of Energy Atomic. IAEA Report on Radiation Protection after the Fukushima Daiichi Accident: Promoting Confidence and Understanding. International Experts Meeting. Vienna, 17–21 February 2014 International Atomic Energy Agency. IAEA Report on Radiation Protection after the Fukushima Daiichi Accident: Promoting Confidence and Understanding. International Experts Meeting. Vienna, 17–21 February 2014.
- [2]. SEPR-APCNEAN. ICRP-103. Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Traducción oficial al español de la Publicación ICRP n° 103. SEPR, Madrid. 2008.
- [3]. OECD Nuclear Energy Agency. Strategic aspects of nuclear and radiological emergency management. Radiological Protection Series. NEA No 6387. OECD publications, París. 2010.
- [4]. Proyecto: "Caracterización de la Vulnerabilidad Radiológica de los Suelos en caso de Accidente Nuclear Grave en relación con la Vegetación Natural y los Cultivos". Acuerdo CSN/CIEMAT n° 96/358. 1996.
- [5]. Trueba, C., Millán, R., Schmid, T., Lago, C. Estimación de Índices de Vulnerabilidad Radiológica para los Suelos Peninsulares Españoles. Colección Documentos CIEMAT. 2000. ISBN: 84-7834-374-1.
- [6]. Pérez Navarro, A., coordinador. "Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática". Editorial UOC, 2011.
- [7]. ArcGIS. <http://www.arcgis.com/home/index.html>.
- [8]. Absalom J.P., Young S.D., Crout N.M.J., Nisbet A.F., Woodman R.F.M., Smolders E., Gillett A.G. Predicting Soil to Plant Transfer of Radionuclides using Soil Characteristics. Environ. Sci. Technol. 33, pp. 1218-1223. 1999.
- [9]. Juo A.S.R., Barber S.A. The Retention of Strontium by Soils as Influenced by pH, Organic Matter and Saturation Cations. Soil Sci. Vol. 109, n° 3, pp. 143-148. 1970.
- [10]. Trueba Alonso C., 2004, Metodología para Evaluar la Sensibilidad Radiológica de Suelos y su Aplicación a los Suelos Peninsulares Españoles. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid
- [11]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO-UNESCO Soil Map of the World, 1:5.000.000. Volume 1. Legend. UNESCO, París. 1974.
- [12]. United States Soil Survey Staff (USDA), 1975, Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey. Agriculture Handbook.
- [13]. Trueba, C., Millán, R., Schmid, T., Lago, C. Base de Datos de Propiedades Edafológicas de los Suelos Españoles. CD-Rom (ISBN: 84-7834-370-9). Editorial CIEMAT, 2000.
- [14]. García-Puerta, B. "Actualización de la Representación de los Índices de Vulnerabilidad Radiológica de los Suelos de la Península Ibérica". Trabajo Fin de Máster. Máster en Tecnologías de la Información Geográfica, Universidad Complutense de Madrid, 2014.
- [15]. EC Soil Geographical Data Base of Europe at scale 1:1000000, version 3 (1995) in: The European Soil Database distribution version 2.0, European Commission and the European Soil Bureau Network, CD-ROM, EUR 19945 EN, 2004. [http://eu soils.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/ESDBv2/index.htm](http://eu soils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/ESDBv2/index.htm) [último acceso 22-02-2013]
- [16]. Trueba Alonso C., García Puerta B., Montero Prieto M., 2015, Actualización de los Mapas de Vulnerabilidad Radiológica de la España Peninsular. Colección Documentos CIEMAT, en edición.
- [17]. Clark, P.J., Evans, F.C. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35, 445-453. 1954.
- [18]. Real Decreto 1546/2004, de 25 de junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear. BOE núm. 169, de 14 de julio de 2004, 25691-25721.
- [19]. NRC/FEMA Steering Committee. Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants. NUREG-0654/FEMA-REP-1, Revision 1. U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1980.
- [20]. International Atomic Energy Agency. Actions to protect the public in an emergency due to severe conditions at a light water reactor. EPR-NPP Public Protection Actions 2013. IAEA, Vienna.

# NOTICIAS de ESPAÑA

## El CSN celebra la 21ª Jornada de Vigilancia Radiológica Ambiental

El Consejo de Seguridad Nuclear celebra anualmente una jornada sobre vigilancia radiológica ambiental, con objeto de presentar los resultados obtenidos en las campañas de intercomparación que organiza anualmente, con el apoyo técnico del Ciemat, y analizar los aspectos más destacables de la vigilancia radiológica ambiental, constituyendo un foro adecuado para analizar los problemas y dificultades surgidos en el desarrollo de los programas de vigilancia y en la implantación de sistemas que garanticen la adecuada calidad de los resultados obtenidos en los mismos.

El pasado 27 de noviembre, tuvo lugar, en el Salón de Actos del CSN, la vigésimo primera *Jornada de Vigilancia Radiológica Ambiental*, en la cual se presentaron los resultados obtenidos en la campaña 2013, en la que se analizaron distintos tipos de filtros utilizados en los sistemas de captación atmosférica de partículas de polvo en aire. Estas campañas suponen una herramienta a emplear por los laboratorios de ensayo para demostrar la fiabilidad de los datos que producen, evaluar las habilidades del personal y las características de los métodos de ensayo, detectar problemas, mejorar procedimientos y, en definitiva, comprobar su competencia técnica.

La apertura de las jornadas corrió a cargo de la directora técnica de Protección Radiológica del CSN, María Fernanda Sánchez Ojanguren, quien puso de manifiesto la importancia de la colaboración del CSN y los laboratorios que realizan las medidas ambientales y la necesidad de continuar avanzando en los aspectos de calidad como es el caso de las acreditaciones.

Los resultados de la intercomparación fueron presentados por representantes del Ciemat, responsables de la evaluación de los resultados. Durante la reunión, también se abordaron temas de actualidad en relación con la radiactividad ambiental, como la *Directiva Marco sobre Estrategia Marina*, que fue presentada por una representante del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, información de ENAC acerca de la celebración de una jornada sobre acreditación en el área de radiactividad ambiental, o el próximo lanzamiento de una aplicación que da acceso público vía web a la base de datos de vigilancia radiológica ambiental del CSN, Keeper, convirtiendo esta Jornada en un foro de reflexión conjunta muy útil para enriquecer la calidad en la medida de la radiactividad ambiental.

