

RADIOPROTECCIÓN

REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



RADIACIONES NO IONIZANTES



▲ **Entrevista:**

Elisabeth Cardis

Investigadora del Centro de Investigación de Epidemiología Ambiental (CREAL)

▲ **Protección ante exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes: presente y futuro**

▲ **Protección radiológica en exposición ocupacional a microondas en unidades de electroterapia**

Objetivos y estado actual del estudio Mobi-Kids

▲ **Genotoxicidad y campos magnéticos-ELF: una revisión a través del ensayo de micronúcleos**

Directora
Ángeles Sánchez

Coordinador
Borja Bravo

Comité de Redacción

Teresa Durán
Cristina Garrido
Rosa Gilarranz
José Gutiérrez
Sofía Luque
Matilde Pelegrí
Javier Pifarré
José Ribera
Borja Rosell
Inmaculada Sierra
M^a 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
Isla de Saipán, 47 - 28035 Madrid
Tel.: 91 373 47 50 - Fax: 91 316 91 77
Correo electrónico: info@gruposenda.net

Imprime: IMGRAF, S.L.

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.



S U M A R I O

• Editorial	2
• Entrevista	5
- Elisabeth Cardis	
<i>Jefa del programa de radiaciones del Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental (CREAL)</i>	
• Actividades 2012	8
• Colaboraciones	11
- Protección ante exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes: presente y futuro	
<i>E. Guibelalde</i>	11
- Protección radiológica en exposición ocupacional a microondas en unidades de electroterapia	
<i>V. Guàrdia, S. Ferrer, O. Alonso y M. Almonacid</i>	17
- Objetivos y estado actual del estudio Mobi-Kids	
<i>E. Cardis y C. Eastman</i>	22
- Genotoxicidad y campos magnéticos-ELF: una revisión a través del ensayo de micronúcleos	
<i>M. Alcaraz, M. Andreu-Gálvez, J.M. Sánchez-Villalobos, D.G. Achel, E. Olmos y C.M. Martínez-Hernández</i>	28
• Noticias	37
- de España	37
- del Mundo	42
• Proyectos de Investigación	45
• Publicaciones	48
• Convocatorias y Cursos	52

La foto de portada pertenece a la Unidad de Resonancia del Hospital Ramón y Cajal de Madrid. Cortesía de Ángeles Trillo, Investigadora, Serv. Investigación-BEM.

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, 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

Este es el segundo número monográfico que *RADIOPROTECCIÓN* dedica a las Radiaciones No Ionizantes (RNI). En esta ocasión, nuestro objetivo ha sido proporcionar al lector información de contenidos preferentemente biomédicos y biofísicos. Por eso, puede ser oportuno comenzar este editorial citando a Luc Montagnier, premio Nobel de Medicina 2008 por la identificación del virus VIH, quien en declaraciones a *Diario Médico* en junio de 2010, dice: "Hoy la Ciencia necesita avanzar hacia un nuevo paradigma según el cual, para entender la vida necesitamos un doble enfoque: molecular y electromagnético. El universo está hecho de materia y ondas. Así, las moléculas, las células, interaccionan por contacto y por ondas. Probablemente en un futuro la física cambiará nuestra concepción actual de la biología molecular y celular." ¿Qué circunstancias pueden conducir a un virólogo experimentalista hasta una conclusión de orden tan marcadamente "biofísico". Pues, precisamente, su condición de experimentalista. En la misma entrevista concedida a *Diario Médico*, el Dr. Montagnier relata que en sus estudios sobre el VIH tuvo, durante una época, dificultades para reproducir sus resultados experimentales. Tras detectar la presencia de radiaciones electromagnéticas en su laboratorio, caracterizar las señales e identificar las fuentes emisoras, pudo restablecer el control del ambiente físico y la consistencia de sus resultados.

La Protección Radiológica (PR) ante RNI es una disciplina reciente dentro de la radioprotección. La problemática actual en esta disciplina podría resumirse como sigue: existe un consenso general sobre el hecho de que, en función de su frecuencia, exposiciones cortas (minutos) y esporádicas a RNI suficientemente intensas pueden provocar efectos nocivos en humanos. Tales efectos van desde disfunciones neurológicas o cardíacas con distintos grados de severidad (frecuencias bajas), hasta hipertermia y quemaduras (radiofrecuencias y microondas). Los mecanismos biológicos implicados en estos efectos están bien descritos, obedecen a leyes físicas clásicas y la metrología y dosimetría correspondientes han conocido avances significativos recientes. Estos mecanismos y esta física son los aplicados para determinar los niveles máximos de exposición establecidos por las actuales directivas de PR del público y de los trabajadores ante RNI (ver artículos de E. Guibelalde y col., y de V. Guàrdia y col. en este número.) Sin embargo, existen en la actualidad datos epidemiológicos y experimentales que podrían constituir indicios de potenciales efectos nocivos por exposición prolongada o crónica a determinadas RNI débiles, por debajo de los niveles de referencia o de los límites propuestos por las citadas directivas (ver artículos de E. Cardis & C. Eastman y de M. Alcaraz y

col.). De hecho, tras evaluar la evidencia sobre potenciales efectos cancerígenos de las RNI, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC; WHO) clasificó como "posibles agentes cancerígenos" (Categoría 2B) tanto los campos de frecuencias extremadamente bajas, incluyendo la frecuencia industrial, de 50/60 Hz (año 2002), como las radiaciones de radiofrecuencias, incluyendo las de la telefonía móvil e inalámbrica (año 2011). También, un número creciente de estudios experimentales in vitro, in vivo y en voluntarios humanos expuestos a RNI débiles, viene revelando indicios de bioefectos de naturaleza no oncológica. Sin embargo, los mecanismos implicados en los efectos de dosis subumbral no están todavía suficientemente descritos, y la biofísica subyacente no está desarrollada hasta el punto de permitir aproximaciones predictivas eficaces. En consecuencia, y ante la presente carencia de conocimientos suficientes sobre los citados mecanismos y modelos biofísicos, las autoridades supranacionales en PR consideran que la actual evidencia sobre efectos a medio-largo plazo de las RNI débiles no constituye una base adecuada para la elaboración de las directivas de las que emanan las regulaciones y leyes locales.

En este número monográfico hemos querido ofrecer a los profesionales de la PR un enfoque amplio del panorama actual en la materia. Dado que el formato de la revista *RADIOPROTECCIÓN* impone un máximo de cuatro artículos, hemos seleccionado aquellos que, abarcando la mayor parte de la materia de interés, pudieran complementarse mutuamente. Así, este monográfico incluye información sobre normativa de PR ocupacional, dosimetría, nuevos materiales, campos estáticos y de muy baja frecuencia, campos de radiofrecuencias y microondas, datos experimentales in vivo e in vitro, datos epidemiológicos, PR ante efectos inmediatos de RNI intensas y potenciales efectos a corto o largo plazo de RNI débiles. De los distintos aspectos que hoy se consideran relevantes en PR ante RNI, solo hay uno que no se aborda específicamente en este monográfico; los mecanismos celulares y moleculares de respuesta a RNI débiles. Prometemos subsanar esa carencia en un futuro número de la revista.

El trabajo del profesor Eduardo Guibelalde (Dpto. Radiología, Facultad de Medicina, UCM) resume los contenidos del último borrador de la Directiva Europea sobre las exigencias mínimas aceptables para la PR ocupacional ante efectos inmediatos de RNI intensas. Es previsible que el documento definitivo no se diferencie mucho de la versión comentada por el Prof. Guibelalde. Y es igualmente predecible que la futura legislación española se atenga con pocas variaciones al texto de la directiva. El artículo pone especial énfasis en

las condiciones de exposición en unidades de Resonancia Magnética (RM), y describe cómo, en determinadas prácticas intervencionistas y en el uso de equipos abiertos y/o de alta densidad de flujo magnético, el trabajador puede verse expuesto a dosis superiores a las propuestas en la anterior versión de la Directiva Europea (2004). En el borrador de la nueva directiva, para conciliar el uso de los equipos de RM con el cumplimiento de la normativa de PR, la Comisión Europea ha revisado al alza los "límites" de exposición ocupacional a campos de bajas frecuencias, basándose en las conclusiones de una revisión bibliográfica reciente realizada por ICNIRP (véase también el artículo de revisión de M. Alcaraz y col., que publicamos en este número). Con el mismo objetivo, el borrador de directiva propone refinar el concepto de "efecto nocivo", de forma que reacciones tales como mareos, náuseas o sabor metálico, podrán quedar excluidas de dicha categoría, dependiendo del tipo de labor realizada por el trabajador afectado. Por último, aceptando las propuestas de grupos de presión como la Alliance for MRI, la directiva establecería, para las unidades de RM, la exención total al cumplimiento de las restricciones a la exposición ocupacional.

El trabajo firmado por el ingeniero Viçent Guàrdia y col. (Gesprem, Valencia) es un artículo técnico relacionado en varios aspectos con el anterior, ya que trata sobre PR ocupacional ante exposiciones a RNI intensas en el espectro de las microondas (MW). El estudio dosimétrico realizado por los autores indica que, en determinadas condiciones, el personal sanitario que aplica terapias basadas en el uso de microondas puede sufrir episodios cortos, aunque periódicos y frecuentes, de exposición a niveles de radiación que pueden superar los máximos recomendados en la directiva descrita en el artículo anterior. Los autores trabajan en el desarrollo de tejidos capaces de absorber o reflejar las señales de MW usadas en electroterapia. Los avances conseguidos hasta la fecha permiten prever que en un futuro próximo estarán disponibles estrategias simples y económicas para la minimización de los niveles de exposición ocupacional en personal sanitario.

El artículo de las profesoras Cardis y Eastman (Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental, Barcelona) supone un cambio radical con respecto a los dos artículos que le preceden, en el enfoque de la PR ante RNI. En efecto, ya no se trata de exposiciones ocupacionales, sino de público general en la franja de edad infantil-juvenil. Además, no se ocupa de daños inmediatos causados por exposiciones a dosis elevadas, sino que investiga la potenciales efectos de RNI débiles (atérmicas o subtérmicas) en el rango de las radiofrecuencias emitidas por equipos de radiocomunicación. El proyecto internacional MOBI-KIDS (2009 – 2013),

dirigido desde España por la Prof. Cardis, es un estudio epidemiológico de tipo caso-control, realizado sobre datos recogidos simultáneamente en 13 países, siguiendo un protocolo común de selección, captación y análisis de resultados. El proyecto está financiado por el 7º Programa Marco de la Comisión Europea. Su objetivo es determinar si la exposición crónica a las emisiones radioeléctricas, incluyendo las de los teléfonos móviles e inalámbricos, representa un factor de riesgo para el desarrollo de determinados tumores cerebrales en niños y jóvenes. El Proyecto MOBI-KIDS puede considerarse una extensión o una secuela del Proyecto Interphone (2000-2004), que estudió la epidemiología de tumores en adultos usuarios de teléfonos móviles. Los resultados de Interphone, publicados en 2010 y 2011, fueron tenidos en cuenta por IARC en su evaluación de la evidencia, que dio lugar a la clasificación de las señales de radiocomunicación dentro de la categoría de "posibles cancerígenos".

El trabajo del profesor Miguel Alcaraz y colaboradores (Depto. Radiología y Med. Física, Facultad de Medicina, Univ. Murcia) también se basa en los potenciales efectos de RNI débiles, pero en este caso, enfocados en el rango de las frecuencias muy bajas y en estudios experimentales en modelos celulares y animales. Este trabajo revisa la literatura sobre posibles efectos genotóxicos, valorados mediante la técnica de los micronúcleos, de la exposición experimental a los citados campos. El estudio parte de la premisa de que las RNI carecen de la energía suficiente para romper enlaces químicos en moléculas como el ADN (efectos genotóxicos directos). No obstante, a la vista de los resultados de su labor de revisión, los autores concluyen que, en conjunto, existe evidencia experimental indicativa de que los campos de baja frecuencia podrían, en determinadas condiciones, inducir daños genéticos indirectos. La acción de esos campos se ejercería a través de mecanismos distintos de la ionización, sobre los cuales discuten brevemente los autores en la sección final de su artículo.

Y esta mención a mecanismos de acción no ionizantes me permite cerrar el círculo, al enlazar con el primero de los trabajos descritos arriba, sobre la Directiva Europea que debe aprobarse en el presente año, y que sentará las bases para la legislación española y las de otros estados de la UE, sobre PR ocupacional ante RNI. El documento comentado por el Prof. Guibelalde admite que los conocimientos sobre la acción de las RNI son todavía demasiado limitados en algunos aspectos, y recomienda despejar esas sombras mediante la investigación científica en distintos ámbitos. Entre esos ámbitos, el texto destaca muy claramente la investigación epidemiológica y en voluntarios, y la dosimetría avanzada. Bien, pues son esas las mismas áreas de investigación que

han venido siendo priorizadas y privilegiadas financieramente en los últimos 15 años. Sin embargo, hasta ahora, cuando la epidemiología o la experimentación en humanos han revelado indicios de efectos inducidos por RNI débiles, los resultados han sido puestos en cuarentena o simplemente desestimados, con el argumento de que los mecanismos moleculares o celulares subyacentes no han sido identificados. En este escenario, repetido "ad nauseam" a lo largo de casi dos decenios, somos cada vez más los que opinamos que por mucho esfuerzo que se ponga en la investigación en humanos, sea epidemiológica o experimental, y en dosimetría, la controversia sobre los posibles efectos adversos de las RNI débiles se perpetuará mientras la investigación sobre los mecanismos básicos implicados en la respuesta a tales radiaciones permanezca relegada e infravalorada. Y para que se entienda mejor esta idea, invito al lector a calibrar cuál sería hoy el alcance de la PR ante radiaciones ionizantes, si los efectos adversos de estas hubiesen sido investigados mediante la dosimetría, la epidemiología y la experimentación en humanos, dejando de lado la identificación de los mecanismos de interacción a nivel celular y molecular.

Es más, cada vez son más firmes los indicios de que campos electromagnéticos débiles o sublétricos pueden tener aplicaciones terapéuticas de elevado interés. No existe duda alguna de que para la implantación y desarrollo de esas terapias emergentes, la profundización en el conocimiento de los mecanismos básicos de la respuesta biológica a RNI es condición sine qua non. Al igual que el conocimiento de los mecanismos biológicos de interacción de las radiaciones ionizantes ha sido crítico para el extraordinario avance que

han experimentado las técnicas diagnósticas y terapéuticas basadas en la aplicación de tales radiaciones.

Por último, y después de agradecer a la doctora A. Trillo su valiosa ayuda en la tarea de revisar y corregir los manuscritos cuyas versiones definitivas se publican aquí, quisiera hacer mención al Plan de Actividades de la SEPR para 2012, incluido también en este número de la revista. Una comparación entre las actividades previstas ahora y las realizadas en años pasados pone de manifiesto que la SEPR persevera en el cumplimiento de su compromiso de mantener la cantidad y calidad de las acciones que organiza y promueve en beneficio de sus asociados y de la sociedad en general. Si se tiene en cuenta el actual contexto de depresión económica, en el cual el coste de diversos servicios habituales se ha encarecido significativamente, al tiempo que el acceso a las subvenciones ha sufrido severas restricciones, se entenderá que el mantenimiento de su nivel de compromiso representa para la SEPR un esfuerzo adicional nada despreciable. Un esfuerzo altruista que comparten los componentes de las juntas, comisiones y grupos de trabajo de la SEPR con los responsables de la organización y desarrollo de las actividades programadas. Mi admiración y agradecimiento personal a todos ellos por el entusiasmo y la generosidad con que siguen realizando una labor crucial para el presente y el futuro de nuestra Sociedad.

ALEJANDRO ÚBEDA
Investigador



Junta Directiva

Presidenta: M^o Luisa España
Vicepresidente: Eduardo Gallego
Secretaria General: Beatriz Robles
Tesorero: Alejandro Úbeda
Vocales: Óscar González, Borja Rosell, Carmen Rueda, Pedro Ruiz y Rosario Salas

Comisión de Actividades Científicas

Presidente: Eduardo Gallego
Secretaria: Isabel Villanueva
Vocales: Josep Baró, Pío Carmena, Carlos Enriquez, Rosa Gilarranz, Margarita Herranz, Carmen Rueda, Pedro Ruiz, Ángeles Sánchez y Alejandro Úbeda

Comisión de Asuntos Económicos y Financieros

Presidente: Alejandro Úbeda
Vicepresidente: Eduardo Gallego
Vocales: Pío Carmena, Cristina Correa, Beatriz Robles, Rosario Salas y Carmen Vallejo

Comisión de Asuntos Institucionales

Presidente: M^o Luisa España
Secretario: Eduardo Gallego
Vocales: Leopoldo Arranz, David Cancio, Pío Carmena, Pedro Carboneras, Manuel Fernández, José Gutiérrez, Ignacio Hernando, Xavier Ortega, Juan José Peña, Manuel Rodríguez, Rafael Ruiz Cruces y Eduardo Sollet

Secretaría Técnica

Capitán Haya, 60
28020 Madrid
Tel.: 91 749 95 17
Fax: 91 570 89 11
Correo electrónico: secretaria.sociedades@medynet.com

Comisión de Publicaciones

Presidente: Borja Rosell
Secretaria: Ángeles Sánchez
Vocales: Juan Carlos Mora, José Gutiérrez



ELISABETH CARDIS

JEFA DEL PROGRAMA DE RADIACIONES DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN EPIDEMIOLOGÍA AMBIENTAL (CREAL)

DE LA OMS A BARCELONA

Elisabeth Cardis es doctora en epidemiología, y una profesional muy conocida en este campo.

Durante más de veinte años trabajó para la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, IARC, organismo dependiente de la Organización Mundial de la Salud, con sede en Lyon, Francia.

Pero su inquietud profesional la llevó a plantearse nuevos retos, y se incorporó desde sus inicios al Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental, CREAL, de Barcelona, creado en 2005.

“Pensé que era un buen momento en mi carrera para emprender nuevas actividades. Me resultó especialmente interesante el hecho de que se constituyera un grupo nuevo, liderado por investigadores muy motivados y entusiasmados con su trabajo. Lo cierto es que es una experiencia muy buena estar en este equipo, y formar parte del Comité de los senior, integrado por cinco personas. Es realmente un motivo de satisfacción personal y profesional”, afirma.

DOS CENTROS DIFERENTES

La IARC tiene como objetivo coordinar y llevar a cabo investigaciones sobre las causas del cáncer en humanos, analizando los mecanismos de carcinogénesis y desarrollando estrategias científicas para el control y la prevención del cáncer. Para ello, realiza tanto estudios epidemiológicos como investigación científica.

Reconoce Elisabeth Cardis que la IARC es diferente del CREAL desde muchos puntos de vista. “La agencia



Foto: Michel Mersch

de la OMS abarca todas las disciplinas relacionadas con el cáncer y reúne grupos que trabajan en diversos campos, como la biología molecular, la química o la radiología. El CREAL, por su parte, es básicamente un centro de epidemiología ambiental, que se dedica a evaluar los factores y riesgos medioambientales, con el fin de mejorar la salud pública”.

LA DIFICULTAD DE OBTENER DATOS

El desarrollo de las nuevas tecnologías en las últimas dos décadas ha generado un acercamiento de la telefonía móvil a la población, convirtiendo esta forma de comunicación en una de las más populares del mundo.

En paralelo, el incremento de los teléfonos móviles ha generado una cierta preocupación acerca de los posibles efectos de su uso continuado sobre la salud.

Con el objetivo de analizar esta circunstancia, IARC lanzó hace algunos años el proyecto Interphone, que en palabras de la doctora Cardis es “el estudio más importante que se ha realizado hasta ahora desde el punto de vista de número de casos y usuarios a largo plazo. Las personas analizadas era pacientes de cáncer, de los cuales más de 1.600 eran casos de gliomas, 2.300 casos de meningioma, y más de 1.000 tumores del nervio acústico”.

Este estudio finalizó en 2004, y su objetivo era estudiar el posible efecto de

los teléfonos móviles en estos tipos de cánceres, en pacientes que los hubieran utilizado en periodos superiores a 10 años. Sin embargo, en los inicios del siglo XXI no era sencillo encontrar usuarios de largo plazo.

Además, era necesario reconocer los sesgos de las respuestas. "Cuando planificamos el estudio *Interphone*, realizamos numerosas pruebas piloto previas para evaluar sesgos potenciales. Por ejemplo, teníamos un cuestionario para las personas que no querían participar en el estudio, a las que proponíamos que respondieran a dos o tres preguntas, aunque no hicieran la entrevista completa. Al analizar esos cuestionarios de no-participación, nos dimos cuenta de que aquellos que no eran usuarios de teléfono móvil presentaban mayor tendencia que los usuarios a rechazar la participación en el estudio. Probablemente porque los no-usuarios consideraban que tenían menos riesgo. Esto daba lugar a un sesgo por infravaloración del riesgo".

RESULTADOS PRELIMINARES

Teniendo en cuenta las limitaciones de la muestra, para la doctora Cardis "lo que vimos es que, normalmente, no hay un aumento de riesgo de tumores cerebrales en las personas que dicen haber utilizado el teléfono una vez a la semana a lo largo de seis o más meses". Bien es cierto que ese uso puede considerarse hoy muy escaso.

"Por otro lado –afirma– vimos que entre los usuarios que habían utilizado el teléfono más de 1.640 horas en su vida (sólo el 10% de los usuarios encuestados pertenecían a esta categoría de "uso elevado") sí había un riesgo aumentado para gliomas y para tumores del nervio acústico, y ese riesgo era más elevado aún para personas que usaban el teléfono del

mismo lado de la cabeza en que se desarrolló el tumor. También analizamos la localización anatómica de los tumores, y el riesgo resultó ser más elevado en el lóbulo temporal del cerebro, que es la región más expuesta a la radiofrecuencia emitida por los móviles. Este resultado no sería atribuible a un sesgo de respuesta, ya que no hay razones para que los que tienen un tumor en esta zona contesten de forma diferente a los que sí lo padecen".

En líneas generales, estos estudios hacen pensar, en opinión de Elisabeth Cardis, que "la existencia de algún tipo de riesgo todavía no está comprobada, debido a los muchos sesgos posibles; sin embargo hay suficientes indicios para pensar que puede existir algún riesgo, y que conviene valorarlo".

El proyecto *Interphone* finalizó en 2004, y los resultados fueron publicados por la IARC en 2010. A este respecto, indica que "la recogida de datos terminó en 2004, pero posteriormente se añadieron al proyecto algunos países; por lo tanto, en ese año todavía no podían obtenerse resultados".

"Además, posteriormente fue necesario dedicar tiempo a la validación de análisis, lo que nos llevó un par de años más. Había interpretaciones distintas entre los investigadores participantes, y era difícil llegar a una conclusión y a una formulación uniforme de las discusiones y las conclusiones que fuera aceptable para todos. A esto se unió que en aquel periodo yo dejé Lyon para ir a Barcelona, y esto tampoco ayudó mucho". Sin duda, queda un camino por recorrer en este área de investigación.

EFFECTOS EN LOS MÁS JÓVENES

El interés de nuestra entrevistada por los efectos de las radiaciones propias

de la telefonía móvil en las personas le ha llevado a liderar el proyecto *Mobi-Kids*, sobre el que se publica un artículo en este número de RADIO-PROTECCIÓN.

Sin duda, en la sociedad actual el uso de teléfonos móviles está mucho más extendido entre los jóvenes, y eso, por sí solo, podía ser un condicionante de gran importancia.

Pero la doctora Cardis expone otros factores a tener en cuenta. "Pensamos que, si existe riesgo, es probable que sea más importante para exposiciones en los jóvenes, porque su sistema nervioso central está en desarrollo. Sabemos que factores de riesgo como las radiaciones ionizantes o contaminantes ambientales o agentes químicos tienen efectos más significativos en niños y jóvenes que en adultos".

"Por otra parte, hay razones puramente anatómicas que nos hacen pensar que el riesgo puede ser mayor en los jóvenes, con la misma frecuencia de uso que los adultos, porque tanto el cráneo como las orejas son más delgadas, y por lo tanto la antena del teléfono está más cerca de la parte más expuesta del cerebro. De hecho, pensamos que la cantidad de energía transmitida por la señal y absorbida por el cerebro es casi el doble en niños que en adultos".

Los detalles del proyecto pueden consultarse en el artículo, pero nos interesa especialmente conocer las lecciones aprendidas del *Interphone*. "Uno de los problemas que encontramos con *Interphone* era la baja tasa de participación de controles, con un promedio del 50 por ciento. En *Mobi-Kids* estamos utilizando controles hospitalarios consistentes en enfermos que han sido operados de apendicitis, una enfermedad que no está relacionada con el uso de móviles, que es frecuente en el rango de edad de interés, entre los 15 y los



24 años, y que no está influida por el nivel socioeconómico del paciente. Pensamos que estos jóvenes hospitalizados están más dispuestos a participar que otras personas de su edad que ocupan su tiempo en diversas actividades”.

RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

En 2011, la IARC incluyó las radiofrecuencias de comunicación en la categoría de “posibles cancerígenos”.

Para Elisabeth Cardis, la publicación de los datos del proyecto *Interphone* influyó en esta decisión, así como un importante estudio realizado en Suecia, que obtuvo datos con incremento de riesgo incluso mayor. “Sin duda, estos dos estudios, y especialmente los trabajos realizados en *Interphone* para valorar los efectos de los sesgos, estimar la dosis a nivel del tumor y ver cómo responde, todo ello se tuvo en cuenta en la decisión de la IARC”.

Algunos medios llegaron a calificar esta decisión como alarmista. Recuerda esta experta que “quizá hubo algunos problemas de comunicación en el momento en el que se publicaron los resultados de la evolución de la IARC. Por ejemplo, yo estaba viajando en un avión, y no pude responder las llamadas de los periodistas. Además, no tenían todos los datos, y sus reacciones fueron algo confusas”.

En cualquier caso, estas recomendaciones plantearon un antes y un después en las recomendaciones de los países con relación al uso de la telefonía móvil.

CAMPAÑAS DE COMUNICACIÓN

A partir de la inclusión de las radiofrecuencias en la clasificación de la IARC, la mayoría de los países han promulgado normas o desarrollado campañas educativas para minimizar

la exposición del público a las señales de los teléfonos móviles.

Esto, sin duda, debe ser compatible con la realidad de la vida diaria que, como afirma la doctora Cardis, “no podemos imaginar sin móviles. Esta forma de comunicación es muy utilizada también para emergencias, o en telemedicina para hacer un seguimiento a los pacientes”. Por eso es importante estudiar su influencia.

Sobre las decisiones adoptadas por distintos países, un ejemplo de medidas radicales es la adoptada por Francia de prohibir el uso de Wi-Fi en escuelas y bibliotecas. Reconoce Cardis que “yo no iría hasta este punto, porque los niveles de riesgo en los oídos son más débiles que los debidos al teléfono en la cabeza”.

“Los gobiernos tienen que analizar este tema de manera seria. En Cataluña, por ejemplo, hemos reunido en unas jornadas a las distintas consejerías con la intención de analizar este tema, y brindarles la oportunidad de que soliciten la información que consideren necesaria y los consejos pertinentes”.

“Además, existe el Comité Científico Asesor en Radiofrecuencia y Salud (CCARS), compuesto por un grupo de expertos y dependiente de la Universidad Complutense de Madrid, que evalúa informes como los de la IARC. Sin embargo, es un grupo de consulta, que no tiene capacidad de decisión sobre la materia”

En lo que se refiere a consejos generales de uso, nuestra entrevistada es clara. “Aunque de momento el efecto de los móviles no está comprobado de una manera científica, lo mejor es tomar algunas medidas básicas, y la más importante y efectiva es alejar el teléfono de la cabeza con un *kit* de manos libres, o utilizar mensajes. De esta forma, la exposición se reduce

de una manera muy importante”. Lo mismo puede decirse de los sistemas para el seguimiento a distancia de los bebés, los llamados *babyphone*, o de cualquier aparato que emita frecuencias: “lo mejor es mantenerlo un poco alejado; con una separación de 50 centímetros, la exposición es muy poca”.

EPIDEMIOLOGÍA Y EXPERIMENTACIÓN

En diversos foros de expertos se ha propuesto que, dadas las limitaciones propias de los procedimientos en epidemiología, esta disciplina por sí sola no permitirá dar respuesta a las incertidumbres sobre los posibles efectos nocivos de las emisiones de los teléfonos.

A este respecto, Cardis indica que “existen muchos estudios experimentales en animales, en células y en distintos organismos. Sin embargo, los resultados parecen depender de la frecuencia de modulación, de la manera en que se hace la exposición. De hecho, hay varios grupos que han elaborado recomendaciones sobre cómo se deberían hacer estos estudios”.

“En cualquier caso, hay que tener en cuenta que los estudios en células no replazan a estudios en humanos. En el mundo hay más de cuatro billones de usuarios y, aunque el riesgo puede ser muy bajo, se puede traducir en muchos miles de tumores en el mundo atribuibles a los teléfonos. Y un riesgo débil no es muy fácil de encontrar en los estudios experimentales”.

“Por otra parte, hay ejemplos de factores de riesgo de los que se han visto primero sus efectos en seres humanos antes de que se activaran los mecanismos utilizados en los estudios ambientales, como es el caso del tabaco y de algunas toxinas. Por eso, tenemos que prestar mucha atención a los estudios epidemiológicos”

PLAN DE ACTIVIDADES

2012

Las actividades de la SEPR se programan sistemáticamente y se reflejan en un Plan anual de Actividades que se presenta a los socios y a las entidades relacionadas con la SEPR. Este Plan es coherente con el Plan Estratégico de la SEPR, aprobado en 2008, que se articula alrededor de cuatro líneas estratégicas: **progreso de la Protección Radiológica; desarrollo organizativo y financiación; servicios a los socios; y relaciones con la sociedad.** Adicionalmente, de cara a sus asociados y a otros profesionales y público en general, la SEPR mantiene viva una página web de gran dinamismo y publica la revista **RADIOPROTECCIÓN**, con significativo impacto y difusión en formato electrónico en los países de habla hispana.



Jornadas

Actividad	Fecha	Lugar
Jornada "Presentación del Protocolo Español de control de calidad en radiodiagnóstico"	21 Marzo	Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad
Simposio Internacional Sobre Protección Radiológica. Sesión especial conjunta Cuzco – Madrid mediante videoconferencia	3 abril	ETSII-UPM
Jornada sobre "La Protección Radiológica en 2011"	12 abril	Hospital "Ramón y Cajal"
Jornada sobre "Radiobiología: situación actual y perspectivas futuras" (jornada final del curso sobre el tema)	26 octubre	Ciemat (Madrid)
Jornada sobre "Protección Radiológica en las industrias NORM" (jornada final de un curso del Ciemat sobre el tema)	30 noviembre	Ciemat (Madrid)
Jornada sobre "Experiencia operativa. Organizaciones comprometidas e inteligentes"	Diciembre	-----

Cursos y Talleres

Actividad	Fecha	Lugar
Curso sobre "Radiobiología: situación actual y perspectivas futuras"	22 al 25 octubre	Ciemat
Curso sobre "Manejo del paciente en procedimientos con isótopos radiactivos"	Octubre	Hospitales "Ramón y Cajal" y "Gregorio Marañón" de Madrid
Curso sobre "Blindajes frente a radiaciones en las instalaciones sanitarias"	9 noviembre	Hospital Universitario "Lozano Blesa" de Zaragoza
Cursos online de formación en PR para técnicos de empresas de electromedicina	II edición (I edición en nov. 2011)	

PROGRAMA ANUAL DE ACTIVIDADES

Simposio Internacional sobre Protección Radiológica

Jornada "Protección Radiológica en 2011"

Jornada "Presentación del Protocolo Español de control de calidad en radiodiagnóstico"

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

Congreso IRPA 13

Jornadas sobre Calidad en la vigilancia radiológica ambiental

Jornadas SEPR
 Cursos y talleres SEPR
 Colaboraciones

Publicaciones

Actividad	Fecha	Documento
Revista RADIOPROTECCIÓN	4 números año	Impreso y Descargable pág. web
Página Web de la SEPR (www.sepr.es)	continua	Web
Guía sobre criterios de protección radiológica operacional para trabajadores expuestos en instalaciones radiactivas en el sector sanitario	febrero	Descargable pág. web
Formato genérico de consentimientos informados de pruebas radiológicas relativos a riesgos por radiaciones ionizantes	febrero	Descargable pág. web
Guía Técnica de caracterización y gestión de materiales residuales con contenido radiactivo en centros de investigación biológica	diciembre	Impreso y Descargable pág. web

Otras Actividades

Actividad	Fecha	Lugar
ExpoPR	Permanente	Centro Tecnológico Mestral. Vandellós (Tarragona)

Actividades en las que colabora la SEPR

Actividad	Fecha	Lugar	Colaboración
Simposio Internacional de Protección Radiológica	2 - 4 abril	Cuzco (Perú)	Sociedad Peruana de Radioprotección y FRALC (Federación de Radioprotección de América Latina y el Caribe)
Congreso IRPA 13	13 - 18 mayo	Glasgow (Reino Unido)	International Radiation Protection Association (IRPA)
Jornadas sobre calidad en la vigilancia radiológica ambiental	30 mayo 1 junio	Tarragona (Universidad Rovira Virgili)	Red de Laboratorios de radiactividad ambiental
Jornada sobre la I+D nuclear después de Fukushima	octubre	Madrid	Comité Español de I+D en Energía Nuclear (CEIDEN)

PROGRAMA ANUAL DE ACTIVIDADES

Curso sobre "Blindajes frente a radiaciones en las instalaciones sanitarias"

Curso sobre "Radiobiología: situación actual y perspectivas futuras"

Julio						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Agosto		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Septiembre				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
Octubre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
Noviembre			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
Diciembre				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		

Jornada sobre "Radiobiología: situación actual y perspectivas futuras"

Jornada sobre "Protección Radiológica en las industrias NORM"

Jornadas SEPR
 Cursos y talleres SEPR
 Colaboraciones

La página web de la SEPR

Como en años anteriores, se presenta un resumen sobre el funcionamiento de la Web durante el año 2011.

En ese año, hemos recibido 220.912 visitas, es decir, 18.409 al mes en promedio. Esto supone un aumento de un 90% con respecto al año anterior, en el que tuvimos 117.552 visitas, año en el que el incremento de visitas fue de un 30% con respecto a 2009. Es evidente que la explicación de este aumento proviene por un lado de la celebración del Decimotercer Congreso de la SEPR (conjunto con el 18º de la SEFM), la completa instauración de las redes sociales (twitter y facebook, en el que tenemos ya 5.000 seguidores) y, por supuesto, el trágico suceso del terremoto y *tsunami* en Japón seguido del accidente en la planta de Fukushima Dai-ichi. Del efecto que tal evento supuso en nuestra web ya dimos cumplida cuenta en números anteriores. Existe además un incremento muy importante en los últimos meses del año, probablemente debido a la publicación de las presentaciones del congreso, la celebración de las jornadas en las que se presentaron las *Normas Básicas de Seguridad Internacionales* y a las visitas debidas al documento "Criterios de alta de pacientes sometidos a tratamiento de I-131".



Figura 1.- Visitas mensuales a www.sepr.es.

Los meses con mayor número de visitas fueron marzo, octubre y noviembre con más de 21.000 visitas. Sin embargo, el mes donde un mayor volumen de datos descargados se produjo fue en noviembre, donde todos los documentos mencionados se hicieron accesibles en la web.

Amén de una evidente satisfacción por el trabajo bien hecho durante estos años en la web de nuestra sociedad, es importante hacer notar que tal incremento en el número de visitantes ha supuesto un problema logístico. Debido al aumento en las visitas y al límite que nuestro servidor imponía en este aspecto, entre otros, hemos decidido realizar un cambio, que será transparente para nuestros socios. Este traslado del sitio web está siendo realizado en el mismo momento en el que tú lector estás leyendo estas líneas, y supondrá mejoras en el funcionamiento de este medio de comunicación.

La mayor parte de los visitantes procedían de España, Chile, Francia y Alemania.

Los apartados más visitados fueron *Publicaciones* y *Convocatorias*.

En cuanto a los documentos más descargados el año 2011 destacó por la publicación del nuevo "Protocolo Español de Control de la Calidad en Radiodiagnóstico", tanto en su borrador como en su versión definitiva. El borrador del documento fue descargado en 19.248 ocasiones, constituyendo el documento más descargado de nuestra web hasta la fecha. Pero debe, además, destacarse que la sección en la que se ha alojado posteriormente la versión definitiva recibió más de 100.000 visitas, dando una idea de las expectativas que dicho documento ha generado.

Debe reconocerse, una vez más desde estas líneas, la impresionante labor que el Comité de Redacción realiza en la web de la SEPR para hacer llegar de la manera más eficiente posible toda la información de interés para nuestros socios.

Juan Carlos Mora,
Coordinador web de la SEPR.



Descarga gratuita de las presentaciones de la "Jornada de presentación del Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico"

Ya se encuentran a disposición de los socios las presentaciones realizadas en esta Jornada. Todas las presentaciones se encuentran en formato pdf.

Protección ante exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes: presente y futuro

E. Guibelalde

Departamento de Radiología. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN

En abril de 2012 están previstas la aprobación y publicación de la Directiva del Parlamento y del Consejo Europeos que establece los requisitos mínimos de seguridad y protección frente a los riesgos derivados de exposiciones a campos electromagnéticos para trabajadores expuestos y que sustituye a la Directiva 2004/40/EC. La publicación de nuevos estudios relacionados con la exposición a la radiación electromagnética y su impacto sobre la salud que han ido apareciendo en los últimos años ha supuesto la reconsideración, por parte del Parlamento, Consejo y Comisión, en relación con la aplicación de los límites de exposición en la práctica clínica en unidades de resonancia magnética. En el presente artículo de revisión se presentan los principios que rigen la nueva directiva y se detallan algunas de las implicaciones y medidas a tomar en las instalaciones de imagen por resonancia magnética.

ABSTRACT

In April 2012, it is expected the approval and publication of the Directive of the European Parliament and Council on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields), replacing Directive 2004/40/EC. The publication of new evidences related to exposure to electromagnetic radiation and its impact on health that have emerged in recent years has led to reconsideration by the Parliament, Council and European Commission, regarding the application of exposure limits for MRI clinical practice. The present review presents the principles governing the new Directive and some of the implications and actions to be taken on magnetic resonance imaging installations.

INTRODUCCIÓN

La Directiva Europea 2004/40/CE sobre campos electromagnéticos (CEM) se publicó el 29 de abril de 2004 en el diario oficial de la Unión Europea [1]. Originalmente, esta normativa debería haber sido traspuesta a las legislaciones nacionales antes del 30 de abril de 2008, sin embargo diversos motivos aconsejaron una moratoria para su entrada en vigor [2]. En abril de 2012 se publicará una nueva versión que introduce sustanciales modificaciones respecto la original, objeto de discusión del presente trabajo. La directiva establece valores límite de exposición ocupacional a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos de frecuencias comprendidas entre 0 Hz y 300 GHz. Dichos valores implican límites por encima de los cuales la exposición es ilegal, incluso para exposiciones breves. Estos límites se establecieron a partir las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) de 1998 [3] sobre la base de una interpretación cautelosa de los datos existentes sobre efectos biológicos y fisiológicos de las Radiaciones No Ionizantes (RNI) para excluir toda posibilidad de efectos adversos y –como es habitual– estableciendo límites uno o dos órdenes de magnitud

por debajo de los umbrales comúnmente aceptados para la aparición de los efectos.

La directiva incluye también los llamados “valores de acción” que determinan cuándo es preciso realizar medidas preventivas para reducir los riesgos ocupacionales debidos a dichos CEM. Estos valores de acción se definen en términos de parámetros directamente medibles, tales como la intensidad de campo eléctrico (E), la intensidad de campo magnético (H), la densidad de flujo magnético o la inducción magnética (B) y la densidad de potencia (S). La observancia de los valores de acción garantiza la conformidad con los correspondientes valores límite de exposición.

La directiva establece las pertinentes obligaciones de los titulares de la práctica en materia de prevención de riesgos y abarca todos los sectores y actividades en los cuales exista exposición a dichos CEM, incluyendo, en consecuencia, el ámbito médico y, especialmente, la Imagen por Resonancia Magnética (IRM), aun cuando éstos no aparecieran expresamente mencionados en la directiva. Aspectos importantes contemplados son la obligatoriedad de exámenes de salud específicos y la necesidad de informar y formar adecuadamente a los trabajadores en materias de protección y seguridad frente a RNI. La directiva contempla los riesgos para la

salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a dichas radiaciones debidos a efectos negativos a corto plazo en el cuerpo humano, bien conocidos y documentados, pero no aborda posibles efectos a largo plazo, tales como los posibles efectos cancerígenos, de los cuales –la propia Directiva señala– no existe todavía una evidencia científica de una posible relación causa-efecto.

Según los principales impulsores de la suspensión y modificación de la directiva, en su formulación original no se consultaron, salvo de forma marginal, la opinión de expertos y sobre todo, no se valoró suficientemente el impacto en la investigación y práctica clínica en equipos de imagen y espectroscopia con resonancia magnética. Efectivamente, los resultados de diversos trabajos publicados a partir de los años 2005, 2006 y 2007 constataron que la aplicación de los límites de exposición y valores de acción indicados en la directiva inhibía algunas prácticas clínicas. A modo de ejemplo, los resultados de Riches et al. (2007) sobre equipos de 1,5 T muestran que para el campo estático, el valor de la acción propuesto por la directiva se supera a 40 cm de la apertura del equipo y por tanto impediría al personal colocar a los pacientes para la exploración o realizar tareas de mantenimiento [4]. En relación con los campos de radiofrecuencia (RF) los valores de acción únicamente se sobrepasan dentro del equipo y sólo para ciertas secuencias de adquisición; sin embargo, en relación con los gradientes de campo, variables en el tiempo, los valores de acción se superaron a 52 cm del equipo para dos secuencias clínicas habituales [5]. La directiva no incluye valores límite de exposición para campos estáticos, sin embargo, un trabajador moviéndose en el campo magnético generado por el equipo de RM experimentará un flujo de corriente eléctrica variable como resultado de su propio movimiento. Magnitud que sí aparece en la relación de los valores límite de exposición y que conlleva valores de acción superiores a lo permitido para bajas frecuencias (desde 0 Hz) [6].

En paralelo a las iniciativas legislativas, la Comisión Europea patrocinó, por medio de una licitación abierta, un proyecto sobre uso de RM clínica y su impacto ocupacional [7] que, concluido en abril de 2008, mostró que efectivamente el obligado cumplimiento de los valores límite de exposición de la directiva impediría la aplicación y desarrollo futuro de ciertos aspectos clínicos de la resonancia magnética. Sin embargo, el estudio también mostró que el problema afectaría a un número relativamente bajo de los procedimientos habituales –menos del 10%– y se originaría únicamente en el rango de frecuencias de 0 Hz a 10 kHz utilizada en RM. Para la gran mayoría de los procedimientos, el cumplimiento de las disposiciones de la directiva se asegura de facto sin ningún cambio en la forma actual de trabajo o –en un número

limitado de casos– mediante una ligera modificación de los hábitos de trabajo durante el procedimiento médico.

Ciertamente, a raíz de diversas intervenciones de los miembros del Parlamento Europeo y la presión de un gran número de organizaciones científicas lideradas por la Sociedad Europea de Radiología (véase *Alliance for MRI*¹), asociaciones de fabricantes y pacientes, el 23 de abril de 2008, el Parlamento Europeo y el Consejo adoptó la Directiva 2008/46/CE, con el propósito de modificar el plazo de trasposición de la Directiva a la legislación nacional de los 27 estados miembros de la Unión Europea hasta el año 2012. En el contexto de este aplazamiento, se preveía revisar tanto el contenido como las consecuencias de la Directiva, prestando especial atención a evitar la restricción del uso de la RM en la práctica clínica [2].

En junio de 2010 la Comisión, tras abordar un largo y exhaustivo periodo de consultas entre los agentes sociales y expertos promulga sus conclusiones, identifica los puntos de la Directiva que requieren una nueva revisión y establece la propuesta y guía de modificación de la Directiva 2004/40/EC, asumiendo un principio general de flexibilidad y proporcionalidad [8]. El detalle de modificaciones propuesta por la Comisión Europea se describe en la sección siguiente del presente trabajo.

PRINCIPIOS QUE RIGEN LA MODIFICACIÓN DE LA DIRECTIVA

Las conclusiones más importantes tras el periodo de consultas entre las partes interesadas pueden resumirse como sigue [8]:

1. La Comisión ratifica su intención de hacer una propuesta que cubra todos los sectores de actividad.
2. Se propondrá un nuevo conjunto de definiciones para los efectos adversos para la salud.

Existen diferentes opiniones sobre si los fosfenos, vértigo y náuseas deben ser considerados como efectos adversos para la salud [9,10]. Ciertamente su aparición, aunque no deba ser considerado un problema de salud, sí puede influir negativamente en ciertos aspectos del rendimiento laboral y especialmente en aquellas tareas que requieran precisión, concentración, tiempos de reacción inmediata, o que puedan afectar a la seguridad, por ejemplo trabajos en altura. La Comisión es de la opinión de que la solución puede ser la de distinguir entre los efectos que son perjudiciales para la salud y los efectos que pueden ser perjudiciales para la seguridad del trabajador o puedan afectar a la calidad del trabajo. En la práctica esto se traduciría en una situación donde los niveles aceptables de exposición a

¹www.myesr.org/cms/website.php?id=/en/eu_affairs_research/alliance_for_mri.htm



los CEM dependerán no sólo de la frecuencia e intensidad de la fuente sino también del tipo de trabajo.

3. Se revisará la filosofía y restricciones de los valores límite para el rango de 0 a 100 kHz a tenor de los últimos conocimientos científicos.

La Comisión tiene la intención de tener en cuenta la diversidad de las recomendaciones del mundo científico y reemplazar el sistema actual, que comprende un valor de acción y un valor límite de exposición para cada frecuencia, por un sistema más simple que facilite la verificación del cumplimiento y actuaciones a tomar por el titular de la actividad. La idea es introducir un sistema de zonas o áreas de trabajo para de frecuencias de 0 a 100 kHz, no aplicable a frecuencias superiores a 100 kHz

El sistema de áreas propuesto se detalla en la Tabla 1.

4. Se propondrá un sistema más completo para facilitar las mediciones y cálculos dosimétricos y que tenga en cuenta las incertidumbres asociadas a las medidas.

La medición de campos eléctricos o magnéticos conlleva incertidumbres que pueden llegar a ser muy altas (hasta el 100% del valor medido). El reto de realizar medidas más precisas implica una mayor complejidad y coste, por lo que dichas evaluaciones deben limitarse a los casos en que exista una razonable probabilidad de recibir exposiciones por encima del límite asignado a la Zona 2.

5. Se ofrecerá asesoramiento en las evaluaciones de riesgo en un marco más simple, pero que no implique pérdida de eficacia.

La nueva propuesta de Directiva no eximirá a los titulares de la práctica de llevar a cabo las evaluaciones del

riesgo y presentar la documentación pertinente, pero se buscará un sistema más simple y proporcionado.

6. Se propondrá una mayor flexibilidad en los ambientes de trabajo controlados.

En relación con efectos a corto plazo, la Comisión reconoce la necesidad de un enfoque más adecuado y proporcional para todos los sectores de actividad, entendiendo que la exposición a campos eléctricos y / o magnéticos por encima de ciertos niveles puede tener efectos sobre el cuerpo humano, pero no implican necesariamente perjuicio para la salud.

En relación con los posibles efectos a largo plazo puede concluirse atendiendo a los últimos datos publicados [10,11] que actualmente no hay pruebas consistentes de efectos adversos en humanos adultos a largo plazo (y muy escasas para niños pequeños) y por lo tanto sin posibilidad de tenerlos en cuenta para un enfoque cuantificable en un instrumento jurídico vinculante. La Comisión considera, no obstante, que el principio de cautela debe formar parte de las medidas preventivas a tener en cuenta.

7. Vigilancia médica de los trabajadores.

La opinión de los médicos especialistas es que es difícil identificar los efectos de la exposición a campos electromagnéticos, especialmente a través de exámenes de salud rutinarios. En este apartado existen aún grandes interrogantes como: ¿qué síntomas deben buscarse después de la exposición intensa a RNI, a excepción de las quemaduras? ¿Cuáles son las necesidades específicas de protección para los colectivos de mayor riesgo, por ejemplo, mujeres embarazadas, personas con ciertas enfermedades neurológicas o portadores de implantes?

Denominación área	Observaciones y recomendaciones
Zona 0 (zona azul)	Aquella en donde los niveles de exposición son asimilables a los del público (no se considera necesario realizar acciones)
Zona 1 (zona verde)	La exposición se mantiene por debajo de los niveles propuestos por las guías de ICNIRP [10, 11] para frecuencias de hasta 100 kHz. En esta área no cabe esperar problemas para la salud de los trabajadores o su seguridad, por lo que debería ser suficiente dar una información específica para el personal que trabaje en dicha área. Para las frecuencias iguales o inferiores a 1 Hz en donde pueden presentarse episodios de náuseas y vértigo, se adoptarán las medidas de protección de la zona 2.
Zona 2 (zona amarilla)	La exposición se encuentra entre los valores propuestos por las guías de ICNIRP 2009 y 2010 y el valor fijado para la zona 3 (ver más abajo). No se espera encontrar riesgos de salud perjudiciales pero podrían presentarse potenciales riesgos de seguridad laboral o merma de la calidad del trabajo debido a la aparición de fosfenos. Esta es el área donde las acciones necesarias y las medidas preventivas son, en realidad, dependientes de la actividad. Las medidas que deben ser consideradas para esta zona incluyen: información, formación específica y de sensibilización, señalización adecuada y acceso limitado.
Zona 3 (zona roja)	La exposición puede superar los límites actuales comúnmente aceptados propuestos por ICNIRP para las frecuencias superiores a 100 kHz. En esta zona, no se debe permitir el acceso o incluso debería imposibilitarse. En caso de requerir el acceso, éste debe tener lugar bajo condiciones estrictamente controladas, nunca en el trabajo rutinario

Tabla 1: Sistema de áreas propuestas para CEM de 0 a 100 kHz [8]

8. Problemática específica de las aplicaciones médicas que emplean la resonancia magnética.

Los esfuerzos de la Comisión van encaminados a encontrar una manera de garantizar un alto nivel de protección de los trabajadores a la vez que permitir el desarrollo y pleno uso de la RM en los procedimientos médicos. A modo de ejemplo, y teniendo en cuenta que la mayor parte de las aplicaciones actuales emplean equipos de 1,5 T o 3,0 T y muy raramente 7,0 T podría pensarse en ajustar las prácticas de trabajo para garantizar que el nivel de exposición permanezca por debajo de los valores límite, siguiendo algunas recomendaciones generales como:

- no acercarse a menos de 0,5 m de la entrada del equipo, a no ser que resulte absolutamente necesario para ayudar al paciente.
- caminar con normalidad en la sala de resonancia magnética (~ 4 km/h).
- no acercarse a la apertura de la RM durante la adquisición de la imagen.
- no permanecer en la habitación salvo el tiempo mínimo imprescindible.

A pesar de que el porcentaje de procedimientos que no cumpliría la Directiva en su formulación de 2004 es relativamente pequeño, representa en términos absolutos entre 400.000 y 500.000 procedimientos médicos anuales en la UE en los cuales la presencia del trabajador cerca del paciente es inevitable. Por ello, la Comisión prevé la posibilidad de eximir del cumplimiento de los valores límite de exposición a la práctica médica de la RM y actividades relacionadas con el uso y desarrollo de técnicas de RM médicos. En contrapartida se reforzarán las medidas cualitativas de prevención y protección incluyendo: la intensificación de las medidas de información; el aumento y mejora de la formación de los trabajadores; la presencia de documentación y protocolos de trabajo que limiten en lo posible la exposición; el establecimiento de procedimientos administrativos estrictos para el acceso a las salas de resonancia magnética; la participación del personal en las mejoras de diseño y condiciones de trabajo; la monitorización de los trabajadores, etc. En este sentido, se pretende elaborar una guía europea de buenas prácticas y seguridad, similar a la existente en algunos países europeos [12]

PRINCIPALES NOVEDADES QUE INCLUYE LA NUEVA DIRECTIVA

La nueva propuesta de la Comisión tiene por objeto revisar la Directiva 2004/40/CE con el fin de tener en cuenta las nuevas evidencias científicas y a la vez garantizar un

alto nivel de protección de los trabajadores. En particular, se ha tenido en cuenta que la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) ha finalizado y publicado sus revisiones de las directrices sobre campos magnéticos estáticos [10] y campos de baja frecuencia [11] en los que se fundamenta parte de la Directiva. Las nuevas recomendaciones se publicaron en 2009 y 2010, respectivamente. En la mayoría de los casos, los niveles de referencia y restricciones básicas quedan fijados a niveles más altos que en las recomendaciones anteriores.

Los cambios más importantes introducidos por la nueva propuesta, teniendo en cuenta los últimos hallazgos científicos en esta área, son los siguientes:

- La introducción de los llamados "valores orientativos" para los riesgos de seguridad
- Proponer un marco de excepciones para los valores límites vinculantes en las aplicaciones médicas que utilizan la resonancia magnética (MRI) y para las fuerzas armadas (interoperabilidad de la OTAN)
- Permitir la superación temporal de los límites de exposición en situaciones específicas, mediante el establecimiento de un marco controlado de excepciones para la industria
- Reforzar la protección de los grupos de riesgo, tales como las trabajadoras embarazadas y trabajadores portadores de implantes, mediante la introducción de disposiciones especiales para casos específicos
- Establecer medidas complementarias, tales como la elaboración de una guía práctica no vinculante.

A continuación se presenta la explicación detallada de las modificaciones incluidas en la nueva propuesta [13]:

El artículo 1 de la propuesta no introduce apenas cambios en relación con la Directiva 2004/40/CE y en él se definen los objetivos y ámbito de la propuesta. Una nueva frase en el párrafo 2 menciona explícitamente la existencia de efectos directos e indirectos debido a la exposición a los CEM. La Directiva incluye ahora ambos tipos de efectos.

El artículo 2 define los valores límite de exposición y los valores de acción para los campos electromagnéticos con las mismas definiciones de la Directiva 2004/40/CE, pero además introduce nuevas definiciones en la propuesta tales como: "valores orientativos de exposición", "efectos adversos para la salud" y "efectos adversos para la seguridad".

El "valor orientativo" se refiere a niveles de campo en los cuales no deberían aparecer efectos adversos para la salud en condiciones normales de trabajo y para personas no incluidas entre los colectivos de riesgo. El cumplimiento del valor orientativo garantiza el cumplimiento de los correspondientes valores límite de exposición de cara a los efectos de seguridad y salud.

Artículo 3. En este artículo se detallan los valores límite de



exposición y valores de acción. En el apartado 1 se expone brevemente el papel de los nuevos valores orientativos y de acción, a fin de lograr la necesaria proporcionalidad exigida por las partes interesadas. Estos nuevos valores se aplican únicamente al rango de frecuencias de 0 Hz a 100 kHz. Para frecuencias entre 100 kHz y 300 GHz, se mantienen los niveles de la Directiva 2004/40/CE, ya que para este rango no se han publicado nuevas recomendaciones o evidencias desde 1998.

El apartado 4 del artículo 3 es nuevo y ofrece una exención de los límites de exposición para la resonancia magnética en el sector médico y actividades relacionadas, manteniéndose la obligación del resto de requisitos. También es nuevo el apartado 6 que establece excepciones temporales cuando es previsible la superación de los límites de exposición en condiciones controladas.

El artículo 4 se refiere a la "determinación de la exposición y evaluación de los riesgos". El apartado 5 se mantiene sin cambios respecto a la Directiva 2004/40/CE, excepto para el punto (c), donde se definen ahora con mayor precisión los colectivos de especial riesgo.

El artículo 8 sobre "Vigilancia de la salud" ha sido modificado para introducir una distinción entre la exposición en el rango de baja frecuencia (0 Hz a 100 kHz) y la exposición en el rango de alta frecuencia. El cambio tiene en cuenta la evidencia actual que indica que los efectos inducidos por los campos de baja frecuencia no pueden ser observados una vez que el trabajador ha abandonado la zona de exposición indeseada. Cualquier daño para la salud que resulte de dicha exposición no puede determinarse mediante un simple examen médico.