La clausura de la Jornada corrió a cargo de la subdirectora de Protección Radiológica Ambiental del CSN, Lucila Mª Ramos, quien resaltó una vez más la oportunidad que supone la celebración de esta Jornada para la mejora en la calidad de las medidas y la eficacia de los laboratorios nacionales, la fiabilidad de los datos y el intercambio de información y experiencias entre los participantes, concluyendo con el

- agradecimiento a todos los presentes por su asistencia y contribución, a los que emplazó a seguir trabajando en la misma línea de colaboración y profesionalidad.

Rosario Salas, CSN.

## I Jornada de Análisis de Riesgo en Radioterapia

El día 10 de diciembre de 2014 tuvo lugar en el Hospital 12 de Octubre de Madrid la *I Jornada de Análisis de Riesgo en Radioterapia*, organizada por el Hospital y la Fundación de Investigación Biomédica de dicho hospital, con la colaboración de la Sociedad Española de Física Médica, la Sociedad Española de Protección Radiológica, la Asociación Española de Técnicos en Radiología, la Sociedad Española de Oncología Radioterápica y el Consejo de Seguridad Nuclear. Su objetivo era recoger el estado actual y las previsiones futuras de la aplicación de los análisis de riesgo en Radioterapia, desde los puntos de vista técnico y reglamentario, y hacer públicos los resultados del proyecto MARR de aplicación de matrices de riesgo a radioterapia.

La Jornada se estructuró en tres sesiones, con sus correspondientes rondas de discusión. En la primera sesión, presidida por el doctor José Fermín Pérez-Regadera del Hospital 12 de octubre, se analizaron la necesidad de análisis de riesgos en radioterapia (Asunción Hervás, SEOR) y el estado del arte en técnicas de análisis de riesgo (Arturo Pérez, CSN), explicándose sus elementos fundamentales y haciendo hincapié en la metodología de matrices de riesgo en comparación con otras técnicas internacionales como la propuesta por el organismo regulador francés (ASN), o la promovida por el TG-100 de la Asociación Americana de Física Médica (AAPM). Por último en esta sesión participaron Javier Zarzuela, subdirector de Protección Radiológica Operacional del CSN, que destacó la situación normativa que se deriva de la Directiva de Euratom de 5 de diciembre de 2013 que requiere la realización de análisis de Riesgo de Radioterapia, y Yolanda Agra, consejera técnica del Área de Seguridad del Paciente de Dirección General de Salud Pública, Calidad e Innovación del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, que presentó brevemente el punto de vista de la autoridad sanitaria.

La segunda sesión, presidida por Eduardo Gallego, presidente de la SEPR, se centró en el proyecto MARR. El proyecto consistente en la aplicación piloto de la metodología de matrices de riesgo a la radioterapia con acelerador lineal fue organizado por las sociedades y asociaciones profesionales antes mencionadas y el CSN en el marco del Foro de Protección Radiológica del Medio Hospitalario, se ha desarrollado a lo largo de año y medio y en él han participado 11 servicios de radioterapia de toda España. En esta sesión se explicó el origen, planteamiento y desarrollo del proyecto (María Luisa Ramírez, CSN), y los resultados y conclusiones recogidos hasta el momento a través de los comentarios recabados de los



hospitales participantes y las observaciones del equipo coordinador (Carlos Prieto, Hospital Clínico San Carlos). Representantes de los servicios de radioterapia del Instituto Valenciano de Oncología, del Hospital General Universitario de Ciudad Real y del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau compartieron su experiencia durante la realización del proyecto, destacando los puntos de vista de los oncólogos, los físicos y los técnicos participantes, así como las fortalezas y debilidades de la metodología propuesta. Finalmente se presentó el trabajo realizado hasta el momento en el 12 de Octubre (José Miguel Delgado) en la extensión de la metodología a tratamientos hipofraccionados de radioterapia con acelerador.

La última sesión, presidida por José Miguel Delgado, jefe del Servicio de Radiofísica Hospitalaria del 12 de Octubre, y que tuvo lugar por la tarde, permitió a los asistentes conocer qué técnicas y metodologías de riesgo utiliza la industria para garantizar la calidad y seguridad de los equipos usados en radioterapia. Se contó con la participación de los principales suministradores de aceleradores lineales (Fernando Somoano,

Elekta; José Carlos Belloso, Varian; José M<sup>o</sup> Rodríguez, Accuray), de equipos de braquiterapia (Pablo Rodríguez, Eckert & Ziegler BEBIG), de software de planificación (Eduardo Fuentes, Ray Search; Rodolfo del Moral, Philips-Pinnacle) y de equipos auxiliares de dosimetría y posicio-

- namiento (José Luis Roldán, IBA Dosimetry; Marisa Ogando, Civco; José Luis Bonet, PTW Dosimetría; Roberto Casado, Sun Nuclear). Se pudo comprobar cómo, con las características particulares de cada producto y empresa, los fabricantes aplican de forma rutinaria técnicas de análisis de riesgo a sus productos y procesos con los mismos principios y métodos similares a los discutidos a lo largo de toda la jornada.
- Cabe destacar el interés suscitado por esta jornada que, con más de 170 asistentes, superó el cupo de la sala, quedando profesionales en lista de espera. Es interesante también señalar que este interés se ha manifestado por igual entre técnicos de radioterapia, físicos y médicos, asistentes a la jornada en proporciones similares. Como próximas citas relacionadas con este tema podemos esperar un curso de la metodología de matrices de riesgo en el 4<sup>o</sup> Congreso Conjunto SEFM-SEPR de Valencia, y la edición a lo largo de 2015 de las conclusiones y una guía metodológica que recoja las lecciones del proyecto MARR.