El anexo II es una parte importante de la propuesta, ya que establece todos los elementos necesarios para garantizar una mayor flexibilidad y proporcionalidad en el rango de frecuencia de 0 Hz a 100 kHz. Se introduce la "zonificación" del sistema tal cual hemos presentado en la sección anterior del presente trabajo, para facilitar, siempre que sea posible, los procedimientos de evaluación de riesgos.

El Anexo IV es específico para la resonancia médica magnética. Está diseñado para garantizar la correcta aplicación y armonización de las medidas de protección cualitativas en un entorno controlado. En este anexo se realiza una declaración de intenciones sobre las tareas y objetivos que deben desarrollarse en el futuro para garantizar la protección de los trabajadores expuestos a los CEM durante las actividades a las cuales se ha eximido del cumplimiento de los límites de exposición. Por ejemplo, serán objetivos prioritarios: potenciar las actividades formativas de un modo eficiente, incluso para el personal externo que pudiera eventualmente

acceder a la sala de la resonancia magnética; documentar los procedimientos de trabajo: establecer reglas estrictas para el acceso a las salas de resonancia magnética, etc. Entre las tareas a realizar: documentar las buenas prácticas ya existentes en los Estados miembros o en instalaciones específicas; examinar las guías existentes y los procedimientos de trabajo; identificar y describir los riesgos (EMF, el ruido, objetos voladores, líquidos criogénicos); identificar los escenarios de exposición máxima; definir las situaciones típicas de trabajo; definir las reglas de conducta apropiadas para cada situación de trabajo normal; establecer un programa de capacitación estándar y su contenido, etc.

ÁREAS DE INVESTIGACIÓN PRIORITARIA

De forma complementaria a las iniciativas legislativas es interesante destacar también las iniciativas científicas que previsiblemente marcarán el futuro en la Protección frente a RNI en el área de la Resonancia Magnética clínica. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en relación con las exposiciones a campos magnéticos estáticos, identifica las áreas de investigación prioritaria y de desarrollo futuro [9].

En términos generales, la OMS reconoce que la investigación llevada a cabo hasta la fecha no ha sido sistemática y ha sido a menudo llevada a cabo sin una metodología adecuada y conocimiento sobre los niveles reales de exposición. Se constata la necesidad de investigar con más profundidad la influencia de los parámetros físicos tales como la intensidad, la duración y el gradiente de campo, y sus mecanismos de interacción en la respuesta biológica. Se recomienda abordar estudios epidemiológicos y con voluntarios, estudios biológicos *in vitro* y con animales, y desarrollar modelos teóricos y computacionales.

En relación con estos últimos, los modelos dosimétricos computacionales proporcionan la relación matemática entre el campo magnético estático externo y los campos internos y las corrientes eléctricas inducidas causadas por el movimiento de los tejidos vivos en el campo. Los modelos numéricos que describen la interacción entre campos electromagnéticos y el cuerpo humano están basados en las expresiones diferenciales/integrales de las ecuaciones de Maxwell. Algunos se definen en el dominio del tiempo y otros en el dominio de las frecuencias. Algunos de los métodos más utilizados son los siguientes: *Finite-difference time domain* (FDTD), *Finite integration technique* (FIT), *Method of Moments* (MoM) y *Finite-Element Method* (FEM). [14,15]

La mayoría de los paquetes comerciales basados en dichas técnicas ofrecen la posibilidad de importar estructuras (bobinas, antenas...), modelizar varias fuentes (voltajes, intensidades), tener en cuenta la influencia de la frecuencia en las

propiedades dieléctricas y magnéticas de la materia, incorporando mallados adaptativos y condiciones de contorno adecuadas. Además, proporcionan visualizaciones 2D y 3D de los campos eléctricos y magnéticos, densidades de corriente y energía. El desarrollo de dichas técnicas permite la caracterización de los campos en tejidos y órganos específicos.

Actualmente se pueden adquirir diversos maniqués voxelizados de alta resolución, anatómicamente realistas para hombres adultos, ampliamente utilizados en estudios para los campos electromagnéticos variables en el tiempo, sin embargo, existen pocos trabajos en campos estáticos y especialmente significativa la ausencia de trabajos con maniqués de diferente tamaño, de mujeres y de mujeres con feto en diferentes etapas de gestación.

Se considera de alta prioridad el desarrollo de un maniqué de cabeza y cuello de muy alta resolución que permita modelizar el campo eléctrico y corrientes asociadas a la aparición de fosfenos visuales y vértigo. Este modelo podría emplearse también para investigar los campos y las corrientes generadas por los movimientos de la cabeza y el ojo en un campo magnético estático. Este conocimiento es de especial importancia dado que en resonancia magnética intervencionista, la reducción de los movimientos de la cabeza de los cirujanos -para evitar vértigo- puede requerir, en contraposición, un mayor movimiento de los ojos, con la consiguiente aparición de fosfenos.

También se considera importante realizar simulaciones que utilicen un modelo detallado del corazón incluyendo las patologías cardíacas comunes. Dicho modelo debería incluir la microarquitectura del corazón, la estructura del sistema vascular dentro del corazón que pudieran alterar los campos y corrientes e influenciar la generación de los ritmos de los marcapasos y la propagación de la despolarización. Además, son necesarios cálculos detallados para estimar la magnitud y la distribución espacial de las corrientes inducidas en el corazón como consecuencia de exposiciones de campo y gradiente de campo en diferentes orientaciones espaciales.

Aunque hay una resistencia a utilizar resonancia magnética de alto campo en mujeres embarazadas, la propia OMS reconoce que la tendencia podría cambiar, por lo que sería aconsejable llevar a cabo estudios de modelización que investiguen las corrientes inducidas en feto por el movimiento materno o del propio feto en campos magnéticos altos o de gradiente.

CONCLUSIONES

La exención de los límites de exposición ocupacional frente a CEM en la práctica clínica de Resonancia Magnética implica la necesidad de un esfuerzo adicional por parte de los expertos en Protección frente a Radiaciones No-Ionizantes, para aumentar la formación de los trabajadores expuestos y establecer mecanismos que garanticen la correcta aplicación

y armonización de las medidas de protección en un entorno controlado. Se constata, por otra parte, la necesidad de desarrollar grupos y proyectos de investigación en este campo.

REFERENCIAS

- [1] Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council 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) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) Diario Oficial de la Unión Europea de fecha 24.05.2004 L 184/1-9; 2004.
- [2] Directive 2008/46/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2008 amending Directive 2004/40/EC on minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) Diario Oficial de la Unión Europea de fecha 26.04.2008 L 114/88-89; 2008.
- [3] International Commission on Non-Ionising Radiation (ICNIRP) Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys 74: 494-522; 1998;
- [4] Riches SF, Collins DJ, Scuffham JW, Leach MO. EU Directive 2004/40: field measurements of a 1.5 T clinical MR scanner. Br J Radiol 80, 483-487; 2007
- [5] Keevil SF, Gedroyc W, Gowland P, Hill D, Leach MO, Ludman CN, et al. Electromagnetic field exposure limitation and the future of MRI. Br J Radiol 78:973-975; 2005
- [6] Liu F, Crozier S. Numerical evaluation of the fields induced by body motion in or near high-field MRI scanners. Prog Biophys Mol Biol 87:267-278; 2005
- [7] Capstick M, McRobbie D, Hand J, et al. Project VT/2007/017. An Investigation into Occupational Exposure to Electromagnetic Fields for Personnel Working with and around Medical Magnetic Resonance Imaging Equipment. Ed. Foundation for Research on Information Technology in Society - Imperial College London; 2008.
- [8] European Commission. Consultation of social partners. Second stage of consultation of the social partners on the protection of workers from the risks related to exposure to electromagnetic fields at work. Brussels, 20.5.2010 C(2010)3250 final.
- [9] World Health Organization. Environmental Health Criteria 232. Static fields. Geneva: World Health Organization; 2006.
- [10] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Publication – 2009. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields Published in: Health Physics 96(4):504-514; 2009.
- [11] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Publication –2010. ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz) Published in: Health Physics 99(6):818-836; 2010.
- [12] Dutch MRI Working Group. Using MRI safely – practical rules for employees. Ministry of Social Affairs and Employment. National Institute for Public Health and the Environment. The Netherlands; 2010.
- [13] European Commission. Proposal for a Directive of the European Parliament and of The Council on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (XXth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC; draft). Fecha prevista para la publicación del texto definitivo: abril de 2012.
- [14] Yee KS. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. IEEE Trans. AP, 1996; 14, 302-307 (1996)
- [15] Sullivan DM, Broup DT and Gandhi OP. Use of Finite-difference time-domain method in calculating EM absorption in human tissues IEEE Trans Biomed Eng. 34, 148-157; 1987

Protección radiológica en exposición ocupacional a microondas en unidades de electroterapia

V. Guàrdia, S. Ferrer, O. Alonso y M. Almonacid

GESPREM (Gestión en Seguridad y Protección Electromagnética). Puerto de Sagunto. Valencia

RESUMEN

En los últimos años el uso de emisores electromagnéticos para tratamientos terapéuticos se ha impuesto en los centros de electroterapia. Este uso ha causado preocupación entre trabajadores que creen que la radiación de microondas podría tener efectos similares a los inducidos por la radiactividad, si bien sólo los efectos térmicos de las microondas son reconocidos por los organismos reguladores internacionales como potencialmente nocivos. El objetivo del presente estudio es dar respuesta a la preocupación sobre la exposición electromagnética en instalaciones de electroterapia. Tras monitorizar los valores ambientales en un centro de electroterapia, se concluye que es necesario aplicar estrategias de reducción de los niveles de exposición, según lo propuesto por las actuales directrices europeas, que en el presente año deberán trasponerse a la legislación de los estados miembros de la UE. A fin de minimizar los riesgos de sobreexposición ocupacional, estamos desarrollando tejidos innovadores para apantallamiento de microondas. Estos nuevos materiales son capaces de atenuar 85% de la radiación electromagnética. Como se trata de un material ligero, puede ser utilizado en todo tipo de instalaciones, como cubiertas de paredes, pantallas móviles o incluso para protección personal, como batas o guantes.

ABSTRACT

During the last years, electromagnetic emitters are more and more commonly used for therapeutic treatments in electrotherapy centres. This extended use has caused worries among workers, who believe that microwave radiation might have effects similar to those induced by radioactivity, even if the only effects recognised by international regulatory bodies concerning microwave exposure of humans are those of thermal origin. The present study aims to answer the existing concerns about electromagnetic exposure in electrotherapy facilities. After monitoring environmental values in an electrotherapy facility, we conclude that actions must be undertaken in order to reduce the exposure levels, as proposed by the current European Guidelines, which should become legally binding for all EU state members within the current year. With the purpose of reducing potential risks of occupational overexposure, we are developing innovative fabrics for microwave shielding. These new materials are able to attenuate 85% of the microwave radiation. As these are light materials, they can be used in all kind of facilities, as wall covers, movable screens or even as personal protection, like lab clothes or gloves.

INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años es patente el uso terapéutico cada vez mayor de emisores de radiaciones no ionizantes en centros de electroterapia. Se incluyen en este grupo equipos cuyas frecuencias de emisión de radiación electromagnética son de 27 MHz y 2,45 GHz principalmente. El uso cada vez mayor de estos equipos ha originado una cierta inquietud entre el personal que trabaja en este tipo de instalaciones. Los motivos que la originan son diversos y variados, pero principalmente se englobarían en el mismo contexto que el uso de otro tipo de equipos generadores de emisiones de radiaciones electromagnéticas de efectos ionizantes, como los rayos X o la radiación gamma, que tienen una energía mayor.

Algunas de las patologías asociadas a las radiaciones ionizantes son de tipo canceroso. Sin embargo en el caso de emisiones en el rango de las microondas, su energía no es suficiente para ionizar y, por tanto, si pudieran inducir patologías de tipo canceroso, el mecanismo implicado, que de momento no está identificado, sería otro. En consecuencia, los criterios de protección aceptados frente a las emisiones de microondas, son aquellos cuya base es exclusivamente de origen térmico.

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES DE MICROONDAS

Como resultado de una amplia labor investigadora basada en experimentación animal, en modelos humanos artificiales, o en estudios epidemiológicos de personas expuestas, la literatura científica cita diversos efectos producidos en los seres vivos que se exponen a campos electromagnéticos (CEM) de microondas y que se clasifican, según su origen, en efectos térmicos y efectos no térmicos.

Efectos térmicos

Los principales son: hipertermia, quemaduras, cataratas y esterilidad. La absorción de la energía electromagnética por los tejidos y su inmediata conversión en calor produce incrementos de temperatura en el interior del cuerpo. A diferencia de una exposición a radiaciones solares o de infrarrojos en que el calor se genera en la superficie, en una exposición a microondas, debido a su poder penetrante, el calor se genera en los tejidos profundos. Si estos incrementos de temperatura no pueden ser compensados por los mecanismos de termorregulación corporales, como son la disipación del calor a través de la vascularización interna y de la evaporación del sudor,

se produce la hipertermia y el estrés térmico. Así, en el hombre y en los animales son especialmente sensibles a los efectos térmicos las partes transparentes de los ojos, que por su bajo riego sanguíneo disipan muy mal el calor. De hecho, los estudios sobre trabajadores en ambientes térmicos agotadores han mostrado el empeoramiento en la ejecución de tareas simples conforme la temperatura del cuerpo se eleva a un nivel que se acerca al estrés de calor fisiológico [1]. En la actualidad se admite que niveles de hipertermia superiores a 1°C pueden provocar efectos nocivos sobre la salud de personal expuesto. Y es ese el valor de incremento térmico tomado como referencia para la protección frente a radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia y microondas.

Efectos no térmicos

Ciertos trastornos se observan sin que medie un incremento significativo de temperatura, por lo que se les atribuye un origen no térmico o subtérmico. Estas respuestas deben ser estudiadas en detalle, si bien, dada su naturaleza, han sido interpretadas como reacciones fisiológicas normales ante un estímulo físico y no se las ha considerado relevantes desde un punto de vista patológico. No obstante, algunos estudios en grupos expuestos a CEM pulsados han reportado potenciales daños severos en la retina de los sujetos expuestos. Sin embargo, tales observaciones no han sido confirmadas por otros estudios. También, algunos datos epidemiológicos en ambientes ocupacionales mostraron indicios de potenciales efectos adversos sobre la salud [2-4]. Estos trabajos se enfocaron preferentemente en posibles incrementos de riesgo de cáncer en trabajadores y en efectos sobre el desarrollo embrionario (aborto, pérdida fetal, teratogénesis o problemas perinatales) en mujeres fisioterapeutas que trabajaron con microondas u onda corta durante su embarazo. En estos estudios no siempre pudo establecerse una correlación entre el efecto y la dosis de radiación recibida. Y, dado que la carencia de nuevos estudios en la materia no ha permitido confirmar las observaciones descritas arriba, existe un consenso general sobre la necesidad de que los conocimientos en este terreno sean ampliados en un futuro inmediato.

El marco regulatorio

La Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril 2004 [5] trata sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos). Se refiere al riesgo para la salud y la seguridad de los trabajadores debido a los efectos negativos a corto plazo conocidos, causados en el cuerpo humano por la circulación de corrientes inducidas y por la absorción de energía, así como por las corrientes de contacto. Según ese documento, la observancia de los valores límite de exposición y de los "valores que dan lugar a una acción" propuestos por

la directiva proporciona un elevado nivel de protección contra los efectos para la salud conocidos que pueden derivarse de la exposición a campos electromagnéticos. Por "valores que dan lugar a una acción" y aplicado a las microondas, se entiende aquella medida de intensidad de campo eléctrico ante la cual debe tomarse una o más medidas especificadas en la directiva. El respeto de estos valores garantizará la conformidad con los correspondientes valores límite de exposición.

Esta directiva tenía como fecha máxima de transposición a los estados miembros, el 30 de abril de 2008. En 2006, la comunidad médica manifestó a la comisión su preocupación por la aplicación de dicha directiva, alegando que los valores límite de exposición en ella establecidos restringirían de forma desproporcionada la utilización y el desarrollo de las aplicaciones médicas de la resonancia magnética, considerada actualmente una herramienta imprescindible en el diagnóstico y el tratamiento de varias enfermedades. Posteriormente, otros sectores industriales también manifestaron su preocupación por la incidencia de la directiva en sus actividades.

Ante estas preocupaciones, la comisión adoptó una serie de medidas. Para que la comisión tuviera tiempo de analizar en profundidad la incidencia y de proponer modificaciones, se pospuso el plazo de transposición de la Directiva del 30 de abril de 2008 al 30 de abril de 2012, mediante la Directiva 2008/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2008 [6], por la que se modifica la Directiva 2004/40/CE, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos). Sin embargo, debido a: 1) la complejidad técnica del asunto de que se trata, que requiere largas discusiones con los expertos nacionales, y 2) a la gran divergencia de puntos de vista sobre algunas disposiciones clave de la propuesta, no es fácil que el Parlamento Europeo y el Consejo puedan finalizar el proceso de adopción antes del 30 de abril de 2012.

Materiales, métodos y resultados

Con el objetivo de dar respuesta a las inquietudes que la exposición a emisiones de microondas produce en el personal que trabaja en las unidades de electroterapia, se ha realizado un estudio para cuantificar su nivel de exposición, así como para evaluar cuánto atenúa dichas emisiones un tipo de material de nuevo diseño. Este nuevo material tiene una serie de propiedades, entre las cuales destaca su bajo peso, fácil manejo y sobre todo la posibilidad de formar parte de blindajes móviles.

Monitorización en centros de electroterapia

A) Equipamiento

Para estimar los niveles de campo existentes en salas con equipos de electroterapia se han utilizado dos equipos de medida



según el tipo de monitorización. Las características de los equipos de monitorización ambiental (Figura 1) y de monitorización personal (Figura 2), así como los correspondientes parámetros de monitorización se resumen en las Tablas I y II, respectivamente:

La Figura 3 muestra un croquis de la sala objeto de estudio, con la disposición de los equipos de emisión de radiaciones: un emisor de onda corta (SW) a frecuencia 27 MHz y dos emisores de microondas (MW) a frecuencia 2,45 GHz con potencia máxima de 600 W. Durante una jornada laboral, y según la carga de trabajo, puede darse emisión por parte de un solo equipo, de dos o de los tres simultáneamente.



Figura 1. Medidor de radiación ambiental

B) Procedimientos

1) Monitorización ambiental

En este caso se colocó la sonda en un punto equidistante a ambos equipos de 2,45 GHz y a una distancia de 1,80 metros. Este punto se estimó que era uno de los que podía tener una mayor ocupación por parte del personal de la instalación y, además, se daba en él una interferencia constructiva de las señales provenientes de los dos equipos. Se tomaron medidas cada 15 segundos desde las 8.00 h a las 14.00 h. La gráfica con los valores obtenidos (Figura 4) revela que a lo largo del periodo monitorizado se registraron niveles que superaron los valores del 75% (103 V/m) y del 50% (69 V/m) del valor propuesto por la Directiva 2004/40/CE. Es más, en algunos momentos se superó el valor de 137 V/m, que "da lugar a una acción", según la citada directiva.

2) Monitorización personal

En este caso se realizó una monitorización de un trabajador expuesto durante su jornada laboral, a lo largo de cuatro días. El dosímetro se colocó a la altura del pecho. Los valores de campo registrados cada minuto se ilustran en la Figura 5. El equipo de monitorización personal no muestra los valores absolutos de campo, sino que según la frecuencia de la emisión detectada, indica el porcentaje sobre un valor de referencia establecido en el estándar ICNIRP 1998 Ocupacional, que coincide con el adoptado por la Directiva Europea de 2004, citada anteriormente. En las gráficas se muestra con una línea continua el valor del 100% para la exposición a CEM de la frecuencia considerada.

Medidor de radiación de la marca Narda, modelo EMR-300 con las siguientes características:

Método de medida:	..... Digital, triaxial
Direccionalidad:	..... Isotrópica, triaxial
Selección rango medida:	..... Rango continua, rango dinámico >60dB
Resolución de medida:	..... 0,01 V/m; 0,0001 A/m
Tiempo de establecimiento:	..... tip. 1s (0 a 90% del valor medido)
La sonda utilizada ha sido la denominada Tipo 8 (n/s AF-0020) de características:	
Tipo sensor:	..... campo eléctrico (E)
Rango de frecuencia:	..... 100 kHz a 3 GHz
Rango especificado de medida:	..... 1 a 800 V/m (0,0027 a 1700 W/m ²)
Error absoluto a 27,5 V/m y 27,12 MHz:	..... ±1,0 dB
Linealidad ref. a 27,5 V/m y 27,12 MHz:	..... ±3,0 dB para 1 a 1,5 V/m y ±1,0 dB para 2,5 a 800 V/m
Desviación de isotropía:	..... tip. ± 1,0 dB para f>1MHz (para sonda y unidad medida)

Tabla I: Equipo para monitorización ambiental

Dosímetro personal marca Narda, modelo RadMan XT. Inmune a bajas frecuencias.

Rango de medidas	..... 27 Mz ~ 40 GHz
Estándar:	..... ICNIRP 1998. Ocupacional

Tabla II: Equipo para monitorización personal



Figura 2. Dosímetro personal

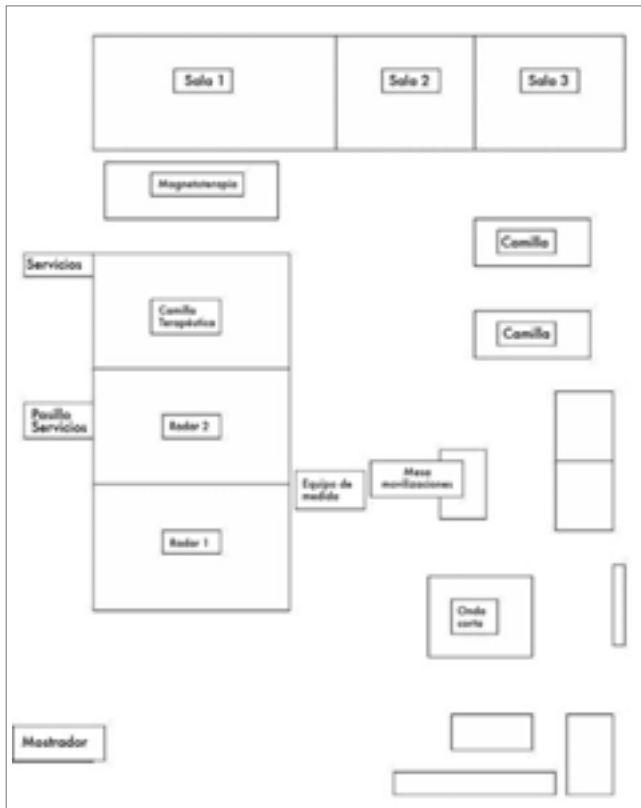


Figura 3. Esquema de la sala donde se realizaron las mediciones

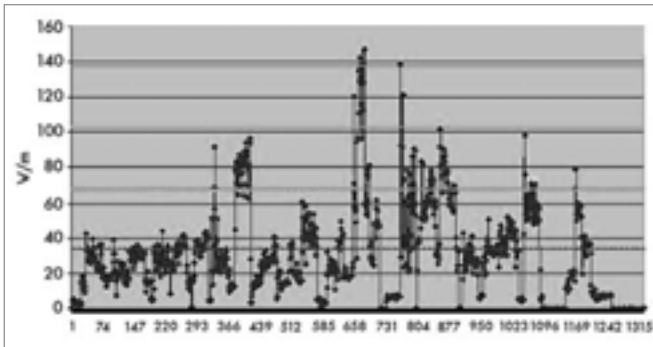


Figura 4. Medidas ambientales de exposición a dos equipos emisores de CEM de 2,45 GHz durante una jornada laboral

Discusión de los resultados. Medidas de prevención

Evidentemente los valores medidos dependerán de la disposición y número de equipos, potencias de emisión, carga de trabajo, etc. En las condiciones en que se realizó el presente estudio, ambos tipos de monitorización revelan que existe una superación instantánea o reiterada, según los casos, de los niveles que la Directiva Europea de 2004 define como valores que dan lugar a una acción. Esto implica una recomendación (y previsiblemente en el futuro, una obligación) de implementar un sistema de prevención para los trabajadores en centros de fisioterapia contra los riesgos originados por el uso de equipos generadores de radiaciones no ionizantes para aplicaciones terapéuticas.

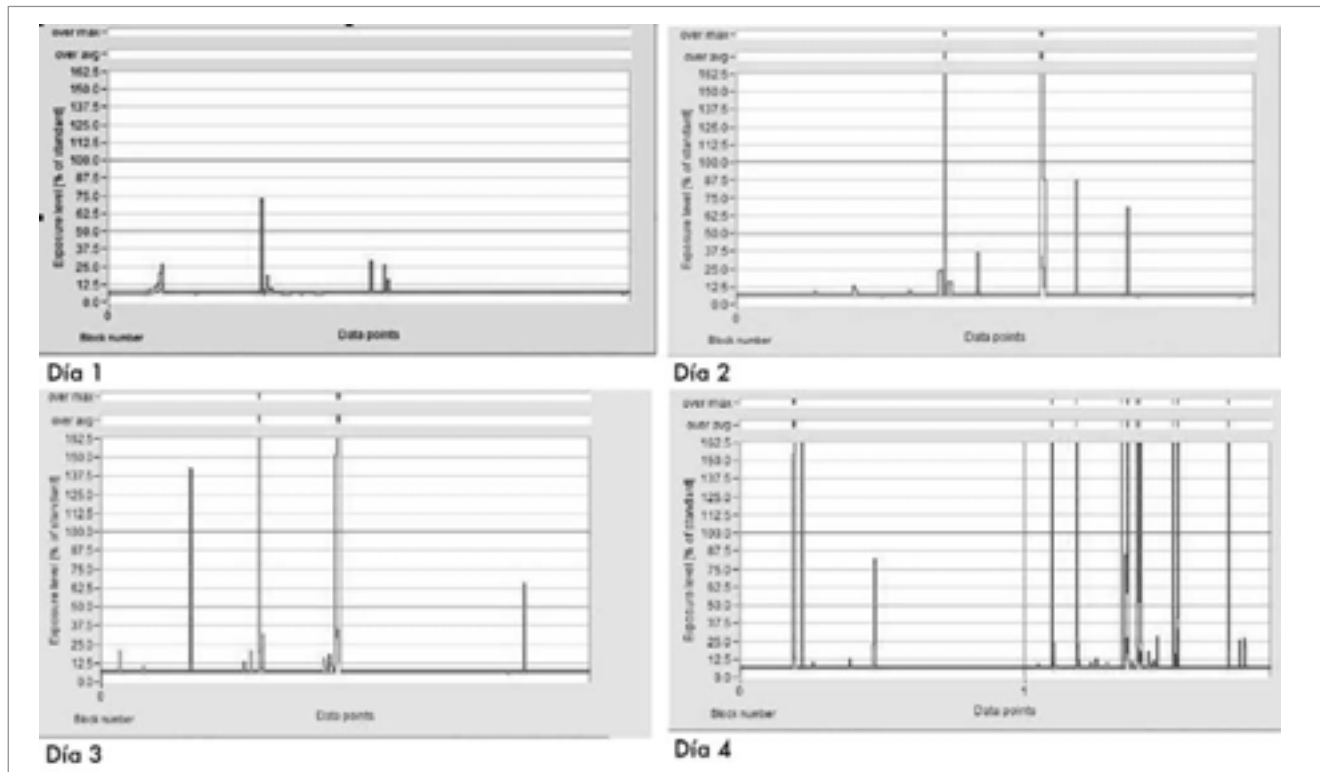


Figura 5. Datos de monitorización personal de un mismo trabajador, a lo largo de cuatro jornadas laborales.



Un programa básico de prevención contemplaría, entre otras, estrategias como:

- Incremento de la distancia entre el puesto de trabajo habitual y la fuente emisora de MW,
- Conocimiento por parte del trabajador de las tareas a desempeñar, así como de las características de las emisiones y de sus niveles en su área de trabajo, y entrenamiento en estrategias de protección radiológica redirigidas a reducir el tiempo de exposición,
- Sistemas de bloqueo y alarmas en los equipos emisores, a fin de evitar que se rebasen los límites o los niveles que dan lugar a una acción,
- Búsqueda de una geometría de los espacios y de la ubicación de los equipos, que reduzca al mínimo la exposición en puntos de mayor ocupación laboral,
- Investigación en el diseño de materiales que supongan un blindaje con óptima eficiencia en la minimización de la exposición de los trabajadores.