Arturo Pérez Mulas y María Luisa Ramírez Vera, CSN

## NOTICIAS de l M U N D O

### Nuevo enfoque europeo sobre preparación ante emergencias transfronterizas

Los reguladores nacionales de seguridad nuclear y protección radiológica en Europa han desarrollado y acordado un nuevo enfoque para mejorar aún más la respuesta y la coordinación transfronteriza ante todo tipo de escenarios de accidentes, incluidos los accidentes severos, como fue el de Fukushima. Este enfoque contiene principios generales y pretende incentivar las acciones conjuntas entre países vecinos. Los reguladores se han comprometido a establecer una cooperación con las autoridades competentes encargadas de la protección civil a nivel nacional para la aplicación de las medidas correspondientes.

En la reunión conjunta celebrada en Estocolmo el 21 de octubre de 2014, HERCA (*Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities*) y WENRA (*Western European Nuclear Regulators Association*) acordaron la elaboración de un "Enfoque común e integrado HERCA-WENRA para una mejor coordinación transfronteriza ante la adopción de medidas de protección durante la fase inicial de un accidente nuclear".

El documento presenta el mecanismo general para enfocar de forma coordinada la preparación y respuesta ante una emergencia europea común (EP&R), que es independiente del

- escenario del accidente. Asimismo, incluye un sistema simplificado para garantizar la coordinación en el muy improbable caso de un accidente severo en una o más centrales nucleares, que requeriría la toma rápida de decisiones sobre la adopción de medidas de protección mientras poca o ninguna información contrastada está disponible.

### La necesidad de una mejor coordinación transfronteriza

- En Europa se establecieron planes de EP&R eficaces hace muchos años, siendo probados y puestos a prueba regularmente, lo que permite a las autoridades competentes emitir recomendaciones para lograr una protección a la población cada vez más eficaz.

- La planificación de emergencias ha evolucionado en todos los países, en la mayoría de los casos sin dar gran prioridad a la cuestiones transfronterizas, ocasionando en algunos casos diferencias significativas. Ante una emergencia nuclear en Europa, estas diferencias potencialmente podrían crear dificultades considerables en la gestión de las emergencias, especialmente si la ubicación del accidente está cerca de una frontera. Por lo tanto, las medidas de protección coordinadas entre las fronteras nacionales adyacentes resultan de vital importancia.

Durante la fase muy temprana de un accidente nuclear, el estado del reactor y la estimación de la cantidad de radiactividad liberada (término fuente) es probable que sea difícil de evaluar correctamente. Por lo tanto, no pueden descartarse incertidumbres en cuanto a la estimación de la dosis y el impacto radiológico en general. Pero a pesar de tales incertidumbres, han de adoptarse medidas de protección sanitaria apropiadas. Esto inevitablemente deja margen para la flexibilidad en la toma de decisiones, incluso disponiéndose de un marco regulador nacional rígido. El Enfoque HERCA-WENRA plantea la coordinación entre países vecinos con el fin de alinear las decisiones tempranas a ambos lados de las fronteras. Esto no implica necesariamente que los acuerdos nacionales respectivos deban modificarse. Al contrario, se trata de respetar las diferencias y tenerlas en cuenta, por lo que la respuesta se basa en medidas "comprometidas", que serían entendidas y explicables en función de cada situación.

### Los principios

El nuevo enfoque se basa en los siguientes principios: conocimiento técnico compartido, coordinación y confianza mutua. No se trata de un marco transfronterizo único. La principal estrategia está encaminada a que la respuesta entre los países o territorios vecinos comparta una misma línea, lo que vendría favorecido por el intercambio de información temprana utilizando, en la medida de lo posible, los acuerdos internacionales ya existentes entre los mismos.

### Un enfoque de tres pasos

El Enfoque HERCA-WENRA se divide en 3 etapas: la fase de preparación, la fase temprana y la fase tardía.

- Paso 1: El objetivo de la etapa de preparación es lograr y mantener una comprensión mutua sobre los planes de emergencia existentes en cada país mediante el desarrollo o mejora de los acuerdos bilaterales y multilaterales existentes, para poner a prueba estos planes y en su caso, implementar mejoras.
- Paso 2: En la fase inicial de un accidente, el Enfoque HERCA-WENRA prevé un rápido intercambio de información a través de los acuerdos bilaterales e internacionales existentes. Si la respuesta dada se considera apropiada, los países vecinos pueden recomendar a sus gobiernos seguir las mismas recomendaciones, es decir, adoptar el principio "Hacemos lo mismo que el país del accidente" en las primeras horas del mismo.
- Paso 3: En la última fase, un informe sobre la situación común, que deberá ser aceptado por todos los países afectados, incluido el país del accidente, validará las medidas de protección coordinadas que se hubieran adoptado.

### La preparación ante emergencias en caso de accidentes severos

El mecanismo general del nuevo enfoque es independiente de la situación de accidente e incluye accidentes severos como el de Fukushima. El accidente de Fukushima fue un recordatorio de que un accidente nuclear severo no debe ser excluido completamente en ninguna parte del mundo, incluida Europa.

- Teniendo en cuenta el nivel de seguridad de las centrales nucleares europeas y las mejoras derivadas de las lecciones aprendidas tras diversos accidentes (incluyendo el desastre de Fukushima), la probabilidad de un accidente tan grave es muy baja. Pero, por muy improbable que un accidente pueda ser, los planes de preparación y respuesta ante emergencias deben contemplar estos escenarios.

La etapa inicial de un accidente severo puede requerir la toma de decisiones urgentes sobre la adopción de medidas de protección a pesar de lo poco que se sepa sobre la situación y de no disponer aún de cálculos de dosis fiables, dejando un tiempo muy limitado para la coordinación transfronteriza durante la misma. Por ello, el Enfoque HERCA-WENRA contiene procedimientos de actuación predefinidos y simplificados para situaciones como las descritas, por muy improbables que sean.

De acuerdo con los estudios actuales y las normas y métodos internacionales utilizados para la EP&R, un accidente comparable a Fukushima requeriría la adopción de medidas de protección, tales como la evacuación de hasta 20 km y el confinamiento hasta 100 km. Estas acciones se tendrían que combinar con la ingesta de yodo estable.