Diseño de blindajes

En lo que concierne a la última de las estrategias propuestas en el apartado anterior, existe un conjunto de materiales novedosos diseñados para minimizar el riesgo de sobreexposición a radiaciones de microondas. Así, nuestro equipo ha realizado pruebas con diferentes hilaturas y con materiales de alta conductividad. También hemos experimentado con diferentes modos de cosido de la fibra para obtener un material de alta atenuación en el campo de las microondas. Al final se ha obtenido una tela con un relativo bajo coste de fabricación y que es maleable. Ello permite que este material pueda utilizarse para batas, guantes, recubrir paredes, muros, mamparas portátiles, etc. Es perfectamente asequible y permite recubrir toda una sala o recintos de mayor superficie, atenuando considerablemente la radiación de microondas que pueda entrar y/o salir de la zona tratada.

Con este diseño de blindajes se han obtenido atenuaciones significativas de los campos electromagnéticos, que en ocasiones pueden llegar hasta el 60%, tal como se muestra en la Tabla III, que ilustra los resultados de un ensayo típico. Con estos valores de atenuación no sólo se consigue cumplir con la Directiva Europea para los valores de campo registrados, sino que, además, se reducen los valores de campo para

Ensayo	valor máximo de pico V/m	valor promedio V/m
Sin atenuación	102	72,46
Con atenuación	36,95	31,27
% Atenuación	64,06%	56,85%

Tabla III. Ejemplo de atenuación de una emisión de 2.45 GHz mediante el uso de un panel de dimensiones 1,5 x 1,5 metros del material diseñado por nuestro equipo.

otras frecuencias en el rango de las microondas, con lo que se minimiza significativamente la exposición y, por tanto, los riesgos que esta pueda conllevar. Es lo que podría considerarse la aplicación de un criterio de exposición ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) para radiaciones no ionizantes.

CONSIDERACIONES FINALES

Este trabajo pretende dar una respuesta a una serie de inquietudes planteadas en el contexto específico del uso de radiaciones de microondas en instalaciones de electroterapia. De los datos obtenidos en las monitorizaciones se desprende que como mínimo, es necesaria una actuación para reducir la exposición y ajustarse a la presente directiva europea. Una directiva que supuestamente deberá trasponerse como ley y normativa de obligado cumplimiento en los países miembros de la Unión Europea en el curso del presente año.

Aunque el material atenuador de la radiación diseñado por nuestro equipo permite una reducción significativa de la exposición, actualmente se están elaborando telas con una composición similar, pero cuya hilatura y la forma de tejido permiten conseguir mejores atenuaciones, aproximadamente de un 85%. Sin embargo, aún queda camino por recorrer, por lo que es preciso continuar investigando con otros materiales que ofrezcan un mejor rendimiento y, además, sean aplicables a un mayor rango de frecuencias. Todo ello con vistas a una aplicación más extensa de la protección radiológica en el campo de la electromedicina y la electroterapia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ramsey J.D., Kwon Y.G. Recommended Alert Limits for Perceptual Motor Loss in Hot Environments. *Internatnl J. Industr. Ergonomics* 9: 245-57; 1992
- [2] Taskinen H, Kyyrönen P, Hemminki K. Effects of Ultrasound, Shortwaves and Physical Exertion on Pregnancy Outcome in Physiotherapists. *J. Epidemiol. Community Health* 44: 196-201; 1990
- [3] Larsen A.I. Congenital Malformations and Exposure to High-Frequency Electromagnetic Radiation Among Danish Physiotherapists. *Scand. J. Work Environ. Health*. 17: 318-23; 1991
- [4] Ouellet-Hellstrom R, Stewart WF. Miscarriages Among Female Physical Therapists who Report Using Radio- and Microwave-Frequency Electromagnetic Radiation. *Am. J. Epidemiol.* 138: 775-86; 1993
- [5] Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos). <http://eur-lex.europa.eu/>
- [6] Directiva 2008/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2008, por la que se modifica la Directiva 2004/40/CE, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos). <http://eur-lex.europa.eu/>

Objetivos y estado actual del estudio Mobi-Kids

E. Cardis^{1,2,3} y C. Eastman^{1,2,3} en nombre del Consorcio Mobi-Kids

¹Centre for Research in Environmental Epidemiology (CREAL)

²IMIM (Hospital del Mar Research Institute)

³CIBER Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP)

RESUMEN

El incremento del uso de móviles en jóvenes genera inquietud sobre posibles efectos de las radiofrecuencias (RF) sobre la salud. Mobi-Kids, un estudio internacional coordinado por Creal, Barcelona, se está llevando a cabo en 15 países para evaluar la relación entre exposición en niños y adolescentes a Campos Electromagnéticos (CEM) procedentes de tecnologías de comunicación (RF y campos de muy baja frecuencia - ELF) y el riesgo de tumores cerebrales. Se prevé reclutar más de 2.000 casos de tumores en sujetos de 10 a 24 años y sus respectivos controles (300 casos y 600 controles en España). Mobi-Kids cuenta con la experiencia metodológica del proyecto Interphone. Se toman sujetos control de origen hospitalario para prevenir sesgos de selección relacionados con la baja participación de controles poblacionales. Se realizará la validación de respuestas utilizando datos de operadores de telefonía móvil para cuantificar posibles sesgos de recuerdo. Se está realizando un trabajo importante para caracterizar y modelizar la exposición a campos ELF y RF emitidos por teléfonos móviles e inalámbricos, sistemas de comunicación y otras fuentes ambientales de CEM. El estudio aborda un problema de salud pública de importancia creciente en España y proporcionará información sobre posibles riesgos sanitarios relacionados con el uso de teléfonos móviles y con CEM en general.

ABSTRACT

The rapid increase in mobile phone use in young people has generated concern about possible health effects of exposure to radiofrequency (RF) fields. Mobi-Kids, an international study coordinated by CREAL, Barcelona, is underway in 15 countries to assess potential effects of childhood and adolescent exposure to electromagnetic fields (EMF) from mobile communications technology (RF and extremely low frequency (ELF) fields) on brain tumour risk. The study aims to recruit over 2,000 cases of brain tumours aged 10 to 24 years and their respective controls (300 cases and 600 controls from Spain). The project builds upon the methodological experience of the INTERPHONE study. Hospital based controls are being selected to reduce potential selection bias related to low response rates of population-based controls; validation of questionnaire responses with records from network operators will allow characterization of possible recall errors. Extensive work has gone into characterising and modelling ELF and RF exposure from different types of mobile and cordless phones, from different communication systems, and from other environmental sources of EMF. The study will address a public health problem of increasing importance in Spain and provide information on potential health risks from mobile telephone use as well as from EMF in general.

INTRODUCCIÓN

El uso de teléfonos móviles ha aumentado considerablemente en muchos países desde que se introdujo por primera vez a mediados de los años ochenta. Una de las principales preocupaciones de la última década ha sido el aumento drástico de uso en adolescentes y, más recientemente, en niños. Si existe un riesgo de desarrollar un tumor cerebral relacionado con la exposición a CEM, se presume que este riesgo puede ser mayor en el caso de jóvenes: su sistema neurológico, todavía en fase de desarrollo, puede ser más sensible a los efectos de CEM; sabemos que por la misma exposición, la tasa de absorción específica (TAE) en las zonas más expuestas del cerebro tiende a ser mayor en niños

que en adultos por razones anatómicas (el cráneo y la oreja son más delgados y la antena del teléfono está entonces más cerca de parte externa del cerebro) [1]; la distribución espacial de la energía de CEM en distintas zonas anatómicas del cerebro puede ser distinta en niños y adultos; y dado que el uso de teléfonos móviles empieza más temprano en niños y adolescentes, y este uso (sobre todo en adolescentes) es mayor que en adultos, los jóvenes tendrán una exposición acumulada a CEM mucho más alta durante su vida que aquellos que comenzaron a utilizar teléfonos móviles en edades más avanzadas.

En respuesta a estas preocupaciones, varios organismos nacionales e internacionales han recomendado estudios de

exposición en niños y adolescentes, puesto que están considerados dentro de las áreas de mayor prioridad para la investigación de RF. Entre estos organismos se incluyen el proyecto internacional CEM de la Organización Mundial de la Salud [2], el proyecto EMF-NET financiado por la UE [3] y el Consejo de Investigación Nacional de los EEUU [4]. Asimismo, un gran número de programas nacionales de investigación sobre los CEM han definido este tema como una prioridad.

ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

Tumores cerebrales en jóvenes

Tras la leucemia, los tumores cerebrales constituyen la segunda enfermedad neoplásica más frecuente en jóvenes. La incidencia de estos tumores se ha visto incrementada recientemente. A pesar de que la supervivencia ha mejorado, la prevención de los tumores cerebrales es un objetivo importante. Los factores de riesgo de esta enfermedad son poco conocidos [5]. Se sabe que algunos factores, como la exposición a radiación ionizante y los antecedentes familiares, incrementan el riesgo de desarrollar dicha patología. Otros factores medioambientales (en particular la exposición a agentes químicos –como el plomo– la alimentación durante el embarazo o la exposición a CEM, y el uso de los móviles) pueden estar relacionados con los tumores cerebrales.

El Estudio Cefalo [6], es el único estudio caso-control publicado hasta ahora que investiga la relación entre uso de teléfonos móviles y riesgo de tumores cerebrales en jóvenes (de 7 a 19 años de edad). Este estudio, que incluyó 352 casos diagnosticados entre 2004 y 2008 en cuatro países, y 646 controles apareados, no encontró evidencia de un aumento de tumores cerebrales relacionados con la duración o la cantidad de uso de móviles. El estudio, sin embargo, fue ejecutado en un periodo en que el uso de móviles todavía era poco frecuente entre los jóvenes. Solo incluye 52 casos que habían utilizado móviles durante más de tres años; la mediana de años de uso de teléfonos móviles en los participantes era de 2,7 y la mediana de horas de uso en la vida, de 35. Además el estudio incluye personas bastante jóvenes, con una mediana de edad de 13 años, edad en que, en la época en que fue realizado el estudio, el uso en niños era muy restringido. Por estas razones, y porque la mayoría de las estimaciones de riesgo relativo están por encima de uno (lo que sugiere un posible sesgo) es difícil interpretar los resultados de Cefalo y se necesitan más estudios.

Uso de móviles – historial

A pesar de que los teléfonos móviles empezaron a utilizarse a principios de la década de 1980, no se hicieron

populares hasta los años 90. Los primeros modelos eran caros y voluminosos. Se trataba sobre todo de teléfonos de bolso o de coche, con antena lejos de la cabeza, que utilizaban bandas de frecuencias bajas (principalmente alrededor de 450 MHz). En 1992 se introdujo en Europa y muchos otros países la segunda generación de teléfonos móviles, *Global System for Mobile* (GSM), que utilizan frecuencias más altas (800-900 MHz y 1800-1900 MHz) [7]. El coste de las llamadas bajó rápidamente y como consecuencia, la prevalencia de contratos en la población general empezó a incrementar rápidamente, de 5% a 50% entre 1992 y 1996 en algunos países del norte de Europa [8]. La frecuencia de uso de móviles, sin embargo, era bastante baja y en el Estudio Interphone, la cantidad media reportada por los controles entrevistados entre 2000 y 2004 era de 100 horas en toda su vida, y entre dos horas y dos horas y media al mes [9]. En los últimos años la prevalencia de uso ha ido creciendo sobre todo en jóvenes. Actualmente se estima en 4,6 mil millones de usuarios en el mundo [10], y la frecuencia de uso aumentado mucho con la caída de los precios de los contratos, de forma que hoy es corriente ver jóvenes que utilizan el móvil una hora o más al día.

Efectos de las RF sobre el riesgo de tumores cerebrales

Los posibles efectos sanitarios de las RF han sido revisados en los últimos años por una serie de comités nacionales e internacionales [11–14]. En mayo de 2011, un grupo de expertos de la Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), realizó la revisión crítica más exhaustiva hasta ahora de la literatura científica sobre el tema y clasificó las RF como “posiblemente carcinógenos para humanos - 2B” [15].

Uno de los estudios principales que contribuyó a esta clasificación es el Estudio Multicéntrico Interphone [9,16–18], un estudio multinacional de casos y controles, financiado parcialmente por el 5º Programa Marco de la UE, para investigar si el uso del teléfono móvil aumentaba el riesgo de cáncer y, específicamente, si las RF que emiten los móviles son cancerígenas. El estudio siguió un protocolo común y se llevó a cabo en Alemania, Australia, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Israel, Italia, Japón, Nueva Zelanda, Noruega, Suecia y Reino Unido. El estudio se centró en los casos diagnosticados a una edad de entre 30 y 59 años (el rango de edad en el que la prevalencia del uso de teléfonos móviles era más alta en los 5-10 años antes del inicio del estudio) y, en la mayoría de los países, se restringió a las áreas urbanas más extensas, ya que eran las zonas donde primero se utilizaron los móviles. La identificación de casos

se llevó a cabo durante un periodo de dos a tres años, según el país, entre 2000 y 2004.

Interphone incluyó unos 2.600 gliomas, 2.400 meningiomas, 1.100 neurinomas acústicos y 400 tumores de glándula parótida, así como sus respectivos controles. Se observó una reducción del Odds Ratio (OR) –una medida del riesgo relativo de desarrollar una enfermedad en personas expuestas comparadas con personas no expuestas– entre los usuarios regulares, y no había incremento del riesgo para el uso de diez años o más. La mayoría de los OR para distintas medidas de uso estaba por debajo de uno. Estos resultados se han atribuido a posibles sesgos de participación o a otras limitaciones metodológicas. A pesar de la falta de evidencia de una relación dosis-respuesta, se encontró un aumento del OR para el glioma (1,40, IC 95%: 1,03 a 1,89) y el neurinoma del acústico, entre los sujetos que hicieron mayor uso del móvil (≥ 1640 horas de uso en la vida). Estos OR eran más elevados en el lado de la cabeza donde los participantes utilizaban el móvil (OR para glioma 1,96; IC 95% 1,2 a 3,2) y, para el glioma, para los tumores en el lóbulo temporal (1,87; 1,1 a 3,2) - la zona anatómica del cerebro con mayor absorción de RF emitidas por los móviles [19].

También se han llevado a cabo recientemente análisis más detallados, utilizando datos de cinco de los países, que se centraron en una estimación de la dosis de RF absorbida en la localización del tumor y en el análisis del efecto de la exposición a RF en esta localización [7, 18]. En estos análisis se encontró una relación dosis-respuesta para glioma en los participantes que habían utilizado el teléfono más de siete años antes de la fecha de diagnóstico [18]. Aunque estos resultados sugieren una asociación entre las RF y el riesgo de glioma y de neurinomas acústicos, posibles sesgos y errores típicos de estos tipos de estudios epidemiológicos impiden actualmente una conclusión definitiva de causalidad.

Los participantes en el Estudio Interphone hacían un uso relativamente escaso de sus móviles, comparados con los usuarios actuales: pocos habían usado el teléfono durante más de diez años, y la mediana de tiempo acumulado de llamadas de por vida fue de solo 100 horas. El uso más importante (≥ 1640 horas en la vida) correspondía a unos 30 minutos al día durante diez años [20]. Hoy en día, es relativamente frecuente que el móvil se una hora o más al día, especialmente entre los jóvenes.

Una de las limitaciones del Estudio Interphone es que no recopilaba información sobre el riesgo de la exposición en jóvenes, puesto que el uso de los móviles por parte de los niños y adolescentes todavía era bajo en el momento en que empezó el estudio.

MÉTODOS

El objetivo principal de Mobi-Kids es cubrir este campo no abordado por Interphone, es decir evaluar la posible relación entre la exposición en niños y adolescentes a campos electromagnéticos procedentes de tecnologías de la comunicación y el riesgo de desarrollar un tumor cerebral.

Debido a que los tumores cerebrales en niños, adolescentes y jóvenes son poco frecuentes, y debido a que el efecto de la exposición a los CEM de los teléfonos móviles, si existe, es probablemente débil, los estudios en países individuales por lo general carecen de potencia estadística para evaluar la posible relación entre estas exposiciones y el riesgo de tumores cerebrales. Solo estudios multinacionales a gran escala, con una cuidadosa evaluación de la exposición y esfuerzos importantes para evitar y caracterizar posibles sesgos, serán capaces de permitir una evaluación del riesgo de tumores relacionado con CEM emitidos por teléfonos móviles y otras tecnologías de comunicación.

Mobi-Kids es un estudio colaborativo internacional que se está realizando en 15 países (Alemania, Australia, Austria, Canadá, Corea, España, Francia, Grecia, India, Israel, Italia, Japón, Nueva Zelanda, Países Bajos y Taiwán) con un protocolo común (www.mbkds.net). El estudio está coordinado por el Creal, Barcelona, con financiación de la Unión Europea y con financiación complementaria procedente de fuentes nacionales y locales de muchos de los países participantes. En España el estudio se está realizando en cuatro comunidades autónomas (Andalucía, Cataluña, Madrid y Valencia) y cuenta también con financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación, del Instituto de Salud Carlos III y con unas becas de investigación al nivel de las comunidades autónomas.

Mobi-Kids incluirá más de 2.000 casos de tumores malignos o benignos diagnosticados en sujetos de 10 a 24 años (Tabla 1) y cuenta con la experiencia metodológica del proyecto Interphone.

Se está prestando una atención particular a problemas de posibles sesgos de selección relacionados con tasas de respuesta muy bajas de controles poblacionales, así como a posibles errores y sesgos de memoria. Asimismo, se está realizando un trabajo importante para caracterizar y modelizar exposición a ELF y RF emitidas por teléfonos móviles e inalámbricos, sistemas de comunicación y otras fuentes ambientales de CEM.

Población de estudio

La población de estudio está formada por todas las personas (hombres y mujeres) de entre 10 y 24 años que residen en las regiones de estudio en los países participantes. La



País	Nº de casos estimados	
	Por año	Total
Alemania	125	313
Australia	71	178
Austria	35	86
Canadá	94	234
Corea	50	150
España	125	313
Francia	94	235
Grecia	25	63
India	48	120
Israel	40	120
Italia	68	169
Japón	72	180
Nueva Zelanda	25	63
Países Bajos	63	158
Taiwán	35	100
Total	970	2482

Tabla 1: Distribución de número de casos estimados por país.

restricción del rango de edad de 10 a 24 está ideada para maximizar la información respecto a la evaluación del papel de las exposiciones en niños y adolescentes en la etiología de estos tumores.

Casos: definición e identificación

Se invita a participar a todos los pacientes de 10 a 24 años, con un diagnóstico confirmado de tumor cerebral primario (maligno o benigno), que hayan sido diagnosticados durante el periodo de estudio en las regiones estudiadas. En función de la edad del sujeto, se informa del estudio al propio paciente o a sus padres o tutores; como paso inicial se recoge el consentimiento informado firmado (por ellos mismos o por sus padres/tutores) y, posteriormente, se hace la recogida de información y de muestras.

La identificación de casos debe realizarse con rapidez para que las entrevistas puedan programarse lo más pronto posible después del diagnóstico, con la intención de minimizar la proporción de bajas en el estudio debidas a la progresión de la enfermedad o a fallecimiento. Para la identificación de nuevos casos de tumor cerebral se mantiene un contacto periódico con los departamentos que diagnostican y tratan estos pacientes en los hospitales que participan en cada país.

En todos los casos en los que se haya realizado una intervención quirúrgica o una biopsia, el diagnóstico debe

confirmarse histológicamente. Los casos diagnosticados a partir de imágenes inequívocas también se incluyen en el estudio.

Selección de los controles

En los últimos años se ha puesto de manifiesto un mayor declive en las tasas de participación entre los grupos de control seleccionados entre la población general. La experiencia de Interphone lo ha confirmado con una participación global del 54% de los controles [16]. La posibilidad de que la participación pueda ser selectiva respecto al uso de los móviles complica la interpretación de los resultados del estudio [9,21]. Teniendo en cuenta el rango de edad propuesto en el estudio actual, es probable que el problema de la participación selectiva sea incluso más grave que en el Estudio Interphone. Para minimizar la no participación, los controles se seleccionan de entre los sujetos que hayan sido hospitalizados por apendicitis, una enfermedad frecuente en todo el rango de edad del estudio y que no está relacionada con el uso de los móviles ni con el nivel socioeconómico; por consiguiente, se asegura que los controles sean representativos de la población general de la que proceden los casos.

La selección de los controles se hace de forma paralela a la identificación de casos, y los controles se emparejarán de forma individual con los casos, en función de la edad, el sexo y la región. Se presta especial atención a la hora de seleccionar los controles de la misma población que los casos.

Obtención de información

Se obtiene información a través de los siguientes métodos:

- Se realiza una entrevista a cada sujeto a partir de un cuestionario detallado; si es menor de 13 años, se solicitará la información a su madre, padre o tutor. El cuestionario incluye preguntas sobre uso de tecnologías de comunicación y preguntas generales sobre otros factores de riesgo posibles para tumores cerebrales (detalles sociodemográficos, exposiciones medioambientales, antecedentes personales y familiares de tumores, exposiciones de los padres en los meses antes de la concepción y durante el embarazo, etc.)
- Los registros de operadores de telefonía móvil se utilizarán, con el consentimiento del sujeto, para validar las respuestas al cuestionario en la mayoría de los países.

En algunos países (incluyendo España), además, se solicita la donación de las muestras biológicas: una muestra de uñas de los pies, donde se estudiará la concentración de metales pesados como posible factor de riesgo para estos tumores, y una muestra de saliva para poder estudiar la influencia

de determinadas mutaciones y polimorfismos genéticos en la etiología de los tumores cerebrales en personas jóvenes y su papel como moduladores de los posibles efectos de la exposición a CEM.

También se localizan las imágenes neuro-radiológicas (IRM o TAC) de cada uno de los casos. Un neuro-radiólogo se encargará de revisarlas para identificar la localización tumoral en un *grid* o mallado 3D genérico de la cabeza, el GRIDMASTER (Figura 1), de la misma manera que en el Estudio Interphone, aunque se dispondrá de *grids* distintos en función de las diferentes edades de los sujetos.

A aquellos pacientes (casos o controles) o representantes legales de los mismos que declinen su participación se les hará un breve cuestionario de no respuesta (NRQ), para evaluar si estos sujetos pudieran diferir de los participantes en el estudio en lo que se refiere al uso de móviles y a algunas otras variables [21].

Control de calidad

Para garantizar que la información recogida sea completa y de alta calidad, se llevarán a cabo los siguientes procesos:

- Confirmación del diagnóstico de tumor cerebral por un grupo internacional en un 10% de los casos.
- Confirmación de la localización de los tumores cerebrales por un grupo internacional en un 10% de los casos.
- Validación de los datos del cuestionario.
- Otros estudios de validación, incluyendo la evaluación de la calidad de la información sobre el uso de teléfonos aportada por el propio sujeto, que es la fuente principal de información para la estimación del nivel de exposición RF/ELF. Los estudios de validación se llevarán a cabo comparando la información, proporcionada por el sujeto o por sus padres, de los casos y controles con los registros de los operadores de telefonía móvil, y también con *smartphones* modificados para recoger información sobre tipo de uso (voz, datos), lateralidad y uso en modo manos libres.

SITUACIÓN ACTUAL

La preparación, validación, optimización y finalización de los documentos del estudio (protocolos, cuestionarios) se realizó en 2010, y la mayoría de los países han establecido la infraestructura necesaria para la recogida y validación de datos y la obtención de permisos de comités éticos idóneos (varios cientos de hospitales e instituciones). El trabajo de campo empezó en los primeros países y hospitales a finales de 2010 o principios de 2011, y está previsto continuar hasta principios de 2014.

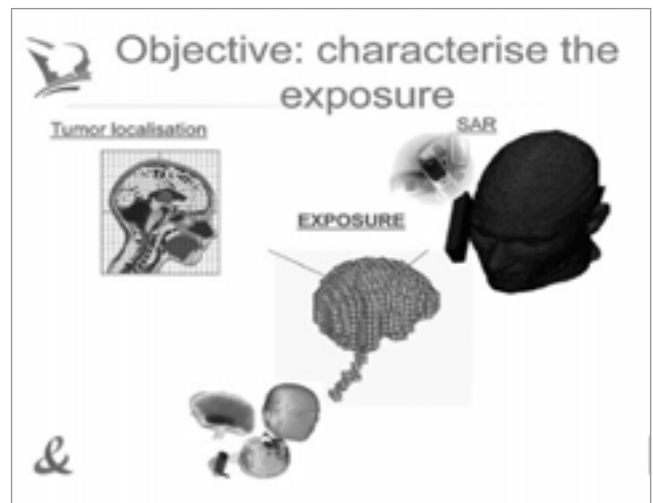


Figura 1: Estimación de exposición en Mobi-Kids – combinación de información sobre localización de tumores y distribución de TAE (SAR) en el cerebro (J. Wiart, 2011).

Se ha realizado un trabajo importante para caracterizar y modelizar la exposición a ELF y RF emitidas por distintos tipos de teléfonos móviles e inalámbricos, y estimar la cantidad de energía absorbida en la localización del tumor (ver Figura 1). Actualmente se encuentra en desarrollo un protocolo para la evaluación de exposiciones profesionales y medioambientales.

En la mayoría de los países se está iniciando el estudio de validación de las informaciones sobre uso de móviles recogidas mediante cuestionario, utilizando datos de los operadores de telefonía móvil. Además, en tres países está en fase piloto un estudio de validación de tipos de uso, utilizando una aplicación desarrollada para smartphones. Estos teléfonos registrarán la frecuencia y duración de uso de los móviles en modos voz y datos, la lateralidad, el uso de *kits* manos libres.

Se prevé que los datos y algoritmos de estimación de exposición estarán listos para su análisis en 2014, y que los primeros resultados se enviarán para su publicación en 2015.

CONCLUSIONES

Mobi-Kids plantea cuestiones importantes prioritarias tanto en Europa como en España sobre salud y el medioambiente, impactos en la salud de la exposición a los campos de RF, y riesgos para la salud en jóvenes. En concreto, se investiga si una exposición prolongada a los campos electromagnéticos de los móviles y otras tecnologías de la comunicación incrementa el riesgo de padecer tumores cerebrales. Mobi-Kids aborda esta cuestión llevando a cabo un estudio epidemiológico multinacional de casos y controles de tumores cerebrales diagnosticados en jóvenes y



relacionándolos con la exposición a los móviles y otras fuentes de RF en 15 países, teniendo en cuenta posibles factores de confusión. Uno de los aspectos importantes del estudio es el desarrollo de herramientas mejoradas para la evaluación de la exposición a campos electromagnéticos.

AGRADECIMIENTOS

El Consorcio Mobi-Kids incluye las siguientes personas: España (y coordinación internacional): Elisabeth Cardis, C. Eastman, G. Carretero, J. Alguacil, N. Aragonés, M. Morales; Alemania: Katja Radon, Susanne Brilmayer, Sabine Heinrich, Tobias Weinmann; Australia: Malcolm Sim, Liz Milne, Rosa Schattner; Austria: Michael Kundi, Hans-Peter Hutter; Canadá: Daniel Krewski, D. Bédard, A. Lai, J. Spinelli; Francia: Brigitte Lacour, Martine Hours, Thomas Remen; Grecia: Eleni Petridou, Evi Mpouka; India: Rajesh Dikshit, Rajini Nagrani; Israel: Siegal Sadetzki, R. Bruchim; Italia: Franco Merletti, Milena Maule; Japón: Naohito Yamaguchi, Noriko Kojimahara; Korea: Mina Ha, Kyung-Hwa Choi; Nueva Zelanda: Alistair Woodward, Andrea Mannelje; Países bajos: Hans Kromhout, Roel Vermeulen, Geertje Goedhart-De Wolf; Taiwan: Ching-Chun Lin, Lin-Ching Chu; miembros del comité de estimación de exposición: E. Cardis, H. Kromhout, AK Lee, M. Maslany, M. Sim, M. Taki, J. Wiart.

El estudio está financiado por la Unión Europea (FP7-ENV-2008-1-226873), y, en España, recibe financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación (EUS2008-03626) y del Instituto de Salud Carlos III (FIS: PI10/02981), de la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía y una beca de la Consellería de Educación de la Comunidad de Valencia.

REFERENCIAS

- [1]. Wiart J, Hadjem A, Wong MF, et al. Analysis of RF Exposure in the Head Tissues of Children and Adults. 2008.
- [2]. WHO. WHO 2006 Research Agenda for Radio Frequency Fields. Geneva: World Health Organisation 2006. http://www.who.int/peh-emf/research/rf_research_agenda_2006.pdf
- [3]. EMF-Net. EMF-Net Research agenda 2006. EMF-Net. 2006. http://web.jrc.ec.europa.eu/emf-net/doc/Reports/EMF-NET_Research_Needs_Summary_Updated_2006.pdf
- [4]. US National Research Council. Identification of Research Needs Relating to Potential biological or Adverse Health Effects of Wireless Communication. US National Research Council 2008. <http://books.nap.edu/catalog/12036.html>
- [5]. Bondy ML, Scheurer ME, Malmer B, et al. Brain tumor epidemiology: Consensus from the Brain Tumor Epidemiology Consortium. *Cancer* 2008;113:1953-68.
- [6]. Aydin D, Feychting M, Schüz J, et al. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents:

- a multicenter case-control study. *J Natl Cancer Inst* 2011;103:1264-76.
- [7]. Cardis E, Varsier N, Bowman JD, et al. Estimation of RF energy absorbed in the brain from mobile phones in the Interphone study. 2011.
- [8]. Lonn S, Klæboe L, Hall P, et al. Incidence trends of adult primary intracerebral tumors in four Nordic countries. *International Journal of Cancer* 2004;108:450-5.
- [9]. The Interphone Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol* 2010;39:675-94.
- [10]. Swedish Post and Telecoms Agency. Mobile phone subscriptions per 100 inhabitants, Sweden, 1987-2010. Swedish Post and Telecoms Agency, Statistics Portal. 2011. <http://www.statistik.pts.se/pts2010/index.html>
- [11]. AFSSET. Mise à jour de l'expertise relative aux radiofréquences. Paris: Agence Française de Sécurité, Sanitaire de l'Environnement et du Travail 2009. http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/049737858004877833136703438564/Rapport_RF_final_25_091109_web.pdf
- [12]. CCARS. Informe sobre radiofrecuencias y salud (2009-2010). Madrid, Spain: Comité científico asesor en radiofrecuencias y salud (CCARS) 2011. http://www.ccars.es/sites/default/files/Informe_CCARS_2009-2010.pdf
- [13]. SCENIHR. Health Effects of EMF. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). 2009. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_022.pdf
- [14]. Swerdlow AJ, Feychting M, Green AC, et al. Mobile phones, brain tumors, and the interphone study: where are we now? *Environ Health Perspect* 2011;119:1534-8.
- [15]. Baan R, Grosse Y, Lauby-Secretan B, et al. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *Lancet Oncol* 2011;12:624-6.
- [16]. Cardis E, Richardson L, Deltour I, et al. The INTERPHONE Study: Design, Epidemiological Methods, and Description of the Study Population. *Eur J Epidemiol* 2007;22:647-64.
- [17]. the Interphone Study Group. Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiol* 2011;35:453-64.
- [18]. Cardis E, Armstrong BK, Bowman JD, et al. Risk of brain tumours in relation to estimated RF dose from mobile phones: results from five Interphone countries. *Occup Environ Med* 2011;68:631-40.
- [19]. Cardis E, Deltour I, Mann S, et al. Distribution of RF energy emitted by mobile phones in anatomical structures of the brain. *Phys Med Biol* 2008;53:2771-83.
- [20]. Saracci R, Samet J. Commentary: Call me on my mobile phone...or better not?—a look at the INTERPHONE study results. *Int J Epidemiol* 2010;39:695-8.
- [21]. Vrijheid M, Richardson L, Armstrong BK, et al. Quantifying the impact of selection bias caused by nonparticipation in a case-control study of mobile phone use. *Ann Epidemiol* 2009;19:33-41.

Genotoxicidad y campos magnéticos-ELF: una revisión a través del ensayo de micronúcleos

M. Alcaraz¹, M. Andreu-Gálvez¹, JM. Sánchez-Villalobos¹, DG. Achel², E. Olmos¹ y
CM. Martínez-Hernández¹

¹Departamento de Radiología y Medicina Física, Facultad de Medicina, Universidad de Murcia.

²Applied Radiation Biology Centre, Radiological and Medical Sciences Research Institute, Ghana Atomic Energy Commission, Legon-Accra, Ghana.

RESUMEN

Se han revisado 34 estudios publicados desde 1994 hasta la actualidad que determinan el efecto genotóxico de campos magnéticos de muy baja frecuencia (ELF) mediante ensayos de micronúcleos (MN). Se exponen algunas características de estos ensayos, su interés en genotoxicidad y la interpretación básica de los resultados obtenidos mediante los mismos. El 70,5% de los estudios analizados describen un efecto genotóxico inducido por los campos magnéticos: 52,9% directamente por la exposición a los campos, y el 17,6% restante por tratamiento combinado con otro agente que ejercería una acción aditiva o sinérgica con el campo.

Existen evidencias del efecto genotóxico inducido por campos magnéticos ELF en las condiciones experimentales ensayadas que simulan exposiciones humanas, aunque queda por conocer los mecanismos de acción de los campos e incluso las consecuencias reales para la salud humana que pudieran derivarse.

ABSTRACT

Thirty four (34) published studies, conducted from 1994 to the present to evaluate the genotoxic effect of magnetic fields using ELF-EMF and diagnostic resonance on humans by the micronucleus assay have been reviewed. Some characteristics of the assay methods, their significance to genotoxicity and basic interpretations of the results of these assays are discussed. Of the studies analysed, 70.5% implicated genotoxic effects induced by these magnetic fields: 52.9% were due to exposure to magnetic fields only and 17.6% by exposure to magnetic fields in combination with some treatment types, resulting in additive or synergistic effect.

Evidence exist to support the notion that exposure of humans to magnetic fields stimulates genotoxic effects, although the actual mechanisms of action or even the true human health consequences resulting from these exposures still remain unclear.

INTRODUCCIÓN

En un primer acercamiento a los estudios publicados sobre los efectos biológicos inducidos por las radiaciones no ionizantes destacan las descripciones de efectos biológicos contradictorios y una excesiva complejidad en la interpretación de los resultados por las numerosas variables biológicas y físicas analizadas a lo largo de las últimas décadas.

Sin embargo, la lectura de estos resultados y su interpretación no deberían realizarse sin unas premisas que acerquen al investigador al conocimiento más específico del campo biológico y/o físico con el que se va a encontrar. Una vez realizado este acercamiento, la interpreta-

ción parece simplificarse hasta, incluso, permitir algunas conclusiones bien sustentadas por estos mismos estudios científicos, aparentemente contradictorios. Si aplicamos este acercamiento previo al posible efecto genotóxico o daño cromosómico de los campos magnéticos determinado a través de la técnica de micronúcleos (MN), nos encontramos con tres claras premisas iniciales antes de interpretar sus resultados: conocer algunas características del ensayo de MN; delimitar las variables estudiadas de los campos magnéticos que nos interesan; y por último, cómo deben interpretarse los resultados de estos ensayos de MN. Así, siguiendo este esquema:



1. Ensayos de micronúcleos

Los micronúcleos (MN) son cuerpos pequeños (1,6-2,4 micras), redondos u ovales que se encuentran inmersos en el citoplasma celular y visiblemente separados del núcleo principal, pero al que se parecen en forma, estructura y coloración [1]. Pueden originarse de fragmentos cromosómicos acéntricos que no pueden incorporarse a los núcleos de las células hijas durante la división celular por carecer de centrómero [2, 3], o pueden ser también cromosomas completos que quedan fuera del núcleo celular durante la mitosis por un fallo en el eje mitótico o por configuraciones complejas de cromosomas que causan problemas durante la anafase [4,5]. Estos ensayos no dejan lugar a dudas sobre el daño producido, pues lo observado como MN es claramente una pérdida de ADN. La prueba no detecta agentes que no produzcan pérdidas en material genético o restos en anafase y tampoco es útil en células que no se dividen.

Se utilizan dos tipos diferentes de ensayos de micronúcleos: ensayos *in vitro* y ensayos *in vivo*. Aunque tienen diferentes características técnicas, su objetivo y utilidad son idénticos, determinando el incremento en su frecuencia de aparición se pone de manifiesto el daño cromosómico y, por tanto, la capacidad genotóxica y mutagénica de las diferentes sustancias químicas o agentes físicos ensayados. Estos ensayos de MN tienen algunas características diferenciales importantes para la interpretación de los resultados obtenidos:

a) Ensayo de MN *in vivo*: constituye el test sobre eritroblastos policromatófilos de médula ósea de roedor, generalmente ratón o rata, ideado originalmente como prueba de detección para evaluar el efecto de los fármacos sobre el material genético. Comenzaron estudiándose sobre células de la serie blanca en frotis de médula ósea de los animales expuestos; posteriormente en los eritroblastos totales y en normocromatófilos para llegar a los eritroblastos policromatófilos como el test habitual más utilizado hoy día, tal y como fue diseñado por Schmid en 1975 [4, 5] y constituye probablemente el test de genotoxicidad *in vivo* más utilizado hasta el día de hoy [6-10] (Figura 1).

Recientemente, se ha incorporado el análisis de reticulocitos en sangre periférica [11] como una variante del test ya que permite estudiar la frecuencia de aquellos eritroblastos policromatófilos con MN en su interior formados en la médula ósea cuando ya han madurado y salen a circular en sangre periférica.

Estos test *in vivo*, denominados estudios cortos de genotoxicidad, se utilizan habitualmente tras la administración de una dosis única del agente problema para evaluar su genotoxicidad. Sin embargo, manteniendo las condiciones del test, también permiten evaluar exposiciones crónicas,

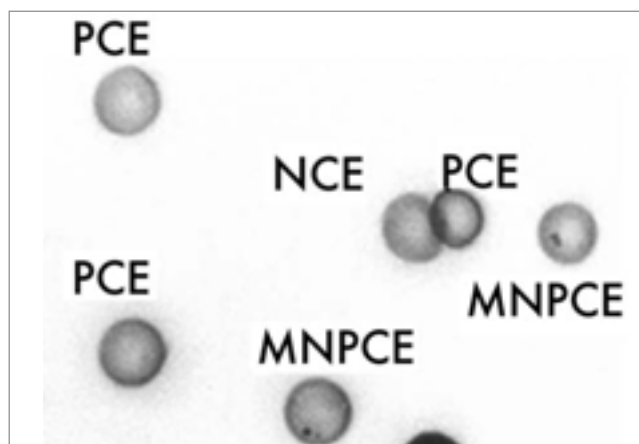


Figura 1: Fotomicrografía de médula ósea de ratón teñida con la técnica de May-Grünwald-Giemsa (1000X) (PCE: eritroblasto policromatófilo; MNPCE: eritroblasto policromatófilo con micronúcleo; NCE: eritroblasto normocromatófilo).

ya que los animales pueden utilizarse entre la 9ª y 12ª semana de vida para seguir las características básicas del test [4, 5]. Otra variante del test de MN utilizada *in vivo*, en biosistemas vegetales, es la prueba MN-tradescantia (trad-MCN) desarrollada por Ma (1979) [12, 13] para MN en tétradas de célula madre de polen y que se ha utilizado para estudios de genotoxicidad para evaluar contaminantes ambientales [14].

b) Ensayo de MN *in vitro*: desarrollados en linfocitos humanos por Countryman y Heddle, en 1976 [15]. Se han ido realizando numerosas modificaciones técnicas que han ido dotando al test de sensibilidad y especificidad progresivamente a lo largo de los últimos 30 años. Al principio se añadió Fitoheماغlutinina para inducir la división celular, después se analizaron en células con citoplasma destruido [16, 17], luego en células con citoplasma conservado [1, 17], posteriormente con estimulación mediante Bromodeoxiuridina [16], con tinciones de Acridina [18] y finalmente con Fenech (1986) [19] se describieron las técnicas con bloqueo citocinético mediante Cytochalasina B que permitían estudiar los MN sólo tras la primera división mitótica, incrementando significativamente su sensibilidad. A partir del año 2000, a propuesta de Fenech [19] y del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) [21] se ha utilizado como técnica habitual de rutina en dosimetría biológica, comenzando a homogeneizarse sus técnicas de aplicación en los diferentes laboratorios [22], constituyendo hoy la técnica más utilizada de MN *in vitro* para evaluar los agentes físicos [20, 23] (Figura 2).

Se han desarrollado múltiples variantes de la técnica inicial describiéndose diferentes tests de MN para su

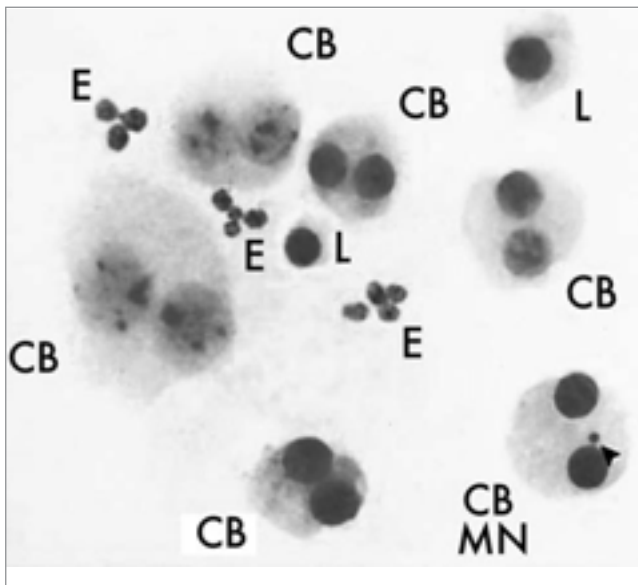


Figura 2: Fotomicrografía de un cultivo de linfocitos humanos con bloqueo citocinético teñido con la técnica de May-Grünwald-Giemsa (400X) (L: linfocito; CB: células binucleadas con bloqueo citocinético; CBMN: células binucleadas con bloqueo citocinético con micronúcleo en su citoplasma; E: restos de eritrocitos hemolizados).

determinación en células exfoliadas de mucosa bucal (CHOMN) [24, 25], en células epiteliales de colon y de cánceres intestinales [3], en esperma de rata [26], y en semen humano [27, 28]. También puede considerarse una variante del ensayo de MN el test Cometa, cuyo principio básico es la migración del ADN en una matriz de agarosa bajo condiciones de electroforesis. Al estudiarse la célula al microscopio (por fluorescencia o tinción del material nuclear), presenta la apariencia de un cometa, con una cabeza (región nuclear) y una cola (formada por fragmentos nucleares que han emigrado en dirección al ánodo) de la que deriva su nombre de Cometa [29, 30].

Los más utilizados son los que han desembocado en el CBMN (en inglés, *Cytokinesis-block Micronucleus*) actual [20, 21], aunque estos ensayos tienen sólo una duración de 72 h. de cultivo celular, no permiten exposiciones crónicas a campos magnéticos para mostrar su capacidad genotóxica. Por ello, se reconoce que su utilidad es básicamente en estudios "cortos" o exposiciones cortas al agente físico estudiado.

2. Campos magnéticos

Los campos eléctricos (EF), existen en cualquier sitio donde haya cargas eléctricas presentes, tanto si fluye o no la corriente eléctrica; las unidades se expresan como voltios por metro (V/m). Por el contrario, los campos magnéticos (MF)

se producen cuando una corriente eléctrica está fluyendo a través de un cable; en este caso, las unidades se expresan en Tesla (T). Los campos magnéticos también se pueden medir en amperios por metro (A/m) o en Gauss (G) (1 G = 0,1 miliT ó 100 microT). Los campos eléctricos de líneas de conducción eléctrica, así como los transformadores y las aplicaciones eléctricas se protegen y aíslan fácilmente teniendo poca capacidad de penetrar en los tejidos biológicos [31]. Por el contrario, los campos magnéticos asociados a los EF pueden penetrar fácilmente a través de los diversos tejidos biológicos; de ahí que sean difíciles de aislar, proteger o eliminar completamente [31, 32]. Esto, unido al conjunto de la evidencia experimental ha llevado a proponer que, en general, los efectos biológicos derivados de la exposición ocupacional o residencial a campos electromagnéticos (EMF) de muy bajas frecuencias (ELF) se deben a su componente magnético [32-34].

La humanidad ha estado disfrutando de las ventajas de la electricidad en casa y en los lugares de trabajo durante más de 100 años y, en estos momentos, resulta imposible imaginarse la vida sin su ayuda. La electricidad se suministra en frecuencias de 60 y 50 Hz en los Estados Unidos y en Europa/Países asiáticos, respectivamente. Siendo rigurosos, en términos de ingeniería eléctrica, los campos electromagnéticos del tipo considerado ELF, hacen referencia a frecuencias comprendidas entre los 30 y los 300 Hz; mientras que, en la literatura referente a la biología y la salud laboral, las frecuencias relativas a campos ELF abarcan desde 0 a 3000 Hz [32, 35] y constituyen la mayor área de interés para valorar el efecto genotóxico de los campos magnéticos. En esta revisión delimitamos el estudio a los campos magnéticos de "frecuencia extremadamente baja" (ELF-MF) y a los campos magnéticos con aplicaciones diagnósticas.

3. Interpretación básica del test

El ensayo de MN muestra una lesión cromosómica que constituye una pérdida de ADN y por ello expresa un daño genético; y, como consecuencia, la sustancia o agente físico que lo produce se considera con capacidad mutagénica y es un agente genotóxico [4, 5, 20, 23].

Sin embargo, si el test de MN no muestra daño genotóxico, su interpretación nunca es la AUSENCIA de genotoxicidad de dicho agente. Se puede NO determinar aumento de MN por numerosas variables técnicas [22], aunque la más evidente es el umbral de sensibilidad del propio ensayo de MN [22, 35-38]. La utilización de dosis del agente estudiado por debajo del umbral de sensibilidad del test imposibilita la detección de un posible efecto genotóxico [22, 36, 38]. El ejemplo más característico lo constituye el umbral de



sensibilidad que presenta el test de MN con las radiaciones ionizantes y que se ubica hoy día en 20-30 cGy [20, 23]. Todos los ensayos de micronúcleos que pretendan demostrar un efecto genotóxico de las radiaciones ionizantes utilizando una dosis inferior a 20-30 cGy [20, 23] no revelarían ningún incremento de MN y podrían concluir que las radiaciones ionizantes no tienen ninguna capacidad genotóxica ni mutagénica al no dañar el material genético.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se muestran las características más significativas de los estudios publicados desde 1994 hasta la actualidad y que han utilizado diferentes tipos de ensayos de MN *in vivo* para determinar la capacidad genotóxica inducida por diferentes tipos de campos magnéticos, así como el flujo o la intensidad de los mismos (mT) y el tiempo de exposición de los animales estudiados. De los ocho estudios analizados, seis (75%) concluyen que existe un incremento significativo de la frecuencia de aparición de MN en los animales expuestos *in vivo*. Tal efecto estaría inducido directamente por los campos magnéticos ensayados y los autores concluyen que los campos magnéticos utilizados tienen una significativa capacidad mutagénica y una evidente capacidad genotóxica por sí mismos. Algunos de estos estudios han podido utilizar exposiciones crónicas, exponiendo a los animales varias horas diarias, en algunos casos durante semanas a los campos magnéticos ensayados [11, 42-47]; aunque en ocasiones se han utilizado campos tan bajos como 5 μ T [11].

Estos tests *in vivo* se caracterizan por permitir la exposición corporal total de los animales expuestos, permitiendo valo-

rar la respuesta biológica del organismo completo frente al agente físico o químico estudiado. En estos momentos, los ensayos de MN constituyen el test de genotoxicidad más utilizado dentro de los tests o ensayos cortos sobre genotoxicidad. Sin embargo, siguiendo las condiciones biológicas impuestas para la aplicación del test está entre la 9ª y 12ª semana de vida de los animales utilizados [4, 5], lo que limita no sólo sus posibilidades de uso como técnica detectora de genotoxicidad, sino que añade una limitación significativa a su empleo en las técnicas de exposiciones crónicas a campos magnéticos de los animales estudiados.

En la Tabla II se exponen las características más significativas de los estudios publicados desde 1994 hasta la actualidad y que han utilizado diferentes tipos de ensayos de MN *in vitro* para determinar la capacidad mutagénica y el daño cromosómico inducido por diferentes tipos de campos magnéticos, así como el flujo o la intensidad de los mismos (mT) y el tiempo de exposición de las células estudiadas. De los 26 estudios revisados 14 (53,8%) concluyen que no se produce un incremento significativo de la frecuencia de aparición de MN en las células expuestas *in vitro*; mientras que otros 12 (46,2%) estudios describen un incremento de MN y concluyen que los campos magnéticos aplicados tienen una significativa capacidad mutagénica teniendo, por ello, una evidente capacidad genotóxica.

Sin embargo, entre los autores que describen ausencia de efectos de los campos magnéticos, el 42,8% (6/14 estudios), han realizado algún tipo de análisis de sinergia o adición con otros agentes mutagénicos y describen un incremento sobre la frecuencia de MN esperada, si tales agentes se emplean de forma combinada con la exposición a campos magnéticos. Así, si se utilizan de forma combinada la

Autor	Año	Tipo Celular	Exposición-ELF	Densidad de flujo	Duración	MN
SINGH, P [39]	1997	Eritroblastos médula ósea (MO) ratón	50 Hz	2,1 mT	3 días	SI
SUZUKI, Y [40]	2001	Eritroblastos MO ratón	Estático	3 Teslas y 4,7 Teslas	1, 2 y 3 días	SI
FRAHM, J [41]	2006	Macrófagos de ratón	50 Hz	0,05; 0,1; 0,5; 1 mT	12h, 1 día y 2 días	NO
UDROIU, I [42]	2006	Hígado/sangre perif./ MO ratón	50 Hz	0,65 mT	24 h/día, 21 días (intraútero)	SI
ERDAL, N [44]	2007	Eritroblastos MO rata	50 Hz	1 mT	4 h y 4 h/45 días	SI
OKUDAN, N [11]	2010	Reticulocitos y MO ratón	50 Hz	0,004 - 0,005 mT	40 días	SI
REDDY, SB [46]	2010	Eritroblastos MO ratón	EMF Pulsados < 1000 Hz	1 mT	14, 28, 42 y 56 días	NO
MONTOYA, I [47]	2011	Eritroblastos MO ratón	50 Hz	0,2 mT	7, 14, 21 y 28 días	SI

MO: médula ósea; mT: militeslas; MN SI/NO: Se obtuvo, o no, incremento significativo del número de micronúcleos

Tabla I. Resumen de resultados de estudios que investigan la potencial genotoxicidad inducida por exposición "in vivo" a ELF-EMF, analizada mediante los ensayos de micronúcleos.

exposición a campos electromagnéticos con la exposición a rayos X o radiación gamma [52, 57], con Bleomicina [66], Benzo(a)pyrene [55, 60], Bencendiol y Bencentriol [58] o Vinblastina [59] se observa un significativo incremento de MN mayor que el inducido por dichos agentes en ausencia de los campos. Estos resultados son interpretados por los diferentes autores como un incremento de MN inducido por los campos magnéticos, que actuarían como un cocarcinógeno [57], un promotor o un inductor [51] de las lesiones cromosómicas inducidas por los agentes mutagénicos ensayados.

En consecuencia, el 69,2% de los estudios publicados con estas técnicas de MN *in vitro* aplicables básicamente en exposiciones cortas, utilizando campos electromagnéticos de muy bajas frecuencias, ELF, en periodos muy cortos (horas-días), muestran algún tipo de efecto genotóxico estadísticamente significativo, bien sea directo (por sí mismo) o indirecto (como promotor, inductor o cocarcinógeno) inducido por los campos magnéticos sobre las células estudiadas.

La utilización de los ensayos de MN presenta dos limitaciones importantes para evaluar la genotoxicidad de un agente físico, derivadas de las características intrínsecas de

Autor	Año	Células estudiadas	Exposición- ELF	Densidad Flujo (mT)	Duración	MN
SCARFI, MR [48]	1994	Linfocitos humanos	EMF Puls. 50 - 500 Hz	2,5 (pico)	1,2 y 3 días	NO
PAILE, W [49]	1995	Epiteliales tráquea rata	50 Hz	0,03-1	3 y 4 días	SI
LAGROYE, I [50]	1997	Epiteliales tráquea rata	50 Hz	0,1	1 día	NO
SIMKÓ, M [51]	1998	Líquido amniótico humano	50 Hz	0,1-1	1,2 y 3 días	NO
SIMKÓ, M [51]	1998	Escamosas de cáncer humano	50 Hz	0,1-1	1,2 y 3 días	SI
SIMKÓ, M [52]	1998	Líquido amniótico humano	50 Hz	1	1,2 y 3 días	SI
SCARFI, MR [53]	1999	Linfocitos humanos	50 Hz	0,05 - 1	3 días	NO
SIMKÓ, M [54]	1999	Líquido amniótico humano	EMF-H -50 Hz	1	24 h, 48 h ó 72 h	SI
SIMKÓ, M [55]	2001	Embrionarias de hamster	50 Hz	1	1,2 y 3 días	NO
ZENI, O [56]	2002	Linfocitos humanos	EMF Pulsados-50 Hz	2,5	3 días	SI
NAHAHARA, T [57]	2002	Ovario hamster	EMF Estáticos	>10000	4 días	NO
PASQUINI, R [58]	2002	Células Jurkat	50 Hz	5	1 h -1 día	SI
VERHEYEN, G [59]	2003	Linfocitos humanos	50 Hz	0,08 y 0,8	3 días	NO
CHO, YH [60]	2003	Linfocitos humanos	60 Hz	0,8	1 día	NO
STRONANTI, L [29]	2004	Linfocitos humanos y Cometa	50 Hz	1	2 h	NO
TESTA, A [61]	2004	Linfocitos humanos	50 Hz	1	2 días	NO
SCASSELLATI, G [62]	2004	Linfocitos humanos	50 Hz	5	30, 60 ó 120 m	SI
WINKER, R [63]	2005	Fibroblastos humanos	50 Hz	1	10 h	SI
SCARFI, MR [64]	2005	Fibroblastos humanos y Cometa	50 Hz Intermitente	1	1 día	NO
FATIGONE, C [65]	2005	Trad-MN	50 Hz	1	1 h, 6 h y 12 h	SI
CHO, HY [66]	2007	Fibroblastos humanos	60 Hz	0,8	28 h, 88 h y 240 h	NO
SIMI, S [67]	2008	Linfocitos humanos	RM Diagnósticos	1500	120 h	SI
ALBERT, GC [30]	2009	Linfocitos humanos y Cometa	60 Hz	0,2	4 h	NO
CELIKLER, S [45]	2009	Linfocitos humanos	50 Hz	Ocupacional-Industria	19 ± 7 años	SI
LUUKKONEN, J [69]	2011	Neuroblastoma humano	50 Hz	0,1	24 h	NO
LEE, JW [70]	2011	Linfocitos humanos	RM Diagnósticos	3000	22, 45, 67 y 89 m	SI

Leyenda: mT: militeslas; MN SI/NO: Se obtuvo, o no, incremento significativo del número de micronúcleos

Tabla II. Resumen de resultados de estudios que investigan la potencial genotoxicidad inducida por exposición "in vitro" a ELM-EMF, analizada mediante los ensayos de micronúcleos.



la técnica: 1) tienen un umbral de sensibilidad (umbral de detección) muy alto, por lo que los agentes o dosis que no sean intensamente genotóxicos podrían ser indetectables; 2) tienen un período de detección corto (horas en los ensayos *in vitro*; semanas en los ensayos *in vivo*), por lo que los ensayos que precisen largos períodos de exposición, como podría ser la exposición crónica a campos magnéticos, no llegarían a alcanzar una dosis genotóxica suficiente para superar el umbral de determinación del efecto genotóxico. El conocimiento de la propia historia del empleo del test de MN como detector o cuantificador biológico en la determinación del efecto genotóxico de la radiación ionizante es imprescindible para la interpretación de los resultados obtenidos con los ELF-MF. Así, al principio de uso de estas técnicas (años 1980-1990) el umbral de capacidad de detección de los efectos genotóxicos inducidos por radiaciones ionizantes estaba en 50 cGy; a principios de este siglo se ubicó en los 30 cGy. En estos momentos, tras las últimas modificaciones del test de MN más avanzado (CBMN-cyt: en inglés, cytokinesis-block micronucleus cytome) con células bloqueadas con Cytochalasina B en la primera división mitótica, el umbral de detección se encuentra en 20-30 cGy [20, 23]. Si intentáramos determinar el efecto genotóxico en cualquier situación clínica, experimental u accidental, por debajo del umbral de dosis de 20-30 cGy el test no mostraría incremento significativo de MN y posiblemente podríamos concluir (como numerosos autores han hecho) [36-38, 71] que tales dosis de radiaciones ionizantes no tienen ninguna capacidad genotóxica, ya que no dañarían el material genético al no incrementar la frecuencia de MN en las células o animales estudiados.