En este contexto, los reguladores nacionales de seguridad nuclear y protección radiológica proponen un mínimo nivel común de preparación ante estas acciones:

- La evacuación debe establecerse hasta 5 km alrededor de las centrales nucleares, y el confinamiento y bloqueo de la glándula tiroidea mediante ingesta de Yodo hasta 20 km;
- Debe definirse una estrategia general con el fin de ser capaz de extender la evacuación hasta 20 km, y el confinamiento y bloqueo de la glándula tiroidea hasta 100 km;

La toma de decisiones rápidas utilizando los esquemas simplificados para la adopción de medidas de protección sólo se aplicaría en una primera fase. Tan pronto como el país del accidente estuviera en condiciones de presentar una evaluación más detallada del estado de la planta y del impacto fuera del emplazamiento previsto, deberán tomarse las medidas necesarias para adaptar sus decisiones y los mecanismos de coordinación transfronteriza en consonancia.

Más información:  y 

Comité de redacción

## Herca aprueba un adendum

**"Recomendaciones de HERCA para la transposición y aplicación de los requisitos incluidos en las Normas Básicas de Seguridad relativos a la aplicación del principio de justificación en los exámenes médicos que utilicen radiaciones ionizantes" (publicado en julio de 2014)**

El 22 de octubre de 2014, con motivo de la 14ª reunión de la Asociación Herca que reúne a los jefes de los organismos reguladores europeos en materia de protección radiológica, se aprobó un adendum al documento de posicionamiento de Herca sobre justificación *Recomendaciones de HERCA para la transposición y aplicación de los requisitos incluidos en las Normas Básicas de Seguridad relativos a la aplicación del*

*principio de justificación en los exámenes médicos que utilicen radiaciones ionizantes.*

La justificación de las exposiciones médicas de los individuos con fines diagnósticos es uno de los principios clave de protección radiológica: tanto para elegir la exploración más apropiada para un paciente determinado, como para reducir o eliminar las exploraciones radiológicas/nucleares médicas inútiles desde un punto de vista clínico. El 3 de julio de 2014, Herca publicó en su página web un documento de posicionamiento sobre el principio de justificación, con objeto de aportar claridad sobre el enfoque de los reguladores en cuanto a la asignación de funciones y responsabilidades relativas a la aplicación práctica del principio de justificación.

Como parte del proceso de transposición de la Directiva 2013/59/Euratom relativa a las normas básicas de seguridad para la protección contra los peligros derivados de la exposición a la radiación ionizante, las autoridades competentes nacionales deberán revisar los requisitos de justificación derivados de la Directiva anterior (Directiva 97/43 Euratom) y, si es necesario, actualizar dichos requisitos teniendo en cuenta, en particular los artículos 55 (justificación), 57 (responsabilidades) y 58 (procedimientos) de la nueva directiva.

La adenda del documento de posicionamiento sobre la justificación aprobada en julio 2014 incluye medidas prácticas que pueden seguir tanto los Estados miembros como los titulares de las instalaciones con objeto de garantizar una adecuada transposición y puesta en práctica de los requisitos establecidos en la Directiva 2013/59/Euratom. Herca sugiere que el procedimiento escrito que describa el proceso de justificación sea un requisito del sistema de gestión de la calidad de las exploraciones radiológicas, incluyendo el programa de garantía de calidad del equipo, como se menciona en el artículo 60.C de la Directiva. En la práctica, este procedimiento podría abordar los siguientes temas: recomendaciones sobre la derivación de los pacientes, prescripción e información de la exploración, sistemas informatizados de apoyo a la toma de decisiones, formación, información relativa a las desviaciones de justificación.

Descargar documento: 

Comité de redacción

## Reunión en la ASN-París sobre planes nacionales de protección contra el radón

La Directiva 2013/59 indica en su artículo 103 que los Estados miembros deberán establecer un plan de acción a nivel nacional para hacer frente a los riesgos a largo plazo derivados de las exposiciones al radón en viviendas, edificios de acceso público y lugares de trabajo considerando cualquier vía de entrada del radón, ya sea el suelo, los materiales de construcción o el agua. El plan tendrá en cuenta los aspectos indicados en el Anexo XVIII y se actualizará de forma periódica.

Entre los días 30 septiembre y 2 de octubre de 2014, tuvo lugar en la sede de la ASN en París, organizado por las autoridades reguladoras de Francia (ASN) y Noruega (NRPA) con el apoyo de la Organización Mundial de la Salud, la Agencia

Internacional de Energía Atómica y la Unión Europea, el "Radon national plan workshop" que tenía por objetivo recabar información de los distintos países sobre los correspondientes planes nacionales de actuación contra el radón, así como las estrategias que se están siguiendo para proteger a la población y reducir en un futuro el número de cánceres atribuibles a este agente.

A esta reunión asistieron 91 representantes de distintas organizaciones de 22 países europeos, así como de Estados Unidos, Canadá, China y Japón y de la OMS, IAEA, UE, Herca y ERA. El programa se dividió en las cuatro sesiones siguientes:

- Sesión 1: Estrategia global y planes nacionales de actuación contra el radón.
- Sesión 2: Actuaciones para reducir la exposición al radón en viviendas.
- Sesión 3: Actuaciones para reducir la exposición al radón en lugares de trabajo y edificios con acceso del público.
- Sesión 4: Estrategia para la comunicación.

Por parte española se realizaron tres presentaciones, a cargo del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, en la sesión 2, y una por el Consejo de Seguridad Nuclear en la sesión 3.

Recientemente se ha recibido la información correspondiente al desarrollo de la reunión, que se puede consultar en la siguiente dirección : 

Marta García-Talavera, CSN.  
José Luis Martín Matarranz, CSN.

## Conferencia Internacional sobre Protección Radiológica Operacional

Durante los días 1 a 5 de diciembre, se ha celebrado en la sede del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) la segunda reunión sobre Protección Radiológica Ocupacional. Organizada por el OIEA y coesponsorizada por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), en cooperación con otras organizaciones internacionales.