Expresado de otra forma, un test negativo de MN no excluye la posibilidad de que exista un daño genético inducido por los campos magnéticos. Sin embargo, un test de MN positivo muestra una pérdida de material genético y por tanto una lesión o daño genético manifiesto. Dado que el test de MN no deja lugar a dudas sobre el daño producido, y éste es una pérdida de DNA, existe suficiente evidencia para continuar nuevas experiencias que vayan determinando las variables físicas de los campos magnéticos que inducen este daño cromosómico.

Si se analizan los datos expuestos en las Tablas I y II, se puede observar, en términos generales, que estos estudios muestran que cuanto más intensos son los campos magnéticos utilizados y mayor es el tiempo de exposición empleado (células/animales), mayor es la capacidad para poner de manifiesto un incremento de MN, mostrando una probable capacidad genotóxica de los campos en las condiciones analizadas. En este sentido, cuando se realizan tratamientos

conjuntos con otros agentes mutágenos parece que los ELF-EMF muestran más fácilmente un efecto genotóxico al posibilitar un efecto aditivo o sinérgico

Los estudios que se han publicado, muestran algunos resultados que ayudan a la selección de variables o situaciones de interés médico o biológico, y que precisarán nuevos estudios o confirmaciones de tales resultados. Algunos autores, obtienen un daño genotóxico relacionado directamente con el tiempo de exposición a campos magnéticos [63, 65] o presentan una clara respuesta dosis-dependiente [67]. La utilización médica de la resonancia magnética, aumenta el número de MN y podría ser genotóxica también [67, 70]. Aunque el daño genético podría ser reparado y el exceso de MN podría llegar a desaparecer a las 24 h de la realización de la resonancia, en ocasiones, el número de MN puede alcanzar un máximo y permanecer constante a lo largo del tiempo [63].

Se han propuesto algunos mecanismos físicos por los que las ELF-EMF podrían interactuar con las células para producir un efecto biológico: 1) la transferencia de energía induciría la aceleración de iones y proteínas cargadas que alterarían la membrana celular y sus receptores para proteínas; 2) el campo eléctrico ejercería en el interior del cuerpo humano fuerzas sobre las cargas eléctricas o momentos eléctricos; 3) los campos podrían interactuar con el momento magnético de las partículas ferromagnéticas y de los radicales libres complejos; 4) también podrían inducir alteraciones resonantes que conducirían vibraciones o transiciones orbitales en las biomoléculas complejas; 5) cambios temporales o cronológicos inducidos por los campos provocarían cambios espaciales y alterarían la relación señal-ruido en algunos sistemas. Sin embargo, también se ha propuesto que los potenciales efectos biológicos inducidos por los ELF-EMF no estarían soportados, si existieran, por ninguno de estos mecanismos físicos conocidos [31].

No obstante, desde el punto de vista biológico, está ampliamente aceptado que los ELF-EMF son incapaces de transferir energía a las células en cantidades suficientes para romper los enlaces químicos y con ello lesionar directamente el ADN [31, 32]. Por esta razón, los ELF-EMF no se consideran agentes genotóxicos directos. Su contribución al desarrollo del cáncer y de otras lesiones podría explicarse al inducir acontecimientos indirectos o secundarios en el organismo [31, 32]. Numerosos estudios describen mecanismos a través de los cuales los ELF-EMF pueden ejercer sus efectos biológicos: originando situaciones de estrés oxidativo [72-77], incrementando la producción o la actividad de radicales libres [51], activando enzimas antioxidantes [78], modulando la activación de otros enzimas [32], reforzando

la proliferación celular [59, 79], alterando el ciclo celular [44] o incrementando la apoptosis celular [73, 77].

En estos momentos está en discusión el auténtico significado de este incremento de MN como resultado de un test o ensayo de genotoxicidad. Actualmente se acepta que un incremento en el nivel o número de alteraciones cromosómicas puede ser indicativo de un incremento en el riesgo de padecer cáncer. Por ello, algunos autores resaltan que estos estudios deberían ser cuidadosamente considerados en la evaluación de un posible daño genético tras la exposición a campos magnéticos [36, 38, 71]. Sin embargo, los resultados de otros estudios epidemiológicos que se han publicado indican que estas alteraciones cromosómicas no tienen necesariamente que ir asociadas con un incremento demostrado de riesgo de cáncer [38, 71]. Por ello, aún cuando el test detecta un incremento de la frecuencia de MN, y por tanto, incremento en el daño cromosómico de los animales o células expuestas, queda por determinar cuáles podrían ser las consecuencias biológicas reales en cuanto al riesgo de padecer una lesión tardía, y que estarían sin establecer todavía [38]. En estos momentos, el incremento de MN podría considerarse como un biomarcador predictivo de susceptibilidad que manifestaría un incremento de riesgo para algunas enfermedades [80]. Con todo, lo que se pone de manifiesto es que, al menos una de las posibles vías de promoción de cáncer, como es el incremento de las lesiones del material genético, está relacionada con la exposición a campos magnéticos débiles de muy baja frecuencia (ELF-EMF).

En conclusión, desde el punto de vista del investigador, no hay resultados contradictorios. Existen numerosas evidencias científicas que revelan una capacidad genotóxica de los campos magnéticos determinada mediante los ensayos de MN, en diferentes condiciones experimentales que pretenden simular condiciones de exposiciones humanas. La vía de lesiones cromosómicas es posible, aunque no se ha encontrado un claro mecanismo de acción que produzca estas lesiones. Asimismo, queda por determinar cuáles serían las consecuencias biológicas que este incremento de lesiones cromosómicas podrían tener para la salud.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Almassy Z., Krepinsky A.B., Bianco A., Koteles G.J. The present state and perspectives of micronucleus assay technique in radiation protection. *Int. J. Rad. Appl. Instrum. Part A.* 38(4):241-9; 1987.
- [2] Sasaki M.S., Norman S. Proliferation of human lymphocytes in culture. *Nature* 210:913-914; 1966.
- [3] Heddle J.A., Carrano A.V. The DNA content of micronuclei induced in mouse bone marrow by gamma-irradiation: evidence that micronuclei arise from acentric chromosomal fragment. *Mutat. Res.* 44:63-69; 1977.
- [4] Schmid W. The micronucleus test. *Mutat. Res.* 31:9-15; 1975
- [5] Schmid W. The micronucleus test for cytogenetic analysis. In: *Chemical Mutagens IV* (Ed. Hollaender A.), Plenum Press, New York. Pg: 31-53; 1976.
- [6] Shimoi K., Shuichi M., Bingrong S., Michiyo F., Naohidi K. Radioprotective effects of antioxidative plant flavonoids in mice. *Mutat. Res.* 350: 153-161; 1996.
- [7] Mazur L. Radioprotective effects of the thiols GSH and WR-2721 against X-ray-induction of micronuclei in erythroblasts. *Mutat. Res.* 468:27-33; 2000.
- [8] Benavente-García O, Castillo J, Lorente J, Alcaraz M. Radioprotective effects in vivo of phenolics extracted from *Olea europaea* L. leaves against X-ray-induced chromosomal damage: comparative study versus several flavonoids and sulfur-containing compounds. *J. Med. Food* 5:125-135; 2002.
- [9] Castillo J, Alcaraz M, Benavente-García O. Antioxidant and Radioprotective Effects of Olive Leaf Extract. In: Preedy VR and Watson RR (ed). *Olives and Olive oil in Health and disease prevention*. Oxford: Academic Press, pp. 951-958; 2010.
- [10] Benavente-García O, Castillo J, Lorente J, Alcaraz M. Radioprotective effects in vivo of phenolics extracted from *Olea europaea* L. leaves against X-ray-induced chromosomal damage: comparative study versus several flavonoids and sulfur-containing compounds. *J. Med. Food* 5:125-35; 2002.
- [11] Okudan N, Celik I, Salbacak A, Cicekcibasi AE, Buyukmumcu M, Gökbel H. Effects of long-term 50 Hz magnetic field exposure on the micro nucleated polychromatic erythrocyte and blood lymphocyte frequency and argyrophilic nucleolar organizer regions in lymphocytes of mice. *Neuro. Endocrinol. Lett.* 31(2):208-14; 2010
- [12] Ma T.H. Micronuclei induced by X-rays and chemical mutagens in meiotic pollen mother cells of *Tradescantia*-A promising mutagen test system. *Mutat. Res.* 64:307-311; 1979
- [13] Ma T.H. *Tradescantia*-micronucleus bioassay and pollen tube chromatide aberrations test for in vitro monitoring and mutagen screening. *Environ. Health. Perspectives* 37:85-87; 1981
- [14] Ma T.H., Harris M.M., Anderson A., Ahmed I., Mahammad K., Bare J.L. y Lin G. *Tradescantia* micronucleus test/Trad-MCN/ on 140 health related agents. *Mutat. Res.* 138:157-159; 1984
- [15] Countryman P.I. y Heddle J.A. The production of micronuclei from chromosome aberrations in irradiated cultures of human lymphocytes. *Mutat. Res.* 41:321-332; 1976.
- [16] Prosser J.S., Moquet J.E., Lloyd D.C., Edwards A.A. Radiation induction of micronuclei in human lymphocytes. *Mutat. Res.* 199: 37-45; 1988.
- [17] Hogstedt B. Micronuclei in lymphocytes with preserve cytoplasm. A method for assessment of cytogenetic damage in man. *Mutat. Res.* 130:63-72; 1984.
- [18] Hayashi M., Sofuni T., Ishidate M. An application of acridine orange fluorescent staining to the micronucleus test. *Mutat. Res.* 120: 241-243. 1983.
- [19] Fenech M., Morley A.. Measurement of micronuclei in lymphocytes. *Mutat. Res.* 147:29-36; 1985.
- [20] Fenech M. Cytokinesis block micronucleus cytome assay. *Nat Protoc.* 2007(5):1084-104; 2007.
- [21] International Atomic Energy Agency. Cytogenetic analysis for radiation dose assessment. A manual. Technical Reports Series no 405. Vienna, Austria. IAEA; 2001.



- [22] Fenech M., Bonassi S., Turner J., Lando C., Ceppi M., Chang W.P., Holland N., Kirsch-Volders M., Zeiger E., Bigatti M.P., Bolgnesi C., Cao J., De Luca G., Di Giorgio M., Ferguson L.R., Fucic A., Lima O.G., Hadjidekova V.V., Hrelia P., Jaworska A., Joksic G., Krishnaja A.P., Lee T.K., Martelli A., McKay M.J., Migliore L., Mirkova E., Muller W.U., Odagiri Y., Orsiere T., Scarfi M.R., Silva M.J., Sofuni T., Suralles J., Trenta G., Vorobtsova I., Vral A., Zijno A.; HUMAN MicroNucleus Project. Intra and interlaboratory variation in the scoring of micronuclei and nucleoplasmic bridges in binucleated human lymphocytes. Results of an international slide-scoring exercise by the HUMN project. *Mutat. Res.* 534 (1-2): 45-64; 2003
- [23] International Atomic Energy Agency. Cytogenetic Dosimetry: Applications in preparedness for a response to radiation emergencies, IAEA, Vienna; 2011.
- [24] Stich H.F., Stich W., Parida B.B. Elevated frequency of micronucleated cells in the buccal mucosa of individuals at high risk for oral cancer; Betel quid chewers. *Cancer Lett.* 17(2):125-134; 1982.
- [25] Stich H.F., Rosin M.P. Quantitating the synergistic effect of smoking and alcohol consumption with the micronucleus test on human buccal mucosa cells. *Int. J. Cancer* 31:305; 1983
- [26] Lahdetie J., Parvinen M. Meiotic micronuclei induced by X-rays in early spermatids of the rat. *Mutat. Res.* 81:103-107; 1981.
- [27] Liming S. The micronucleus test of immature cell in ejaculated human sperm. In: Proc. Conference Environ Mutagen Society, Stockholm. Pg: 236; 1985.
- [28] Liming S. The micronucleus test of immature cell in ejaculated human sperm. In: Proc. Conference Environ Mutagen Society, Stockholm. Pg: 236; 1985.
- [29] Stronati L, Testa A, Villani P, Marino C, Lovisolo GA, Conti D, Russo F, Fresegna AM, Cordelli E. Absence of genotoxicity in human blood cells exposed to 50 Hz magnetic fields as assessed by comet assay, chromosome aberration, micronucleus, and sister chromatid exchange analyses. *Bioelectromagnetics* 25(1):41-8; 2004.
- [30] Albert GC, McNamee JP, Marro L, Bellier PV, Prato FS, Thomas AW. Assessment of genetic damage in peripheral blood of human volunteers exposed (whole-body) to a 200 microT, 60 Hz magnetic field. *Int. J. Radiat. Biol.* 85(2):144-52; 2009.
- [31] Valberg PA, Kavet R, Rafferty CN. Can low-level 50/60-Hz electric and magnetic fields cause biological effects. *Radiat Res.* 148:2-21; 1997.
- [32] Vijayalaxmi, Guenter Obe. Controversial cytogenetic observations in mammalian somatic cells exposed to extremely low frequency electromagnetic radiation: a review and future research recommendations. *Bioelectromagnetics.* 26:412-430; 2005.
- [33] Tenforde TS. Biological interactions and potential health effects of extremely-low-frequency magnetic fields from power lines and other common sources. *Ann. Rev. Publ. Health* 13:173-196; 1992.
- [34] Jammet HP, Bernhardt JH, Bosnjakovic BFM, Czerski P, Grandolfo M, Harder D, Knave B, Marshall J, Repacholi MH, Sliney DH, Stolwijk DH. Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields. *Health Phys.* 58:113-122; 1990.
- [35] Alcaraz M, Gómez-Moraga A, Dato MJ, Navarro JL, Canteras M. Efecto genotóxico inducido por la exposición a rayos X durante exploraciones complejas de radiodiagnóstico médico. *Oncología* 25:159-68; 2002.
- [36] Alcaraz M, Armero D, Martínez-Beneyto Y, Castillo J, Benavente-García O, Fernández H, Alcaraz-Saura M, Canteras M. Chemical genoprotection: reducing biological damage to as low as reasonably achievable levels. *Dentomaxillofac. Radiol.* 40: 310-314; 2011.
- [37] Alcaraz M, Acevedo C, Castillo J, Benavente-García O, Armero D, Vicente V., Canteras M. Liposoluble antioxidants provide an effective radioprotective barrier. *Br. J. Radiol.* 82:605-609; 2009
- [38] Navarro JL, Alcaraz M, Gómez-Moraga A, Vicente V, Canteras M. Absence of chromosomal and genotoxic damage from the radiation dose administered in scintigraphic examinations. *Rev. Esp. Med. Nucl.* 23:174-82; 2004.
- [39] Singh S, Khanduja KL, Mittal PK. Mutagenic potential of benz(a)pyrene and Nitrosodiethylamine is not affected by 50-Hz sinusoidal electromagnetic field. *Electro Magnetobiol.* 16:169-175; 1997
- [40] Suzuki Y, Ikehata M, Nakamura K, Nishioka M, Asanuma K, Koana T, Shimizu H. Induction of micronuclei in mice exposed to static magnetic fields. *Mutagenesis* 16(6):499-501; 2001.
- [41] Frahm J, Lantow M, Lupke M, Weiss DG, Simkó M. Alteration in cellular functions in mouse macrophages after exposure to 50 Hz magnetic fields. *J. Cell. Biochem.* 99(1):168-77; 2006.
- [42] Udroui I, Cristaldi M, Ieradi LA, Bedini A, Giuliani L, Tanzarella C. Clastogenicity and aneuploidy in newborn and adult mice exposed to 50 Hz magnetic fields. *Int. J. Radiat. Biol.* 82(8):561-7; 2006.
- [43] Ferreira AR, Knakievicz T, Pasquali MA, Gelain DP, Dal-Pizzol F, Fernández CE, de Salles AA, Ferreira HB, Moreira JC. Ultra high frequency-electromagnetic field irradiation during pregnancy leads to an increase in erythrocytes micronuclei incidence in rat offspring. *Life Sci.* 80(1):43-50; 2006.
- [44] Erdal N, Gürgül S, Celik A. Cytogenetic effects of extremely low frequency magnetic field on Wistar rat bone marrow. *Mutat Res.* 630(1-2):69-77; 2007.
- [45] Celikler S, Aydemir N, Vatan O, Kurtuldu S, Bilaloglu R. A bio-monitoring study of genotoxic risk to workers of transformers and distribution line stations. *Int. J. Environ. Health Res.* 19(6):421-30; 2009
- [46] Reddy SB, Weller J, Desjardins-Holmes D, Winters T, Keenlisedel, Prato FS, Prihoda TJ, Thomas V, Thomas AW. Micronuclei in the blood and bone marrow cells of mice exposed to specific complex time-varying pulsed magnetic fields. *Bioelectromagnetics.* 31(6):445-53; 2010.
- [47] Montoya I, Alcaraz-Saura M, Alcaraz M, Olmos E, Montalban F, Sanchez-Villalobos JM. Efecto genotóxico inducido por un campo magnético de 200 microteslas: modelo experimental in vivo. II Congreso Conjunto SEFM-SEPR. *Radioprotección* 68:609; 2011
- [48] Scarfi MR, Lioi MB, Zeni O, Della Noce M, Franceschi C, Bersani F. Micronucleus frequency and cell proliferation in human lymphocytes exposed to 50 Hz sinusoidal magnetic fields. *Health Phys.* 76(3):244-50; 1999.
- [49] Paile W, Jokela K, Koivostenen A, Saloma S. Effects of sinusoidal magnetic fields and spark charges on human lymphocytes in vitro. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 36:15-22; 1995.
- [50] Lagroye I, Poncy JL. The effect of 50 Hz electromagnetic fields on the formation of micronuclei in rodent cell lines exposed to gamma radiation. *Int. J. Radiat Biol.* 72(2):249-54; 1997.
- [51] Simkó M, Kriehuber R, Weiss DG, Luben RA. Effects of 50 Hz EMF exposure on micronucleus formation and apoptosis in transformed and nontransformed human cell lines. *Bioelectromagnetics* 19(2):85-91; 1998.

- [52] Simkó M, Kriehuber R, Lange S. Micronucleus formation in human amnion cells after exposure to 50 Hz MF applied horizontally and vertically. *Mutat Res.* 418(2-3):101-11; 1998.
- [53] Scarfy MR, Lioi MB, Zeni O, Franceschetti C, Franceschetti F, Bersani F. Lack of chromosomal aberration and micronuclei induction in human lymphocytes exorted to pulsed magnetic fields. *Mutat Res.* 306:129-133;1994
- [54] Simkó M, Dopp E, Kriehuber R. Absence of synergistic effects on micronucleus formation after exposure to electromagnetic fields and asbestos fibers in vitro. *Toxicol. Lett.* 108(1):47-53; 1999.
- [55] Simkó M, Richard D, Kriehuber R, Weiss DG. Micronucleus induction in Syrian hamster embryo cells following exposure to 50 Hz magnetic fields, benzo(a)pyrene, and TPA in vitro. *Mutat Res.* 495(1-2):43-50; 2001.
- [56] Zeni O, Bersani F, Scarfi MR. Radiological workers sensitivity to 50 Hz pulsed magnetic fields: preliminary results. *Radiat Environ. Biophys.* 41(4):275-9; 2002.
- [57] Nakahara T, Yaguchi H, Yoshida M, Miyakoshi J. Effects of exposure of CHO-K1 cells to a 10-T static magnetic field. *Radiology* 224(3):817-22; 2002.
- [58] Pasquini R, Villarini M, Scassellati Sforzolini G, Fatigoni C, Moretti M. Micronucleus induction in cells co-exposed in vitro to 50 Hz magnetic field and benzene, 1,4-benzenediol (hydroquinone) or 1,2,4-benzenetriol. *Toxicol. In Vitro* 17(5-6):581-6; 2003.
- [59] Verheyen GR, Pauwels G, Verschaeve L, Schoeters G. Effect of coexposure to 50 Hz magnetic fields and an aeneugen on human lymphocytes, determined by the cytokinesis block micronucleus assay. *Bioelectromagnetics* 24(3):160-4; 2003
- [60] Cho YH, Chunh MV. The effect of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on the frequency of micronuclei and sister chromatid exchange in human lymphocytes induced by benzo(a)pyrene. *Toxicol. Lett.* 143:37-44;2003.
- [61] Testa A, Cordelli E, Stronati L, Marino C, Lovisolo GA, Fresegna AM, Conti D, Villani P. Evaluation of genotoxic effect of low level 50 Hz magnetic fields on human blood cells using different cytogenetic assays. *Bioelectromagnetics* 25(8):613-9; 2004.
- [62] . Scassellati Sforzolini G, Moretti M, Villarini M, Fatigoni C, Pasquini R. Evaluation of genotoxic and/or co-genotoxic effects in cells exposed in vitro to extremely-low frequency electromagnetic fields. *Ann. Ig.* 16(1-2):321-40; 2004.
- [63] 63. Winker R, Ivancsits S, Pilger A, Adlkofer F, Rüdiger HW. Chromosomal damage in human diploid fibroblasts by intermittent exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields. *Mutat Res.* 585(1-2):43-9; 2005.
- [64] Scarfi MR, Sannino A, Perrotta A, Sarti M, Mesirca P, Bersani F. Evaluation of genotoxic effects in human fibroblasts after intermittent exposure to 50 Hz electromagnetic fields: a confirmatory study. *Radiat Res.* 164(3):270-6; 2005.
- [65] Fatigoni C, Dominici L, Moretti M, Villarini M, Monarca S. Genotoxic effects of extremely low frequency (ELF) magnetic fields (MF) evaluated by the Tradescantia micronucleus assay. *Environ. Toxicol.* 20(6):585-91; 2005.
- [66] Cho YH, Jeon HK, Chung HW. Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on delayed chromosomal instability induced by bleomycin in normal human fibroblast cells. *J. Toxicol. Environ. Health, Part A.* 70(15-16):1252-8; 2007.
- [67] Simi S, Ballardini M, Casella M, De Marchi D, Hartwig V, Giovannetti G, Vanello N, Gabbriellini S, Landini L, Lombardi M. Is the genotoxic effect of magnetic resonance negligible? Low persistence of micronucleus frequency in lymphocytes of individuals after cardiac scan. *Mutat Res.* 645(1-2):39-43; 2008.
- [68] Castillo J, Benavente-García O, Lorente J, Alcaraz M, Redondo A, Ortuño A, et al. Antioxidant activity and radioprotective effects against chromosomal damage induced in vivo by X-rays of flavan-3-ols (procyanidins) from grape seeds (*Vitis vinifera*): Comparative study versus other phenolic and organic compounds. *J. Agr. Food. Chem.* 48:1738-45; 2000.
- [69] Luukkonen J, Iimatainen A, Hohto A,, Juutilainen J, Naarala J. Pre-exposure to 50 Hz magnetic fields modifies menadione-induced genotoxic effects in human SH-SY5Y neuroblastoma cells. *PLoS One.* 236:18021-18030; 2011
- [70] Lee JW, Kim MS, Kim YJ, Choi YJ, Lee Y, Chung HW. Genotoxic effects of 3T magnetic resonance imaging in cultured human lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 32:535-542;2011
- [71] Serna A, Alcaraz M, Navarro JL, Acevedo C, Vicente V, Canteras M. Biological dosimetry and Bayesian analysis of chromosomal damage in thyroid cancer patients. *Radiat. Prot. Dosimetry* 129(4):372-80; 2008.
- [72] Amara S, Douki T, Garel C, Favier A, Sakly M, Rhouma KB, Abdelmelek H. Effects of static magnetic field exposure on antioxidative enzymes activity and DNA in rat brain. *Gen Physiol Biophys.* 28(3):260-5; 2009.
- [73] Emre H, Cetiner S, Zencir S, Unlukurt I, Kathraman Y, Topen Z. Oxidative stress and apoptosis in relation to exposure to magnetic fields. *Cell Biochem. Biophys.* 59:71-77;211
- [74] Okano H. Effects of static magnetis fields in biology: role of free radicals. *Frot. Biosci.* 134:6106-6125;2008
- [75] Yocus B, Akdas MZ, Dasday S, Kadir DU, Kizil M. Extremely low frequency magnetic fields cause oxidative DNA damage in rats. *Int. J. Radiat. Biol.* 84: 789-795; 2008
- [76] 76. Kocacic P, Somanathan R. Electromagnetics fields: mechanism, cell signaling, other bioprocesses, toxicity, radicals antioxidants and beneficial effects. *J. Recept. Signal Transduct. Res.* 30:214-226; 2010.
- [77] Garj-Vrhovac V, Gajski G, Pazanin S, Sarolic A, Domijan AM, Flajs D, Peraica M. Assesment of cytogenetic damage and oxidative stress in personnel occupationally exposed to the pulsed microwave radiation of marine radar equipment. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 214:59-65;2011.
- [78] Politawski P, Rajkowska E, Pawlaczyk-Luszczynska M, Dudarewicz A, Witorek-Smagur A, Sliwinska-Kowalska M, Zmysloni M. Static magnetic field affects oxidative stress in mouse cochlea. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 23:377-384; 2010.
- [79] Trillo MA, Martínez MA, Cid MA, Leal J, Úbeda A. Influence of a 50 Hz magnetic field and of all-transretinol on the proliferation of human cancer cell lines. *Int J Oncol.* 40:1405-1413; 2012
- [80] El-Zen R, Vral A, Etzel CJ. Cytokinesis-blocked micronucleus assay and cancer risk assessment. *Mutagenesis* 26:101-106, 2011

NOTA DEL EDITOR: para poder apreciar el detalle de las fotomicrografías el tamaño de ampliación con el que aparecen en esta revista es mayor que el indicado en los pies de foto correspondientes.

Jornada sobre "Análisis práctico de las emergencias nucleares: aspectos de planificación y aspectos sanitarios"

El pasado 27 de enero, tuvo lugar en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón la Jornada "Análisis práctico de las emergencias nucleares: aspectos de planificación y aspectos sanitarios".

Dicha jornada correspondía a la XII Reunión del convenio entre Unesa y el HGU Gregorio Marañón.

La presentación de la misma corrió a cargo de Ricardo Herranz Quintanam, director gerente del HGU Gregorio Marañón; y de los doctores Juan Bernar Solano y Rafael Herranz Crespo, como coordinadores del Convenio Unesa - HGU Gregorio Marañón, y organizadores de las mismas.

En la primera parte, "Aspectos de planificación", intervinieron José Manuel Mañín Calvarro (Consejo de Seguridad Nuclear), realizando una exposición sobre el Plan Básico de Emergencia Nuclear, PLABEN, su origen, estructura presente, y perspectivas futuras; Sonia Serrano Fernández (Dirección General de Protección Civil y Emergencias), que se centró en la organización, estructura y funciones del Grupo Sanitario de Emergencias; y Francisco Ramírez Lafita (jefe de la Unidad de Salud Laboral de la central nuclear de Ascó), el cual explicó la visión de los actuantes del grupo sanitario en los emplazamientos.

A continuación, en un segundo bloque denominado "Aspectos sanitarios", tuvieron lugar las exposiciones de Alegría Montoro Pastor (Hospital Universitario Politécnico La Fe), que trató los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, bases técnicas, y redes internacionales de dosimetría biológica; Miguel Ángel Bailón Nuñez (Servicio Médico de la central nuclear de Almaraz), que detalló la actuación sanitaria de los centros de Nivel I de atención a irradiados y contaminados, medios, organización y normativa. Por último, Rafael Herranz Crespo, presentó las *Redes de alerta sanitaria internacional en emergencias y biodosimetría*.

Como conclusiones a la jornada, Juan Bernar mostró el excelente estado de capacitación de las estructuras nacionales para afrontar situaciones de emergencia nuclear, y la necesidad de mejora de los planes de información y comunicación al personal sanitario.

La jornada se dedicó a la memoria del Dr. Miguel Almonacid.

Comité de redacción

Proyecto Radón 10x10

En noviembre de 2011 finalizó el *Proyecto Radón 10x10*, liderado por la Universidad de Cantabria y que ha contado con la colaboración de la Universidad Autónoma de Barcelona - UAB (Grupo de Física de las Radiaciones) y de la Universidad de Santiago de Compostela (Laboratorio de Radón de

Galicia). El proyecto se desarrolló a lo largo de dos años mediante un acuerdo de colaboración específico con el Consejo de Seguridad Nuclear.

Su principal finalidad ha sido la ampliación del mapa de radón de España, elaborado por el CSN a partir de las medidas realizadas por distintos grupos de investigación. Este mapa constaba en el año 2009 de un total de, aproximadamente, 8.000 medidas de concentración de radón en viviendas, con una distribución geográfica muy heterogénea y amplias zonas del territorio –algunas de ellas categorizadas como zonas de medio o alto riesgo de exposición al radón– con una densidad de medidas muy pobre. El proyecto de ampliación, que ha aportado unas 6.000 medidas adicionales, se ha elaborado sobre una malla de 10x10 km² que cubre todo el territorio nacional, utilizando detectores CR-39 expuestos por un periodo de seis meses en plantas bajas y en primeros pisos. El muestreo se ha llevado a cabo atendiendo a criterios de densidad de población y de riesgo potencial de exposición al radón (estimado a partir del mapa Mapa de radiación gamma de origen natural).

Además, los datos recopilados en este proyecto se han suministrado al Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea para el desarrollo del mapa europeo (www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21460365).

El mapa de radón de España es un instrumento básico para el desarrollo de un plan de protección contra este gas a nivel estatal. Por un lado, su diseño está enfocado a identificar las regiones más propensas a registrar altos niveles de radón en viviendas con el fin de utilizar los recursos de manera más eficiente. Por otro, la futura divulgación del mapa al público pretende familiarizar a éste con la noción de que el medioambiente es, por naturaleza, radiactivo y concienciarlo del riesgo que conllevan las exposiciones elevadas al radón.

Marta García-Talavera,
CSN.

Expertos internacionales dan una "valoración positiva" a la revisión inter pares sobre las pruebas de resistencia a las centrales nucleares españolas

Tras el accidente de Fukushima ocurrido en Japón en marzo de 2011, 15 estados miembros de la Unión Europea decidieron realizar un examen crítico de su producción de energía nuclear reevaluando así los márgenes de seguridad de todas las plantas nucleares de la UE. Los 15 estados miembros fueron Bélgica, Bulgaria, República Checa, Finlandia, Francia, Alemania, Hungría, Países Bajos, Rumanía, República Eslovaca, Eslovenia, España, Suecia, Reino Unido y Lituania y todos ellos acordaron la participación en unas pruebas de resistencia voluntarias o *stress tests*.

Los aspectos a tener en cuenta para la realización de estas pruebas fueron definidos y aprobados por la Comisión Europea

y el *European Nuclear Safety Regulators Group* (ENSREG), grupo en el que están representados los 27 países europeos, tanto los que tienen centrales nucleares como los que no. Los primeros pasos para el establecimiento de los criterios a seguir, fueron dados en el seno de la Asociación de Autoridades Reguladoras de Seguridad Nuclear de Europa Occidental (WENRA).

Las pruebas comenzaron en junio de 2011 y se centraron básicamente en los tres siguientes aspectos:

- sucesos externos de origen natural que supongan un reto para la seguridad de las plantas y pudieran generar condiciones de accidentes severos, como terremotos o inundaciones,
- situaciones con pérdida de las funciones soporte de la seguridad de la instalación (alimentación eléctrica y sumidero de calor)
- y medidas de gestión y mitigación en condiciones de accidente severo.

Los análisis de los márgenes de seguridad debían ser realizados para cada emplazamiento por los propios titulares de las instalaciones, entregando un informe final que incluyera los análisis realizados y las propuestas de mejora identificadas a lo largo del proceso antes del 31 de octubre de 2011. La revisión de estos análisis debía ser realizada de modo totalmente independiente por los correspondientes organismos reguladores de cada país, que consolidarían sus resultados en un informe final nacional antes del 31 de diciembre de 2011. Finalmente, todo el proceso sería sometido a una revisión entre todos los organismos reguladores (*Peer Review*), con participación de la UE, entre enero y abril de 2012, a través de un grupo de expertos que se encargarían de elaborar un informe final que sería remitido a ENSREG para su aprobación y, posteriormente, a la Comisión Europea en torno al mes de mayo.

Actuaciones en España

En el caso de España, el 25 de mayo de 2011, el CSN aprobó y remitió a todas las centrales nucleares unas Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) a las autorizaciones de explotación, en las que se les requería la realización de las pruebas de resistencia acordadas en el contexto de la Unión Europea. Adicionalmente, y con el fin de reforzar aún más las capacidades de estas instalaciones para hacer frente a las situaciones excepcionales que pudieran ir mucho más allá de las bases de diseño consideradas, el CSN emitió posteriormente, a cada una de las centrales nucleares en operación, unas ITC en las que se les requería la realización de un análisis para identificar las medidas adicionales necesarias para mitigar las consecuencias de sucesos que, provocados voluntaria o involuntariamente por la mano del hombre, pudieran suponer la ocurrencia de incendios o explosiones que llevaran a la pérdida de grandes áreas de la central.

Tras el envío de los informes por las instalaciones conteniendo los análisis requeridos y tras el proceso de revisión por parte del personal técnico del CSN, el 22 de diciembre de 2011 el Pleno del CSN aprobó el informe final de las pruebas de resistencia a las centrales nucleares españolas, de acuerdo con el calendario establecido en la Unión Europea, cuyas principales conclusiones eran las siguientes:

- Los informes presentados por los titulares cumplen con las especificaciones de las pruebas de resistencia elaboradas por WENRA/ENSREG.
- No se ha identificado ningún aspecto que suponga una deficiencia relevante en la seguridad de estas instalaciones y que pueda requerir la adopción urgente de actuaciones en las mismas.
- Los informes presentados concluyen que, actualmente, se cumplen las bases de diseño y las bases de licencia establecidas para cada instalación.
- Existen márgenes que aseguran el mantenimiento de las condiciones de seguridad de las centrales más allá de los supuestos considerados en el diseño. Adicionalmente, para incrementar aún más la capacidad de respuesta frente a situaciones extremas, los titulares proponen la implantación de mejoras relevantes y el refuerzo de los recursos para hacer frente a emergencias.
- Las mejoras identificadas se realizarán en varias etapas, en función de sus características técnicas y de los plazos necesarios para su implantación.
- La evaluación del CSN ha identificado acciones y estudios complementarios para asegurar que todos los aspectos quedan adecuadamente tratados y que las acciones propuestas son eficaces. El CSN emitirá Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) a cada titular a principios de 2012, en las que se requerirá la implantación de las propuestas de mejora presentadas, así como la realización de estudios complementarios u otras modificaciones que el CSN considere necesarias. Entre las mejoras propuestas cabe destacar:
 - Ante la pérdida de energía eléctrica y de sumidero de calor: se deberán establecer medidas y actuaciones para mantener una corriente eléctrica continua a los controles e instrumentación. Se deberá disponer de equipos portátiles así como introducir mejoras que permitan recuperar la alimentación exterior desde centrales hidráulicas cercanas.
 - En cuanto a la organización ante emergencias: se construirán nuevos centros alternativos de gestión de emergencias en cada central, que soporten situaciones accidentales adversas, y se creará un centro común de apoyo en emergencias, con medios humanos y materiales disponibles para intervenir en cualquier central en un plazo máximo de 24 horas.
 - Ante accidentes severos: el CSN considera necesario que todos los titulares dispongan de venteo filtrado de la contención así como de recombinadores de hidrógeno en aquellas zonas que pueden presentar riesgo de acumulación del mismo. Se requerirá también la instalación de diversos métodos que permitan inyectar agua tanto en la vasija del reactor, como en los generadores de vapor o en la contención.
 - En cuanto al almacenamiento de combustible: el CSN requerirá a los titulares la disponibilidad de medios alternativos fijos y portátiles para aportar agua a la piscina de combustible gastado, así como mejoras en la instrumentación de medida de nivel y temperatura de dicho agua.Dentro del proceso de revisión entre pares (*peer review*), entre el 6 y el 8 de febrero de 2012 una delegación del organismo regulador español expuso en Luxemburgo el mencionado informe nacional con los resultados obtenidos y, posteriormente, entre el 20 y el 23 de marzo, una delegación de expertos in-

ternacionales, formada por seis miembros de otros organismos reguladores europeos y dos de la Comisión Europea, visitó nuestro país.

Los expertos, visitaron la central nuclear de Almaraz, y mantuvieron diversas reuniones, en la sede del organismo regulador, con los participantes en la redacción del informe nacional sobre las pruebas de resistencia para finalmente redactar un informe preliminar cuyas conclusiones recogían una "valoración positiva" del trabajo realizado tanto por los titulares de las centrales como por el Consejo de Seguridad Nuclear en relación con las pruebas de resistencia a las centrales nucleares bajo su supervisión.

El informe preliminar derivado de estos análisis será ahora examinado por el plenario encargado de coordinar las *peer reviews*, para ser posteriormente remitido a ENSREG, junto con el informe final y los informes nacionales de los países europeos que, al igual que España, están sometiendo a sus centrales a este exhaustivo proceso de revisión. Según la programación oficial, una vez sean los informes recibidos por la Comisión Europea, se celebrará un seminario público en el mes de mayo.

Comité de redacción

Resultados de la primera intercomparación de radiación natural en condiciones de campo

Los días 23 a 27 de mayo de 2011 tuvo lugar en una antigua mina de uranio de Enusa en el municipio de Saelices el Chico (Salamanca) el primer estudio intercomparativo sobre radiactividad natural en condiciones de campo. La reunión fue organizada por el Grupo de Radón de la Universidad de Cantabria, encabezado por el Prof. Dr. Luis S. Quindós Poncela con la colaboración de Enusa y el Consejo de Seguridad Nuclear. El principal objetivo de este evento era probar diferentes instrumentos y detectores para la medición de gas radón y radiación gamma ambiental (tasa de dosis) en condiciones reales, en un lugar donde los niveles de radiación natural fueran bastante altos.

Participaron en el ejercicio un total de 45 instituciones (aproximadamente, 100 personas) procedentes de los siguientes países: Austria, Bielorrusia, Bélgica, República Checa, Francia, Alemania, Hungría, Italia, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovenia, España, Suecia y Reino Unido.



- Las actividades objeto del estudio fueron las siguientes:
- Tasa de exposición de radiación gamma externa. Participaron en el estudio once laboratorios, en tres zonas distintas, utilizando varios equipos de medida y evaluando factores adicionales como el efecto de la temperatura sobre las medidas.
- Exhalación de ^{222}Rn en suelos y materiales de construcción. Participaron 17 laboratorios. Se analizaron diversos tipos tanto de sistemas de muestreo como de instrumentos de medida.
- ^{222}Rn en el interior del terreno a un metro de profundidad. Con la participación de 25 laboratorios con distintos tipos de detectores.
- ^{222}Rn y descendientes en el interior de un edificio y en el aire exterior.
- Concentración de ^{222}Rn en agua.

Los resultados preliminares de la intercomparación se presentaron en el *Convegno nazionale di radioprotezione-radiazioni naturali e artificiali nell'ambiente*, en Reggio Calabria (Italia) en octubre de 2011.

En marzo de 2012 se ha publicado el borrador del informe final de resultados que se encuentra para su consulta en la página http://www.elradon.com/web/wp-content/uploads/2012/03/Report_Inter-Saelices_2011_1_2_DRAFT.pdf

Comité de redacción

Proyecto DOMNES (DOsis Medicina Nuclear en España)

La Directiva 97/43/Euratom sobre exposiciones médicas establece la obligación de los estados miembros de determinar la distribución de las estimaciones de dosis individuales resultantes de las exposiciones médicas para la población y los grupos de referencia significativos. Esta obligación se incorporó en la reglamentación española, identificando al Consejo de Seguridad Nuclear y a las autoridades sanitarias como los responsables de su cumplimiento.

El Foro sobre Protección Radiológica en el Medio Sanitario, constituido por el Consejo de Seguridad Nuclear, la Sociedad Española de Protección Radiológica y la Sociedad Española de Física Médica, con la participación de la Sociedad Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular, han acordado, en noviembre de 2011, establecer un grupo de trabajo conjunto para llevar a cabo el proyecto DOMNES (DOsis Medicina Nuclear en España), que consistirá en la realización de una prospección de los procedimientos diagnósticos de medicina nuclear que se realizan en los centros sanitarios españoles. Esto permitirá evaluar las dosis que reciben los pacientes por cada procedimiento y estimar las dosis a la población debida a ellos. Por lo tanto, el desarrollo del proyecto Domnes requerirá la obtención, para los procedimientos diagnósticos más habituales en España durante el año 2011, de los datos de frecuencia de realización y actividad media administrada.

Para que el proyecto llegue a buen fin es imprescindible la colaboración de todos los servicios de medicina nuclear, radiofísica y radioprotección, en algunos casos incluso apor-

tando profesionales al mencionado grupo de trabajo. Por este motivo, se remitirá una carta, firmada por responsables de todas las entidades/sociedades anteriormente mencionadas, y cuyos destinatarios serán los gerentes de los centros hospitalarios, los jefes de servicios de medicina nuclear y los jefes de servicios de radiofísica y de radioprotección, solicitando la participación en el proyecto mediante la aportación de los datos que se consignarán en un cuestionario elaborado a tal efecto. No cabe duda, que también resultará necesaria la colaboración entre los mencionados servicios de un mismo centro hospitalario.

Toda la información recopilada será tratada con el máximo rigor en cuanto a confidencialidad y cumplimiento con la reglamentación vigente en materia de protección de datos personales y no será utilizada con otros fines que los asociados a este proyecto. Así, una vez finalizado el proyecto, a cada centro se le facilitarán los resultados particulares del mismo y los resultados globales, quedando además referenciado como centro colaborador en el documento técnico final.

Todas las sociedades participantes agradecen de antemano la colaboración de los centros sanitarios y sus profesionales.

Agustín Ruiz,

Servicio de Radiofísica y Radioprotección. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.

Ejercicio Gamma "Cogolludo 2012"

En aquellas emergencias que son declaradas de interés nacional por el Ministerio del Interior, la dirección operativa de las mismas recae en el general jefe de la Unidad Militar de Emergencias (UME). Por este motivo, el Cuartel General de la UME debe estar adiestrado para apoyar al general jefe de la UME en el desempeño de dicha función. Para lo cual el personal del Cuartel General y de las unidades de la UME realiza periódicamente ejercicios de planteamiento y conducción de operaciones.

Dentro de este contexto y para la actuación en la planificación, preparación y respuesta ante situaciones de emergencia, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y la UME tienen establecidos convenios específicos en los que se busca, principalmente, depurar procedimientos de actuación en situaciones en las que se podría participar conjuntamente en una emergencia de interés nacional.

Los días 6 y 7 de marzo de 2012 se llevó a cabo uno de estos ejercicios en el que se planteaban dos escenarios principales, uno en la provincia de Guadalajara y otro en la provincia de Granada, partiendo ambos de un seísmo que ocasiona daños graves a la población, sus bienes y las infraestructuras. Entre esos daños se plantea un escenario radiológico, consecuencia del seísmo, que simula un hundimiento del firme en la A-2, en la provincia de Guadalajara, ocasionando un accidente de tráfico que afecta a un vehículo de la Empresa Nacional de Residuos, S.A. (ENRESA), que transportaba material radiactivo retirado de instalaciones radiactivas y con destino al centro de almacenamiento de residuos de baja y media actividad de El Cabril (Córdoba). En el accidente, que afecta además a un vehículo civil, se produce el derrame y dispersión al aire de parte de la carga.

Miembros de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (Guardia Civil de Tráfico), primeros en llegar al lugar del



accidente, alertan al resto de agentes implicados entre los que se encuentra el CSN, Cruz Roja y la Unidad Militar de Emergencias que ya se encontraba activada debido al seísmo.

Desde el CSN se dan las recomendaciones adecuadas para la delimitación de zonas y las precauciones a tomar frente a la posible presencia de radiaciones ionizantes, que podrían afectar tanto al personal accidentado, como a todos los actuantes que participan en las distintas tareas de atención sanitaria, salvamento y las propias tareas policiales.

El CSN activa su Unidad de Intervención Radiológica la cual a su llegada al lugar del accidente y en comunicación constante con la Sala de Emergencias (SALEM) del CSN, coordina y gestiona las actuaciones necesarias para caracterizar radiológi-



camente la zona y, en base a ello, realizar el control radiológico de actuantes y planificar tiempos de actuación, comprobar la presencia de contaminación radiactiva y descontaminación del personal afectado por dicha contaminación.

En la caracterización del terreno, se comprueba el estado de la carga del vehículo de Enresa, determinándose que un bidón con equipos con fuentes de Co-60, Ra-226 y Cs-137 ha salido despedido del vehículo pero se encuentra intacto, un bidón con una fuente de Co-60 se ha abierto y la fuente ha salido despedida y que una saca con polvo de humo contaminado con Cs-137 ha salido despedida del camión, rompiéndose y dispersando el material en un radio de 5,6 m, lo cual significa que una superficie aproximada de 100 m² queda contaminada con polvo de acería.

Una vez caracterizado el terreno se coordinan y gestionan todas las acciones a llevar a cabo en el escenario propuesto. Recogiéndose en primer lugar la fuente sin blindaje, para lo cual se utiliza un robot del Cuerpo Nacional de Policía (NRBQ-TEDAX). En segundo lugar sacando el bidón intacto de la zona y por último, descontaminando la zona. En la descontaminación se generan *big-bags* de recogida de residuos radiactivos generados en el propio accidente que serían caracterizados por Enresa para su posterior retirada.

Por último se realiza la certificación de que la zona queda limpia y la vigilancia radiológica del personal implicado.

La actuación del Consejo de Seguridad Nuclear se desarrolló desde la Sala de Emergencias (SALEM) en la sede del CSN y, a través de personal destacado en el Centro de Coordinación Operativa y en el escenario del accidente, rea-

- lizando el seguimiento de la situación y de las actuaciones llevadas a cabo para la recuperación de las condiciones de seguridad y para la adopción de medidas de protección radiológica.

- En el desarrollo de este ejercicio participaron miembros del Ministerio de Defensa; Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado; Cruz Roja Española; Comunidad de Castilla-La Mancha; Dirección General de Protección Civil y Emergencias; Departamento de Infraestructuras y Seguimiento para Situaciones de Crisis; Consejo de Seguridad Nuclear; Empresa Nacional de Residuos; y Agencia Española de Meteorología.

- La realización de este ejercicio resultó de gran interés, destacando el gran despliegue de medios de todos los agentes involucrados y la coordinación entre éstos.

*Jaime García de la Sen,
Área de Planificación de Emergencias, CSN.*

El Servicio de Dosimetría de Radiaciones del Ciemat obtiene la acreditación de ENAC en base a la norma ISO IEC 17025

- El Servicio de Dosimetría de Radiaciones (SDR) del Departamento de Medio Ambiente del Ciemat ha obtenido la acreditación nº 144/LE1836 de la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), en base a la norma ISO IEC 17025, como reconocimiento de su competencia técnica para la realización de ensayos de medida de dosis de radiación.

- El alcance de la acreditación incluye la realización de ensayos de dosimetría externa para la determinación de dosis equivalente personal (Hp(d)) mediante dosímetros personales (corporales, de abdomen y de anillo) termoluminiscentes y para la determinación de dosis equivalente ambiental (H*(10)) mediante dosímetros ambientales y de área termoluminiscentes. En el campo de la dosimetría interna, y dentro del alcance de acreditación, se realizan ensayos para la asignación de la dosis efectiva comprometida E(50) debida a incorporación de radionucleidos en el organismo humano y que incluyen métodos directos mediante espectrometría gamma con sistemas de detección LEGe, NaI(Tl) y Fastscan, así como métodos indirectos mediante el análisis de muestras de orina y heces tras procesos de separación radioquímica y medida por espectrometría alfa, espectrometría de centelleo en fase líquida y fosforimetría cinética inducida por láser.

- De esta forma, el SDR es el primer servicio de dosimetría acreditado a nivel nacional para la realización de ensayos de dosimetría interna y uno de los primeros servicios acreditados a nivel europeo para la asignación de dosis interna debida a la incorporación de radionucleidos. Análogamente, es uno de los primeros servicios de dosimetría acreditados en España para la realización de ensayos de dosimetría personal y de dosimetría ambiental y de área y, en particular, el primer servicio de dosimetría personal español acreditado para la realización de dosimetría de extremidades mediante dosímetros de anillo.

*Raúl Martín,
Servicio de Dosimetría de Radiaciones del Ciemat.*

Celebración del *Workshop on Dose Calculations for Normal and Accident Conditions*

Yakarta, Indonesia. Marzo de 2012

Personal del Ciemat ha participado en el *Workshop on regulatory review of SAR sections concerning source term and dose calculations for normal and accident conditions* promovido por el organismo regulador de Indonesia (BAPETEN) y el OIEA debido a la intención del país de construir cuatro reactores nucleares para la generación de electricidad. El estado de dicha construcción es de momento muy preliminar, habiéndose seleccionado ya posibles emplazamientos.

El *workshop* fue dirigido, a modo de curso, por un grupo organizado por el OIEA, del cual formaba parte personal del Ciemat. En él se presentaron los distintos capítulos que se recogen en los Informes de Análisis de Seguridad (SAR) que se elaboran para el licenciamiento de una instalación nuclear. Además presentaron las distintas normas a nivel internacional y europeo que rigen sus contenidos. Se hizo además un especial hincapié en el cálculo del término fuente para distintos tipos de diseño de reactores nucleares, tanto en operación normal como en situaciones accidentales, utilizando distintas herramientas.

El Ciemat participó presentando los modelos de dispersión en el medio ambiente de los radionucleidos, procedentes de descargas en operación normal, recomendados por el OIEA en su documento SRS 19 (actualmente en revisión), así como el código CROM, desarrollado por la unidad PRPYMA y cedido al OIEA para su distribución a los países que lo necesitaran. Se realizaron varios ejercicios sobre la realización de evaluaciones de dosis sobre el público debidas a las descargas realizadas desde instalaciones nucleares utilizando dicho código. De forma adicional se realizó un ejercicio del uso de otras herramientas de reconocido prestigio (Rascal, Hotspot o Resrad) para las evaluaciones de dosis al público en situaciones accidentales, utilizando distintos tipos de información.

Juan Carlos Mora - Ciemat

Reunión Anual de Eurados AM2012

El frío gélido y la nieve recibieron a los más de 220 participantes de la Reunión Anual de EURADOS (*European Radiation Dosimetry Group*, www.eurados.org) en la preciosa Viena. El impresionante edificio del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) acogió entre sus muros a los asistentes a este evento del 6 al 10 de febrero. Se trata de un encuentro que año a año gana en interés y entusiasmo. Se podría decir que las tareas que desarrollan los ocho grupos de trabajo activos en Eurados en los distintos campos de la dosimetría de radiaciones ionizantes son el máximo reclamo

para mantener unida esta organización sin ánimo de lucro, de residencia fiscal en Alemania, que a pesar de la crisis económica que inunda Europa, cuenta con una situación financiera estable gracias a las cerca de 30 instituciones internacionales a modo de sponsors (cuota anual) y al apoyo económico de algunas de sus actividades como son proyectos de investigación, las intercomparaciones, los cursos y seminarios, las colaboraciones científicas y otros.

En esta ocasión el grupo de trabajo WG9 fue el responsable de la organización del *workshop Dosimetry for second cancer risk estimation in radiotherapy* en relación al área científica de la dosimetría del paciente. Los tratamientos de radioterapia implican normalmente dosis de decenas de Gray en el volumen blanco, haciendo inevitable que dosis más bajas de radiación afecten a otras partes del cuerpo. Las propiedades carcinogénicas de las radiaciones ionizantes conducen a cierta probabilidad de inducción de cáncer secundario en el paciente irradiado. Las mejoras en el tratamiento del cáncer han significado un aumento en el tiempo de supervivencia de los enfermos, por tanto en un futuro cercano se espera un crecimiento en la incidencia de cánceres secundarios. Además, un número mayor de exposiciones a cuerpo entero son la consecuencia de los últimos desarrollos tecnológicos en radioterapia: *Intensity Modulated Radiotherapy* (IMRT), tomo-terapia y técnicas de robótica mediante brazo mecánico. Mientras que los planes de tratamiento de radioterapia típicamente se focalizan en el cálculo de la distribución de dosis dentro y en la zona cercana al volumen blanco, la estimación del riesgo de cáncer secundario requiere primero la evaluación o medida de dosis en los órganos radiosensibles lejanos al volumen blanco. El *workshop* de Eurados introdujo a los participantes en las técnicas dosimétricas necesarias para la evaluación de las dosis fuera de campo y la estimación del riesgo de cáncer por radiación, y se discutió la problemática actual en este área. Se presentaron los resultados del grupo de trabajo WG9 *Radiation Protection Dosimetry in Medicine*, de EURADOS y del Proyecto de Investigación Allegro de la Comisión Europea (VI Programa Marco, Euratom) en lo que se refiere a riesgos sobre la salud a corto y largo plazo de los tejidos normales/sanos, por el uso de técnicas existentes y emergentes para radioterapia. Carles Domingo (UAB) fue uno de los ponentes del *workshop* en relación a métodos de dosimetría neutrónica. Los trabajos asociados a las presentaciones se publicarán en la revista *Radiation Measurements* a finales de 2012.

La Asamblea General de Eurados tuvo lugar después del *workshop*, con representación de 48 de los 56 *voting members* o instituciones/laboratorios que constituyen la organización. En esta ocasión Dosilab de Suiza, solicitó entrar en Eurados, y la moción fue aprobada por unanimidad. Tras el informe de la tesorería, los líderes de los ocho grupos de trabajo presentaron las actividades en curso y los resultados más relevantes obtenidos en 2011.

El grupo de trabajo WG2 *Harmonization of Individual Monitoring* coordinado por Joao Alves (ITN, Portugal) presentó la

nueva Intercomparación 2012 de dosimetría externa para fotones IC2012 (en cuyo grupo organizador está Ana Romero, del Ciemat) y anunció la primera Intercomparación para neutrones IC2012n. El WG2 va a organizar un curso de formación en la implementación de las recomendaciones técnicas para servicios de dosimetría externa publicadas como Report RP 160 de la Comisión Europea; el curso se celebrará en Cracovia en octubre de 2012. Teresa Durán (Tecnatom) se ha incorporado al WG2 en Viena.

El grupo de trabajo WG3 *Environmental Dosimetry* coordinado por Stefan Neumaier (PTB, Alemania) continúa con actividades relacionadas con la dosimetría ambiental y organizará en 2012 la 6ª Intercomparación de dosímetros ambientales. PTB ha puesto en marcha una nueva instalación bajo tierra en Graslleben (cerca de Braunschweig, Alemania). Rafael Rodríguez (Ciemat) se ha unido al grupo este año 2012.

La investigación en dosimetría computacional se lleva a cabo en Eurados por el grupo de trabajo WG6, cuyo coordinador Gianfranco Gualdrini (ENEA, Italia) está cercano a la jubilación y ha pasado el relevo a Rick Tanner (HPA, Reino Unido) quien es el nuevo líder del grupo. Es de destacar el gran éxito de la *EURADOS Voxel Phantom School* organizada en IRSN/Fontenay-aux-Roses el pasado otoño 2011 (José María Gómez Ros del CIEMAT estuvo implicado en la organización del mismo). Al final de esta acción formativa se celebró una jornada de presentación de resultados de la Intercomparación Monte Carlo para la determinación *in vivo* de uranio enriquecido en pulmón en un maniquí *Livermore* tipo torso con detectores de germanio; esta intercomparación fue llevada a cabo en colaboración con el grupo WG7 de dosimetría interna.