A la misma han asistido más de 500 personas de cerca de un centenar de países diferentes, y 21 organizaciones internacionales, con gran participación de países en vías de desarrollo. España ha participado con un alto número de representantes, procedentes de todos los ámbitos: regulador, nuclear, universitario y hospitalario.

En esta Conferencia se ha analizado la evolución de la Protección Radiológica Ocupacional en los distintos sectores desde





la celebración de la reunión anterior que tuvo lugar en 2002 en Ginebra, organizándose en torno a 12 sesiones temáticas y 4 mesas redondas. Cabe señalar la gran participación de los asistentes en los coloquios, con aportaciones realmente interesantes.

Los objetivos de esta Conferencia han sido los siguientes:

- Intercambiar información y experiencia en el campo de la protección radiológica ocupacional;
- Revisar los avances, retos y oportunidades desde la primera Conferencia de Ginebra;
- Identificar áreas de mejora futuros; y
- Formular conclusiones y recomendaciones.

Entre otros, se han tratado los siguientes temas: riesgos radiológicos y efectos sobre la salud, cambios en las recomendaciones y estándares y los retos de su implementación práctica, protección radiológica en instalaciones hospitalarias, nucleares, industriales y de investigación; protección radiológica en trabajos con radiación natural, redes de cooperación, sistemas de gestión, y, por último la Cultura de Seguridad.

Como conclusión de la reunión se resumen algunos de los retos y áreas de mejora futuros en la implementación de la Protección Radiológica Ocupacional:



- Comunes a todos los países:
    - Desarrollar las capacidades existentes.
    - Mantener una fuerte cultura de seguridad.
    - Implementar programas de Protección Radiológica.
    - Prestar servicios de dosimetría de calidad.
    - Mejorar la gestión de historiales dosimétricos.
  - Respecto a los países europeos, cabe resaltar la aplicación de la nueva Directiva, así como las nuevas BSS y guías.
  - Los países de Asia y Europa deben mejorar y desarrollar las redes de comunicación e intercambio existentes.
  - El Organismo Internacional de Energía Atómica debe continuar la implementación de programas de Cooperación Técnica.
  - IRPA ha de facilitar el intercambio de información, y el desarrollo de material de entrenamiento.
  - Así mismo, se han identificado áreas de mejora específicos para los diferentes agentes: autoridades reguladoras, usuarios, trabajadores, sindicatos, etc.
- Todas las presentaciones y las conclusiones están disponibles para su descarga en los siguientes enlaces:

Presentaciones:  Conclusiones: 

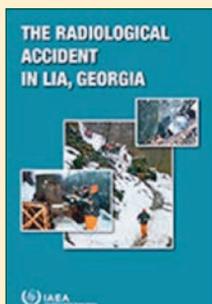
Borja Bravo, Tecnatom.

## PUBLICACIONES

### Publicaciones IAEA

#### **The Radiological Accident in Lia, Georgia**

Los objetivos de esta publicación son compilar la información acerca de las causas y las consecuencias del accidente, hacer recomendaciones y diseminar la información - en particular las lecciones aprendidas - para evitar errores y reducir al mínimo las consecuencias. La publicación describe las circunstancias y acontecimientos que rodean el accidente, su dirección y el tratamiento médico del personal expuesto. También describe los cálculos de reconstrucción de dosis y evaluaciones biodosimétricas empleadas.



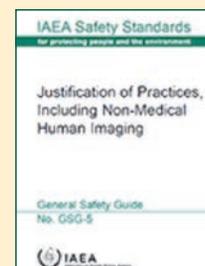
ISBN 978-92-0-103614-8

Disponible en: 

#### **Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging**

##### *General Safety Guide GSG-5*

Esta Guía de seguridad cubre los elementos que deberían ser considerados y el proceso que debería ser aplicado para determinar si el empleo de un tipo particular de práctica está justificada. El objetivo es ayudar a gobiernos y cuerpos reguladores con propuestas para el empleo de radiación en humanos pero con aplicaciones diferentes al diagnóstico y tratamiento médico o la investigación biomédica, como son el chequeo de seguridad en aeropuertos.



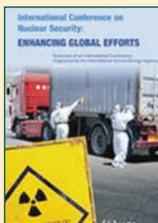
ISBN 978-92-0-102414-5

Disponible en: 

**Nuclear Security: Enhancing Global Efforts. Proceedings of an International Conference held in Vienna, Austria, 1-5 July 2013**

Proceedings Series - International Atomic Energy Agency

Esta publicación presenta las actas de la conferencia internacional en materia de seguridad nuclear, organizada por la OIEA en Viena, el 1-5 de julio de 2013. La conferencia adoptó una declaración ministerial y proporcionó un foro donde mostrar experiencias y lecciones aprendidas. Se identificaron tendencias y objetivos a medio y largo plazo en materia de seguridad internacionales nucleares, así como se informó del Plan de Seguridad Nuclear de la OIEA para los próximos tres años.



ISBN:978-92-0-101514-3

Disponible en:

**Radiation Protection Dosimetry**

**The 2<sup>nd</sup> International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research (RAD 2014) and The 2<sup>nd</sup> East European Radon Symposium (SEERAS)**

Special Issue 2014. Volume 162 Issue 1-2 November 2014  
Editores: G. S. Risti y Z. S. Žuni

En este número especial de la revista Radiation Protection Dosimetry se recogen las principales aportaciones presentadas en la Segunda Conferencia Internacional sobre Radiación y Dosimetría de la Radiación en distintas Área de Investigación (RAD 2014) y en el Segundo Simposio sobre Radón de Europa del Este (SEERAS). Ambos eventos se celebraron de manera simultánea en la Facultad de Ingeniería Electrónica de la ciudad serbia de Niš durante el mes de mayo de 2014.



Obviamente, un buen número de trabajos abordan novedades sobre la problemática del radón; son los correspondientes al SEERAS. El resto analiza temáticas variadas; son ejemplo de ello, los métodos de biodosimetría como la espectroscopía de EPR, estudios sobre radiación ambiental en distintos lugares de Europa, dosimetría personal con dosímetros TLD en campos mixtos gamma-beta, simulaciones Montecarlo de irradiaciones médicas de Radioterapia, influencia de los haces de electrones de alta energía sobre la luminiscencia de distintos compuestos de óxido de aluminio, etc.

OXFORD UNIVERSITY PRESS  
Great Clarendon Street, Oxford OX2 6DP  
ISSN 0144-8420 (print) - ISSN 1742-3406 (online)

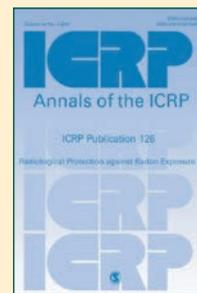
**Publicaciones ICRP**

**Radiological Protection against Radon Exposure**

ICRP Publication 126  
J-F. Lecomte, S. Solomon, J. Takala, T. Jung, P. Strand, C. Muriith, S. Kiselev, W. Zhuo, F. Shannoun, A. Janssens

En su informe 126, la ICRP actualiza la Guía de Protección Radiológica frente a la exposición al gas radón. El docu-

- mento ha sido elaborado considerando las últimas recomendaciones de la ICRP para el sistema de protección radiológica, todos los conocimientos científicos disponibles acerca de los riesgos de la exposición al radón y toda la experiencia adquirida en los últimos años por muchas organizaciones y países en la medida y control de dicha exposición. El informe describe las características del radón, de su inhalación e incorporación al organismo, analizando las fuentes, los mecanismos de transferencia y los riesgos para la salud asociados a la exposición a dicho gas. A continuación, emite una serie de recomendaciones para controlar y minimizar la exposición al radón en aquellos edificios donde sus concentraciones son más altas. También se hacen algunas consideraciones acerca de los puestos laborales en estos entornos; en esos casos, las exposiciones al radón deben ser consideradas como ocupacionales y las recomendaciones correspondientes de la ICRP deberán ser aplicadas
- ICRP, 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).



**Publicaciones AAPM**

**AAPM and GEC-ESTRO guidelines for image-guided robotic brachytherapy**

Report of AAPM Task Group 192  
Medical Physics, Vol 41, Issue 10

- En la última década, han sido numerosos los desarrollos de robots y otros automatismos para facilitar la implantación de las fuentes radiactivas de braquiterapia (semillas) en los enfermos de cáncer. Estos sistemas han venido a mejorar la precisión en la colocación de las semillas del isótopo radiactivo, han minimizado los traumas quirúrgicos y han reducido considerablemente los niveles de exposición de los médicos y técnicos encargados, hasta ahora, de la colocación de las semillas. Estos automatismos están desarrollados, hoy por hoy, para la aplicación intersticial de estas semillas y su uso se está generalizando para los cánceres de próstata.
- En consonancia con la rápida implantación de estos mecanismos, la Asociación Americana de Física Médica (AAPM), en colaboración con la Sociedad Europea de Radioterapia y Oncología (ESTRO), han llevado a cabo una revisión del estado del arte en el terreno de la braquiterapia intersticial robotizada. Fruto de ello es el presente trabajo en el cual se estudia la precisión y la fiabilidad de varios sistemas actualmente en el mercado, a la vez que se proporcionan recomendaciones a los fabricantes de cara a futuros desarrollos.



ISBN: 978-1-936366-30-9

Disponible en:

# CONVOCATORIAS 2015

“más información en [www.sepr.es](http://www.sepr.es)”

## FEBRERO

### • EURADOS Annual Meeting 2015 - AM2015

9-12 de febrero 2015. Dubrovnik (Croacia).

Más información: 

## ABRIL

### • X Congreso Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica y VI Congreso Iberoamericano de las Sociedades de Protección Radiológica

12 - 17 de abril 2015. Buenos Aires (Argentina).

Más información: 

### • International Conference on Individual Monitoring (IM2015)

20 - 24 de abril 2015. Brujas (Bélgica).

Más información: 

### • BioQuaRT Final Workshop - Towards biologically relevant dosimetry

22 - 23 de abril 2015. Barcelona.

Más información: 

## MAYO

### • 9th Symposium on CBRNE threats - NBC2015

18 - 21 de mayo 2015. Helsinki (Finlandia).

Más información: 

## JUNIO

### • 20th International Conference on Radionuclide Metrology (ICRM 2015)

8-12 de junio 2015. Viena (Austria).

Más información: 

### • SFRP 2015 - Congreso nacional de radioprotección

16 - 18 de junio 2015 en Reims (Francia).

Más información: 

### • Reunión anual de PROCORAD

17 - 19 de junio 2015. Barcelona.

Más información: 

### • IV Congreso Conjunto SEFM 20 - SEPR 15

23 - 26 de junio 2015. Valencia.

Más información: 

# CURSOS 2015

## ENERO

### Cursos de capacitación para supervisores de instalaciones radiactivas (INTE, UPC)

Entidades organizadoras: Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Hospital Clínico y Provincial de Barcelona, Hospital de la Sta. Creu i St. Pau de Barcelona, Sección de Ingeniería Nuclear del Departamento de Física e Ingeniería Nuclear de la UPC, Institut de Investigacions Biomediques de Barcelona (IIBB-CSIC) y la Escuela Española de Oncología Radioterápica de la Sociedad Española de Oncología Radioterápica (EEOR-SEOR).

Fechas:

– Radioterapia: del 19 al 29 de enero de 2015.  
– Medicina Nuclear, Control de procesos y técnicas analíticas, y Laboratorio con fuentes no encapsuladas: del 1 al 11 de junio 2015.

De acuerdo con la normativa vigente, para realizar el curso de supervisores es necesario disponer de titulación universitaria.

Página web: 

### Fundamentos de Física Médica, 11ª edición (SEFM)

Organizado por: SEFM (Sociedad Española de Física Médica) y la UNIA (Universidad Internacional de Andalucía).

Lugar y fecha: Sede “Antonio Machado” de la Universidad Internacional de Andalucía. Palacio de Jabalquinto. Plaza de Santa Cruz s/n 23440. BAEZA (Jaén). España. Del 26 de enero al 20 de febrero de 2015.

Objetivos:

- Cubrir gran parte del programa teórico de formación de la especialidad de RFH.
- Uniformizar los conocimientos teóricos de base para todos los especialistas en formación.
- Armonizar el léxico y la terminología en el ámbito de la Física Médica.

Dirigido a:

- Personal en formación en RFH, en especial residentes de 1º y 2º año de la especialidad
- Titulados Superiores que quieran mejorar sus conocimientos en el área de la Física Médica.
- Estudiantes de doctorado o investigadores inscritos en departamentos universitarios
- Licenciados superiores con actividad profesional en alguno de los ámbitos de la Física Médica

Documento de difusión: 

Página web: 

**FEBRERO****Cursos de Operadores y Supervisores de Instalaciones Radiactivas (UAB)**

Organizados por: Unidad Técnica de Protección Radiológica (UTPR) de la Universidad Autónoma de Barcelona y homologados por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Lugar: UTPR. Facultad de Medicina (Edificio M), Campus de Bellaterra, Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra

Fechas:

*Curso de Operadores:* del 2 al 13 de febrero de 2015

*Curso de Supervisores:* del 16 al 27 de febrero de 2015

Documento de difusión:  Página web: 

**Curso de acreditación para operadores de instalaciones de radiodiagnóstico médico (Universidad de Santiago de Compostela)**

Organizado por: Servicio de Protección Radiológica de la Universidad de Santiago de Compostela.

Lugar y fecha: Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela. del 2 al 6 de febrero de 2015.

Objetivo: adquirir los conocimientos teóricos y prácticos que permitan conseguir la obtención de la acreditación para operar con equipos de radiodiagnóstico médico, con objeto de dar cumplimiento al artículo 13 del R.D. 1891/1991 sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de radiodiagnóstico médico.

Curso aprobado como curso de Formación Continua por la Comisión de Posgrado de la USC, con reconocimiento de los correspondientes créditos en función de la duración según el campo de aplicación elegido.

Documento de difusión: 

**XXIV Curso de Gestión de Residuos Radiactivos (Ciemat - UPM - Enresa)**

Organizado por: Ciemat, la Universidad Politécnica de Madrid y Enresa, desde el día 3 de febrero al día 21 de abril de 2015, con una duración de 51 horas lectivas.

Lugar: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales en José Gutiérrez Abascal, 2 de Madrid

Fechas: 3 de febrero a 21 de abril, martes y jueves de 17:30 a 20:15 horas.

Objetivo: completar la formación que los universitarios reciben sobre el tema, analizando los problemas actuales y previsibles en el campo de la gestión de los residuos radiactivos y sus posibles soluciones. El curso incluye dos visitas técnicas, a las instalaciones de "El Cabril" y Zorita.

Documento de difusión:  Página web: 

- **Módulo MPE01: Desarrollo de la profesión y los desafíos para el experto en Física Médica en Radiodiagnóstico y Radiología Intervencionista en Europa (EUTEMPE-RX)**

- Organizado por: European Training and Education for Medical Physics Experts in Radiology (UE).

- Lugar y fechas: Praga, del 9 al 13 de febrero de 2015.

- Objetivos: este módulo pretende ayudar al futuro experto en Física Médica en Radiodiagnóstico y Radiología Intervencionista, mediante la adquisición de los conocimientos, habilidades y competencia necesarios para ejercer un papel de mando dentro de la profesión en su propio país y en Europa.

- El curso no tiene gastos de matrícula ya que está financiado por la Unión Europea.

Documento de difusión: 

**MARZO**

- **Curso de formación para operadores de instalaciones radiactivas (Universidad de Santiago de Compostela)**

- Organizado por: Servicio de Radioprotección de la Universidad de Santiago de Compostela.

- Especialidades: Medicina Nuclear, Control de Procesos y Técnicas Analíticas.

- Lugar y fecha: Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela. Del 3 al 13 de marzo de 2015.

- Objetivos: el curso está dirigido a aquellas personas que deseen adquirir los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para solicitar la licencia reglamentaria concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), necesaria para trabajar en instalaciones radiactivas.

- Requisitos: para realizar el curso se deberá acreditar estar en posesión del título de Educación Primaria o equivalente como mínimo.

Documento de difusión: 

## INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

### 1. PROPÓSITO Y ALCANCE:

La revista **RADIOPROTECCIÓN** es el órgano de expresión de la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR).

Los trabajos que opten para ser publicados en **RADIOPROTECCIÓN** deberán tener relación con la Protección Radiológica y con todos aquellos temas que puedan ser de interés para los miembros de la SEPR. Los trabajos deberán ser originales y no haber sido publicados en otros medios, a excepción de colaboraciones de especial interés, según criterio del Comité de Redacción. Los trabajos aceptados son propiedad de la Revista y su reproducción, total o parcial, sólo podrá realizarse previa autorización escrita del Comité de Redacción de la misma.

La publicación de trabajos en **RADIOPROTECCIÓN** está abierta a autores de todo el país y distintas instituciones.

Los conceptos expuestos en los trabajos publicados en **RADIOPROTECCIÓN** representan exclusivamente la opinión personal de sus autores.

Todas las contribuciones se enviarán por correo electrónico a la dirección:

revista@sepr.es

### 2. RADIOPROTECCIÓN EN INTERNET

La revista **RADIOPROTECCIÓN** sólo se publica en formato electrónico y puede consultarse en la página de la Sociedad Española de Protección Radiológica (<http://www.sepr.es>).

### 3. NORMAS DE PUBLICACIÓN DE LA REVISTA RADIOPROTECCIÓN

#### 3.1. Tipo de contribuciones que pueden enviarse a la revista

Las contribuciones que pueden enviarse a **RADIOPROTECCIÓN** son:

- Artículos de investigación
- Revisiones técnicas
- Noticias
- Publicaciones
- Recensiones de libros
- Convocatorias
- Cartas al director
- Proyectos de I+D

#### 3.2. Normas para la presentación de artículos y revisiones técnicas

En todos los trabajos se utilizará un tratamiento de texto estándar (word, wordperfect). El texto debe escribirse a espacio sencillo en tamaño 12. La extensión máxima del trabajo será de 12 páginas DIN-A4 para los artículos y de 6 páginas para las revisiones técnicas, incluyendo los gráficos, dibujos y fotografías.

Los trabajos (artículos y revisiones técnicas) deberán contener:

**3.2.1. Carta de presentación.** Con cada trabajo ha de enviarse una carta de presentación que incluya el nombre, institución, dirección, teléfono, fax y correo electrónico del autor al que

hay que enviar la correspondencia. Los autores deben especificar el tipo de contribución enviada (ver apartado 3.1).

**3.2.2. Página del título.** Esta página debe contener, y por este orden, título del artículo, primer apellido e inicial(es) de los autores, nombre y dirección del centro de trabajo, nombre de la persona de contacto, teléfono, dirección de correo electrónico y otras especificaciones que se consideren oportunas. Cada autor debe relacionarse con la correspondiente institución usando llamadas mediante números.

El título, que irá en el encabezamiento del trabajo, no tendrá más de 50 caracteres (incluyendo letras y espacios).

Se incluirá un máximo de 6 palabras clave en español y 6 palabras clave en inglés que reflejen los principales aspectos del trabajo.

**3.2.3. Resumen.** Se escribirá un resumen del trabajo en castellano y en inglés que expresará una idea general del artículo. La extensión máxima será de **200 palabras en cada idioma**, que se debe respetar por razones de diseño y de homogeneización del formato de la revista.

- Es importante que el resumen sea preciso y sucinto, presentando el tema, las informaciones originales, exponiendo las conclusiones, e indicando los resultados más destacables.

**3.2.4. Texto principal.** No hay reglas estrictas sobre los apartados que deben incluirse, pero hay que intentar organizar el texto de tal forma que incluya una introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, referencias bibliográficas, tablas y figuras y agradecimientos.

Se deberían evitar repeticiones entre los distintos apartados y de los datos de las tablas en el texto.

Las abreviaturas pueden utilizarse siempre que sea necesario, pero siempre deben definirse la primera vez que sean utilizadas.

**3.2.5. Unidades y ecuaciones matemáticas.** Los autores deben utilizar el Sistema Internacional de Unidades (SI). Las unidades de radiación deben darse en el SI, por ejemplo 1 Sv, 1 Gy, 1 MBq. Las ecuaciones deben numerarse (1), (2) etc. en el lado derecho de la ecuación.

**3.2.6. Anexos.** Se solicita a los autores que no incluyan anexos si el material puede formar parte del texto principal. Si fuera imprescindible incluir anexos, por ejemplo incluyendo cálculos matemáticos que podrían interrumpir el texto, deberá hacerse después del apartado referencias bibliográficas. Si se incluye más de un anexo, éstos deben identificarse con letras. Un anexo puede contener referencias bibliográficas, pero éstas deben numerarse y listarse separadamente

(A1, A2, etc.). Debe hacerse mención a los anexos en el texto principal.

**3.2.7. Tablas.** Las tablas deben citarse en el texto. Deben ir numeradas con números romanos (I, II, III etc.) y cada una de ellas debe tener un título corto y descriptivo. Se debe intentar conseguir la máxima claridad cuando se pongan los datos en una tabla y asegurarse de que todas las columnas y filas están alineadas correctamente.

Si fuera necesario se puede incluir un pie de tabla. Éste debe mencionarse en la tabla como una letra en superíndice, la cual también se pondrá al inicio del pie de tabla correspondiente. Las abreviaturas en las tablas deben definirse en el pie de tabla, incluso si ya han sido definidas en el texto.

**3.2.8. Figuras, gráficos y fotografías.** Las figuras deben citarse en el texto numeradas con números arábigos. **Todos los gráficos, figuras y fotografías aparecerán en color en la revista.** Las **fotografías** deberán entregarse como **imágenes digitalizadas en formato de imagen** (jpg, gif, tif, power point, etc.) con una **resolución superior a 300 ppp**. Aunque las imágenes (fotos, gráficos y dibujos) aparezcan insertadas en un documento de word es necesario enviarlas también por separado como archivo de imagen para que la resolución sea la adecuada.

Cada figura (foto, tabla, dibujo) debe ir acompañada de su **pie de figura** correspondiente.

**3.2.9. Referencias Bibliográficas.** Debe asignarse un número a cada referencia siguiendo el orden en el que aparecen en el texto, es decir, las referencias deben citarse en orden numérico. Las referencias citadas en una tabla o figura cuentan como que han sido citadas cuando la tabla o figura se menciona por primera vez en el texto.

Dentro del texto, las referencias se citan por número entre corchetes. Dentro del corchete, los números se separan con comas, y tres o más referencias consecutivas se dan en intervalo. Ejemplo [1, 2, 7, 10-12, 14]. Las menciones a comunicaciones privadas deben únicamente incluirse en el texto (no numerándose), proporcionando el autor y el año. La lista de referencias al final del trabajo debe realizarse en orden numérico.

Se seguirán las normas Vancouver para las referencias bibliográficas:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Estilo\\_Vancouver](http://es.wikipedia.org/wiki/Estilo_Vancouver)

**3.2.10. Enlaces y descargables.** Se pueden incluir **enlaces** que los autores consideren interesantes **a direcciones web** siempre que se referencien en el texto entre paréntesis. Asimismo, se podrán incluir otros **documentos** de especial interés **para ser descargados**; para ello es necesario que dichos documentos estén **en formato pdf**, se referencien en el texto y sean **incluidos junto al resto de la documentación**.

# SOCIOS COLABORADORES



ASOCIACIÓN NUCLEAR  
ASCÓ - VANDELLÒS II, A.I.E.



**FUJIFILM**



**GEOCISA**

GRUPO  ENUSA



**PHILIPS**



**SIEMENS**