El grupo de trabajo WG7 *Internal Dosimetry* está coordinado por María Antonia López (Ciemat). Se cuenta con un nuevo subgrupo de trabajo en relación con cursos y propuesta de acciones de formación en dosimetría interna de forma regular. Un cuestionario ha sido distribuido vía web y la *Newsletter* de Eurados para conocer las necesidades de los países europeos en el tema. Se va a organizar un curso en Karlsruhe (Alemania) sobre la aplicación de métodos de Monte Carlo y maniqués tipo *Voxel* para la calibración de equipos de medida *in vivo* de la contaminación interna. En esta línea se ha iniciado también una campaña de intercomparación de medidas y simulación Monte Carlo de americio en cráneo, en tres maniqués tipo cabeza que contienen Am-241 en hueso. Borja Bravo (Tecnatom) también participa en el grupo.

El grupo de trabajo de Eurados en relación con la dosimetría en exposiciones médicas es el WG9 *Radiation Protection Dosimetry in Medicine* coordinado por Roger Harrison (Reino Unido). Los resultados del grupo se han presentado en el *workshop* de la Reunión Anual AM2012 en Viena, anteriormente citado.

Respecto a la dosimetría retrospectiva, Paola Fattibene (ISS, Italia) coordinadora del WG10, anunció la organización del curso en aplicaciones de métodos de dosimetría retrospectiva (biodosimetría y dosimetría física), que se celebrará en Neuherrberg, Alemania del 22-26 de octubre de 2012. Virgilio Correcher (Ciemat) participa activamente en las actividades del WG10.

El grupo de trabajo WG11 *High Energy Radiation Fields* es dirigido por Werner Ruhm (HMGU, Alemania). Este grupo

colabora con la Comisión Europea, DG-EN en relación a un estudio comparativo de códigos de cálculo de dosis de tripulaciones aéreas que generará en 2012 un *Report EURADOS-EC*.

Finalmente el grupo de trabajo WG12 *European Medical ALARA Network* es liderado por Filip Vanhavere (SCK-CEN, Bélgica) y está vinculado al Proyecto EMAN de la Comisión Europea que finaliza en 2012. Existe además la posibilidad de sacar adelante un nuevo proyecto europeo, continuación del exitoso Oramed, que podría ser liderado por Merce Ginjaume (INTE).

Una parte importante de las actividades del *Council* de Eurados es establecer líneas de diseminación del conocimiento científico generado por la organización. Para ello se cuenta con la página web de Eurados (www.eurados.org) que está en proceso de actualización. Además se distribuye vía web la *EURADOS Newsletter* con noticias e información de interés para la comunidad de expertos en la dosimetría de las radiaciones ionizantes. Se ha iniciado la publicación de *Reports EURADOS* que contendrán resultados obtenidos por los grupos de trabajo que por su relevancia merecen ser recogidos en un documento que podrá ser referenciado en la literatura y que será distribuido en formato pdf y también en papel. El primer *Report 2012-01* corresponde a los resultados de la intercomparación de servicios de dosimetría externa IC2008, generado por el WG2. En preparación están los *reports* correspondientes a la presentación de resultados de la Intercomparación IC2009, la nueva versión de las Guías Ideas para la evaluación de dosis por exposición interna (WG7), los *reports* de los grupos WG9 y WG10, la publicación sobre la dosimetría de tripulaciones aéreas (WG11) y el informe final del Proyecto Oramed sobre la dosimetría del personal médico expuesto en procedimientos con radiaciones ionizantes.

La próxima Reunión Anual de Eurados AM2013 se celebrará en Barcelona, organizada por Mercé Ginjaume (INTE) probablemente en febrero de 2013. Esta vez será el sol y el mar del Mediterráneo los que acogerán a la familia Eurados en su evento anual.

María Antonia López Ponte
Responsable del Servicio de Dosimetría Interna del CIEMAT

ICNIRP

Abierta consulta pública de un borrador de directrices para limitar la exposición del campo eléctrico inducido por el movimiento del cuerpo humano en el seno de un campo magnético

El borrador de las directrices de ICNIRP, para limitar la exposición a campos eléctricos inducidos por el movimiento del cuerpo humano en un campo magnético estático, y por campos magnéticos variables en el tiempo por debajo de 1 Hz, se encuentra disponible para consulta pública hasta el 24 de mayo de 2012. El objetivo es establecer las normativas para limitar la exposición ocupacional a Campos Magnéticos (CM) estáticos intensos, a fin de garantizar la protección contra efectos establecidos como adversos para

la salud. Estas directrices no están dirigidas al público general, ya que las exposiciones a CM intensos por debajo de 1 Hz se dan exclusivamente en el ámbito ocupacional. Las directrices tampoco se aplican a la exposición de pacientes sometidos a diagnóstico o tratamiento médico. La revisión externa abierta da la oportunidad de aportar comentarios y sugerencias a cualquier persona interesada en la protección ante radiaciones no ionizantes. Dado que el borrador se presenta exclusivamente para su revisión, el documento no debe ser citado ni referenciado.

La información relativa al progreso de las directrices y a su fecha de publicación se hará pública a través de la página web de ICNIRP y por correo electrónico. La versión definitiva de las directrices estará disponible en la página web de ICNIRP poco después de su publicación.

Los documentos para participar en la revisión del borrador se encuentran disponibles en la dirección web: www.icnirp.org/OpenMovement/OpenMovement.php.

M^a Ángeles Trillo - Hospital Universitario Ramón y Cajal.

Jornada de la Sociedad Francesa de Radio Protección (SFRP) sobre "El accidente de Fukushima, consecuencias radiológicas y primeras enseñanzas"

El día 9 de febrero tuvo lugar en París una jornada organizada por la Sociedad Francesa de Radio Protección (SFRP) sobre el accidente de Fukushima ocurrido en Japón en marzo de 2011, asistiendo más de 300 personas procedentes de Francia y de países limítrofes como Alemania, Bélgica, España y Suiza. Su objetivo fue presentar la información disponible sobre las consecuencias radiológicas del accidente de la central de Fukushima, centrándose principalmente en las consecuencias para Japón e identificando las perspectivas para la gestión post-accidente en Francia.

Participaron activamente representantes de diversas entidades, tanto públicas como privadas, (CEA, ASN, IRSN, GRS, EDF, AREVA y otras).

En la primera sesión de la jornada se presentó la evolución del accidente y las acciones de seguridad y protección implantadas sobre el terreno, incluyendo el tratamiento de los efluentes, el seguimiento sanitario de los trabajadores y las actuaciones del grupo francés de Intervención Robótica en Accidentes (INTRA) en Fukushima.

La segunda sesión analizó el impacto del accidente en el medioambiente, describiendo sus consecuencias sobre el medio terrestre, medio marino y las perspectivas para la rehabilitación de los suelos.

En la tercera sesión se abordaron los aspectos relativos al impacto sobre la población, considerando las acciones llevadas a cabo por las autoridades japonesas en relación a su vigilancia y seguimiento, problemas sanitarios y primeras reflexiones sobre la aplicación de las recomendaciones de la ICRP para la gestión a largo plazo. También se trató la importación a Francia de alimentos procedentes de Japón, así como las cues-

• tiones planteadas por la población en Francia y Alemania tras el accidente.

• La cuarta sesión se dedicó a la protección de los trabajadores franceses intervinientes en Japón, exponiendo aspectos relativos al derecho laboral aplicable a los trabajadores que desarrollan su trabajo en el extranjero y a la experiencia de la empresa Areva en relación a la protección de sus trabajadores en Japón.

• En la última sesión se abordaron los aspectos relativos a la gestión post-accidente en Francia teniendo en cuenta las experiencias adquiridas como consecuencia del accidente de Fukushima.

Carmen Rey y Cristina Parages, CSN.

Las unidades de resonancia magnética eximidas del cumplimiento de la futura directiva para la protección ocupacional ante radiaciones no ionizantes

• La Unión Europea prepara una nueva propuesta de la Directiva para la protección ante la exposición a radiaciones no ionizantes en el ámbito ocupacional. La nueva propuesta modifica la Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos). La Directiva forma parte de un paquete de cuatro directivas sobre la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos: ruido, vibraciones, campos electromagnéticos y radiaciones ópticas.

• El Comité de Salud de la Unión Europea ha aprobado un reglamento para que el uso de la resonancia magnética (RMI) quede eximido del cumplimiento de la futura Directiva.

• Así, el día 24 de enero de 2012, el citado comité votó casi unánimemente a favor de un conjunto de normas de excepción para las aplicaciones de la MRI como parte de las directrices para los campos electromagnéticos (EMF *guidelines*). Ello, para permitir un uso no restringido de dicha aplicación médica en Europa. Esto implica que el personal debe estar entrenado y observar protocolos de actuación estrictos.

• La nueva propuesta se encuadra en la Directiva Marco 89/391/CEE, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en ambientes ocupacionales. La Directiva no aborda los efectos a largo plazo, incluidos los efectos cancerígenos, que pudieran producirse como consecuencia de una exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, respecto de los cuales ICNIRP considera que no hay datos científicos concluyentes que permitan establecer la existencia de una relación causal. Por otra parte, en la Directiva no se contemplan, por el momento, valores límite de exposición para los campos magnéticos estáticos que estén pendientes de evaluaciones científicas posteriores.

• Las medidas propuestas tienen como finalidad establecer una base mínima de protección para todos los trabajadores

de la Unión, dejando a los estados miembros la posibilidad de adoptar tales medidas u optar por disposiciones más estrictas. Además, la aplicación de la futura Directiva no podrá servir para justificar una regresión de aquellas disposiciones más estrictas que pudieran existir en los estados miembros previamente a su entrada en vigor.

- El documento está disponible en la página web:
- <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0015:FIN:ES:PDF>
-
-

María Ángeles Trillo
Hospital Universitario Ramón y Cajal



STAR (Strategy for Allied Radioecology)

El 1 de febrero de 2011 comenzó su andadura la Red de Excelencia Europea en Radioecología STAR (*Strategy for Allied Radioecology*) dentro del 7º Programa Marco de la UE. En STAR participan 9 instituciones europeas, incluido el Ciemat y su duración es de cuatro años y medio. El principal objetivo de esta red de excelencia es conseguir una integración de la investigación en radioecología a nivel europeo, evitando además el declive que dicha disciplina estaba sufriendo en los últimos años.

Para cumplir con estos objetivos se han definido siete grupos de trabajo, uno dedicado a la gestión del proyecto, tres de investigación en radioecología (efectos de las bajas dosis de radiación en la biota no-humana; efectos de la exposición a múltiples contaminantes, siendo uno de ellos la radiación ionizante; y desarrollo de herramientas para la evaluación integrada de los riesgos radiológicos en humanos y la biota no-humana), y por último tres grupos de trabajo centrados en la integración de las nueve instituciones (mediante el desarrollo de una Agenda Estratégica de Investigación), la formación, educación y movilidad, y la diseminación de resultados.

En estos tres últimos grupos se están llevando a cabo varias tareas de gran importancia para STAR. Por un lado se están elaborando dos bases de datos, una que recolectará todos los datos sobre metodologías e infraestructuras de las nueve instituciones y una segunda que recopilará información sobre las bases de datos que cada una de ellas posee, principalmente conteniendo datos de medidas en el medio ambiente. Por otro lado se están definiendo las características que un observatorio europeo en radioecología deberá tener, para después concretar qué emplazamiento podría ser el mejor candidato para ser utilizado con fines de investigación y de forma común por todas las organizaciones interesadas. Otro grupo de trabajo

- está centrado en definir las posibles opciones para conseguir programas de formación y educación comunes en radioecología. Finalmente, uno de los grupos de trabajo se encarga de la diseminación de todo lo logrado en la red, mediante el uso de trípticos, *newsletters* y principalmente mediante la creación de una página electrónica basada en tecnología *Wiki* que se desarrolla a medida que el proyecto avanza. Puede consultarse dicha web y todo el contenido ya disponible de forma pública en www.star-radioecology.org.

- Para conseguir los objetivos de cada uno de los grupos de trabajo ya se han realizado diversas reuniones, tanto de forma presencial como mediante el uso de videoconferencias.
- Una primera reunión se realizó en marzo de 2011 en Saint Maximin La Saint Baume (Francia) como lanzamiento de STAR
- y presentación de las líneas de trabajo de cada uno de los grupos por parte de los respectivos líderes. La segunda de las reuniones se celebró en Helsinki en mayo, dedicada a la inte-



Participantes de STAR durante la primera reunión de lanzamiento de la Red en Saint Maximin La Saint Baume (Francia)



Participantes de STAR durante la reunión de Helsinki (Mayo, 2011)

gración y los criterios de elección del Observatorio Europeo en Radioecología, además de a la definición de las necesidades en formación y educación en radioecología utilizando las opiniones de varios grupos interesados que participaron en la reunión. También en mayo se celebró una reunión en el SCK de Mol (Bélgica) sobre efectos de dosis bajas de radiación y múltiples contaminantes. En junio, con ocasión del Congreso sobre Radioecología, celebrado en Hamilton (Canadá), STAR dio a conocer su plan de trabajo y su objetivo de integrar la investigación en radioecología no solo a nivel europeo sino también a nivel internacional. En octubre de 2011 se celebró otra reunión de trabajo en Lancaster, esta vez sobre disseminación de la información, la base de datos de infraestructuras de la red y sobre las necesidades para la integración de los sistemas de protección radiológica de humanos y de la biota no-humana. A principios de diciembre se celebró de forma adicional una reunión de trabajo en Madrid donde se definió la forma de crear una herramienta computacional que integre los desarrollos obtenidos en la red, y que integre los sistemas de PR de humanos y biota no-humana.

En un futuro inmediato se definirán los emplazamientos que serán posibles candidatos para ser observatorios europeos en radioecología, se comenzarán los trabajos para desarrollar la herramienta computacional que permita una evaluación integrada de riesgos radiológicos en humanos y biota no-humana y se continuarán los experimentos con bajas dosis y múltiples contaminantes, entre otras tareas que deben llevarse a cabo para alcanzar los objetivos marcados dentro de STAR.

*Almudena Real y Juan Carlos Mora
Ciemat. Miembro de la Red de excelencia STAR*

Jornada de I+D del CSN 2011

El día 6 de marzo tuvo lugar la Jornada de I+D sobre seguridad nuclear y protección radiológica que anualmente celebra el CSN. Esta jornada se dedica a presentar el desarrollo de las actividades de I+D del CSN durante el año anterior, que se enmarcan dentro del Plan de I+D que ha estado en vigor entre 2008 y 2011.

La jornada fue inaugurada por el consejero Antonio Colino, presidente de la Comisión de Formación e I+D (COFID) del CSN y de la plataforma tecnológica Ceiden. A continuación, dado que el Plan de I+D en vigor ha finalizado, se realizó un resumen de los aspectos más destacados de su desarrollo.

Durante el periodo 2008 a 2011, el CSN ha participado en 65 nuevos proyectos de I+D, a los que hay que sumar los que ya estaban en vigor al iniciarse 2008. Con ello, se llega a un total de 98 acuerdos de colaboración y subvenciones gestionados durante la vigencia del pasado plan. La inversión realizada por el CSN en nuevos proyectos durante ese periodo ha sido aproximadamente de 10.800.000 de euros. Los proyectos de investigación relacionados con la protección radiológica que se han iniciado son los que se muestran en la tabla de la página siguiente.

En la jornada se contó con la presencia del Sr. Greg Lamarre, de la División de Seguridad Nuclear de la Agencia

de Energía Nuclear de la OCDE, que es el responsable del plan de acción de la agencia como respuesta al accidente de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi. Su presentación resumió las actividades de I+D que la agencia plantea para el futuro próximo en este contexto, y que están siendo coordinadas por los comités de protección radiológica y salud pública, de seguridad de las instalaciones nucleares y de regulación nuclear.

Además de proporcionar una visión resumida de los resultados de los proyectos de I+D durante el periodo 2008-2011, se presentaron con detalle varios proyectos, siendo los correspondientes a protección radiológica los siguientes:

- Estudio de radioprotectores de origen alimentario para pacientes y trabajadores en procedimientos de tratamiento o diagnóstico médico con radiaciones (Universidad de Valencia).

- Estudio de la problemática existente en la determinación del índice de actividad alfa total en aguas potables. Propuesta de procedimientos (Universidad de Extremadura).

El borrador del Plan de I+D del CSN para el cuatrienio 2012-2015 se encuentra actualmente finalizado, y dispuesto para ser aprobado por el Consejo en breve plazo. En este nuevo plan se han recogido tanto las lecciones aprendidas del Plan anterior como los temas técnicos novedosos, entre ellos los puestos en evidencia por el accidente de Fukushima que se ha citado, los asociados a la construcción y operación del almacenamiento temporal centralizado y a la gestión de la vida útil de las centrales nucleares. Igualmente se han tenido en cuenta los planes de investigación de diversas organizaciones nacionales e internacionales.

Los programas de I+D que se incluyen en el borrador del plan, y que aún pueden sufrir modificaciones, son los siguientes:

- Operación y gestión del combustible nuclear.
- Comportamiento de materiales y gestión de vida.
- Desarrollo de códigos y modelación.
- Metodologías de análisis de seguridad.
- Sucesos internos y externos.
- Accidentes severos.
- Residuos radiactivos.
- Control de la exposición a la radiación y protección del medioambiente.
- Dosimetría y radiobiología.
- Protección radiológica del paciente.
- Gestión de emergencias.
- Seguridad física.

La Jornada de I+D fue clausurada por la consejera Rosario Velasco, vicepresidenta de la Cofid. En su intervención, la consejera adelantó algunas ideas que se pretende abordar a corto plazo, entre las que destaca el crear una plataforma tecnológica de investigación en protección radiológica, que juegue un papel similar al que ahora mismo lleva a cabo la plataforma tecnológica Ceiden en el campo de la investigación en seguridad nuclear.

José Manuel Conde, CSN.

PROYECTOS RELACIONADOS CON LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA INICIADOS EN EL PLAN DE I+D 2008-2011 DEL CSN

Titulo	Programa	Organización
Aplicación del modelo dinámico RAGENA (<i>Radon Generation Entry and Accumulation Indoors</i>) al módulo experimental de Saelices el Chico (Salamanca).	Control de la exposición a la radiación	UAB - Universidad Autónoma de Barcelona
Desarrollo de un ejercicio internacional de intercomparación de medidas de radiación natural en condiciones de campo.	Control de la exposición a la radiación	Universidad de Cantabria
Emisión de radón en los materiales volcánicos de las Islas Canarias: implicaciones en infraestructuras residenciales y obras públicas.	Control de la exposición a la radiación	Universidad de La Laguna
Estudio de la instrumentación de vigilancia radiológica ambiental y de medida de radón en condiciones ambientales extremas.	Control de la exposición a la radiación	UAB - Universidad Autónoma de Barcelona
Estudio de la problemática existente en la determinación del índice de actividad alfa total en aguas potables. Propuesta de procedimientos.	Control de la exposición a la radiación	Universidad de Extremadura
Estudio sobre la distribución de radioisótopos naturales y de radón en las Islas Canarias orientales.	Control de la exposición a la radiación	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Medida de concentraciones de radón en lugares de trabajo con especial exposición.	Control de la exposición a la radiación	Universidad de Extremadura
Sistemas de detección dinámica de material radiactivo mezclados con otros materiales con equipos fijos y móviles.	Control de la exposición a la radiación	UPM - Universidad Politécnica de Madrid
Actualización de las técnicas de biodosimetría de acuerdo a los estándares internacionales para su inclusión en redes de cooperación internacional en emergencias radiológicas en el marco de la OMS.	Dosimetría y radiobiología	F. Hospital General Universitario Gregorio Marañón
Caracterización de los campos de radiación en radiología intervencionista. Optimización de la dosimetría individual para los trabajadores de este ámbito.	Dosimetría y radiobiología	UPC - Universidad Politécnica de Cataluña
Desarrollo y cualificación de dosímetros avanzados.	Dosimetría y radiobiología	UCM - Universidad Complutense de Madrid
Detección del daño genético inducido por las radiaciones ionizantes en células de interfase. Aplicaciones en dosimetría biológica.	Dosimetría y radiobiología	UAB - Universidad Autónoma de Barcelona
El envejecimiento celular en los riesgos de bajas dosis de radiación.	Dosimetría y radiobiología	UAB - Universidad Autónoma de Barcelona
Estimación de riesgo radiológico a los pacientes en radiología intervencionista.	Dosimetría y radiobiología	Universidad de Málaga
Estudio de radioprotectores de origen alimentario para pacientes y trabajadores en procedimientos de tratamiento o diagnóstico médico con radiaciones.	Dosimetría y radiobiología	Universidad de Valencia
Estudio del riesgo radiológico en la soldadura por arco.	Dosimetría y radiobiología	Universidad del País Vasco
Identificación de los genes implicados en la respuesta radioadaptativa al desarrollo de los linfomas linfoblásticos de células T inducida por la exposición a bajas dosis de radiación	Dosimetría y radiobiología	UAM - Universidad Autónoma de Madrid
Innovación tecnológica en radiobiología: desarrollo de una plataforma automatizada para DBD-FISH y optimización de un test rápido de apoptosis leucocitaria y del Sperm Chromatin Test (SCD) como nuevos dosímetros biológicos.	Dosimetría y radiobiología	F. Centro Oncológico de Galicia JAQP
Medida de las dosis neutrónicas en pacientes sometidos a radioterapia para la selección óptima de la estrategia de tratamiento que permita la reducción del riesgo radiológico de padecer un segundo cáncer.	Dosimetría y radiobiología	USE - Universidad de Sevilla
Participación de la Universidad Autónoma de Madrid en la asociación europea Melodi.	Dosimetría y radiobiología	UAM - Universidad Autónoma de Madrid
Extensión del acuerdo marco para el desarrollo del programa sobre criterios de diseño y seguridad para el almacenamiento y transporte del combustible gastado.	Residuos radiactivos	ENRESA - Empresa Nacional de Residuos SA

Publicaciones CSN

Instrucción IS-32 (16 de noviembre de 2011)

Sobre especificaciones técnicas de funcionamiento de centrales nucleares. Publicada en el BOE nº 292 de 5 de diciembre de 2011



Las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF) constituyen el conjunto de requisitos mínimos que garantizan la operación segura de una central nuclear. El Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, en su artículo 20.c) requiere que la solicitud de autorización de explotación vaya acompañada de, entre otros documentos, las ETF. La propia Autorización de Explotación (AE) indi-

ca en su apartado 3.1 el régimen de modificaciones y exenciones aplicable a las ETF, cuyo contenido se regula en la presente instrucción del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

Hasta este momento, y a falta de normativa técnica propia en este campo, el CSN ha venido aplicando la normativa de EEUU, país de origen de la tecnología de la mayoría de las centrales españolas y ha evaluado e inspeccionado el cumplimiento de esta normativa en todas las fases de la explotación de las centrales.

La presente instrucción del CSN tiene como objetivo establecer los criterios generales con los que se deben definir y revisar las ETF de una central nuclear durante su explotación. En su elaboración se ha tenido en cuenta la normativa de los países de origen de la tecnología de las centrales españolas y la del Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), así como la experiencia adquirida a lo largo de los años en relación con este tema. Adicionalmente, se ha tenido en cuenta el trabajo llevado a cabo por la *Western European Nuclear Regulators' Association* (WENRA) con objeto de armonizar la reglamentación de los diferentes países. Como resultado de este esfuerzo, se ha establecido un conjunto de requisitos comunes denominados **niveles de referencia** que deberán quedar reflejados en la normativa nacional. En concreto, el documento de niveles de referencia de WENRA establece en el capítulo H (*Operational Limits and Conditions*) el conjunto mínimo de requisitos aplicables a las ETF.

Con la presente instrucción se define un marco normativo aplicable a las centrales nucleares españolas coherente con el marco normativo europeo en esta materia.

Instrucción IS-33 (21 de diciembre de 2011)

Sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural (BOE del 26 de enero de 2012)

El Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSRI), aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, establece, en sus artículos 62 y 63 del título VII, disposiciones relativas las fuentes naturales de radiación.



El artículo 62 establece que los titulares de las actividades laborales, no reguladas en el artículo 2.1, en las que existen fuentes naturales de radiación, deben declarar estas actividades ante los órganos competentes en materia de industria de las comunidades autónomas en cuyo territorio se realizan estas actividades laborales y realizar los estudios necesarios a fin de determinar si existe un incremento significativo de la exposición de los trabajadores o de los miembros del

público que no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.

El Consejo de Seguridad Nuclear, a la vista de los resultados de los estudios realizados al amparo del artículo 62, identificará aquellas actividades laborales que deban ser objeto de especial atención y estar sujetas a control, y definirá aquellas que deban poseer dispositivos adecuados de vigilancia de las exposiciones y, cuando sea necesario establecerá la aplicación de acciones correctoras destinadas a reducir las exposiciones o de medidas de protección radiológica de acuerdo, total o parcialmente, con otros títulos del reglamento (II, III, IV, V y VI).

El reglamento no especifica los criterios radiológicos que harían necesaria la aplicación de medidas correctoras o de protección y, por ello, se consideró necesario establecerlos de forma que sirvan de referencia para las autoridades competentes y para los titulares de las actividades laborales afectadas, por lo que el Consejo, previa consulta a los sectores afectados y tras los informes técnicos oportunos, en su reunión del día 21 de diciembre de 2011, acordó publicar la nueva instrucción IS-33 sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural.

La IS-33 ha sido publicada en el número 22 del Boletín Oficial del Estado, el pasado jueves 26 de enero de 2012, proponiendo como objeto de la misma el establecimiento de criterios radiológicos sobre determinados aspectos relacionados con la exposición a la radiación natural en lugares de trabajo. Estos aspectos son:

- Valores de dosis efectiva a los trabajadores cuya superación requeriría la adopción de medidas correctoras o dispositivos de vigilancia.
 - Concentraciones de radón en lugares de trabajo cuya superación requeriría la adopción de medidas correctoras o dispositivos de vigilancia.
 - Aplicación total o parcial de los títulos del RPSRI citados en el título VII, en los casos en los que los resultados de los estudios demuestren que se han superado los niveles de dosis efectiva establecidos o las concentraciones de radón.
- La instrucción establece también los datos a incluir en la declaración de actividades que deben hacer los titulares de las actividades laborales en las que existan fuentes naturales de radiación y en qué casos estos titulares deben remitir a los órganos competentes en materia de industria de las comunidades autónomas los estudios que requiere el título VII del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSRI).

La instrucción es aplicable a los titulares de las actividades laborales en las que existan fuentes naturales de radiación, que están dentro del ámbito de aplicación del artículo 62 del RPSRI, que, sin carácter exhaustivo, son las que se listan en el anexo a esta instrucción.

Instrucción IS-34 (18 de enero de 2012)

Sobre criterios en relación con las medidas de protección radiológica, comunicación de no conformidades, disponibilidad de personas y medios en emergencias y vigilancia de la carga en el transporte de material radiactivo. Publicada en el BOE nº 30 de 4 de febrero de 2012.



El artículo 4.2 del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, establece que las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones potenciales, deberán mantenerse en el valor más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores económicos y

- sociales. Así mismo, su disposición adicional cuarta dispone
- que el transporte de material radiactivo, en todo lo que no esté expresamente regulado por su legislación específica, se regirá por los preceptos de este Reglamento en cuanto le sean de aplicación.
- El artículo 78.1 del Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, aprobado por Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, establece que los transportistas de materiales radiactivos en bultos no exceptuados, deberán declarar esta actividad inscribiéndose en un registro que, a tal efecto, se establecerá en la Dirección General de Política Energética y Minas denominado «Registro de transportistas de Materiales Radiactivos». El desarrollo de la actividad de transporte de material radiactivo debe ajustarse, tanto a la reglamentación sobre transporte de mercancías peligrosas como al Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes y demás legislación nuclear aplicable.
- En España, el transporte de materiales radiactivos por carretera está regulado por el Real Decreto 551/2006, de 5 de mayo, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español, que remite al cumplimiento del Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR). El apartado 1.7.6 de este Acuerdo establece las medidas a adoptar por los participantes de un transporte de material radiactivo en caso de

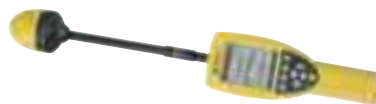


Soluciones de Test & Medida

- **Garantizar la seguridad** de los técnicos, los trabajadores y los ciudadanos en general es nuestra misión.
- Disponemos de la más amplia gama de equipos para medida de **radiaciones no ionizantes**.



Líder en medición de campos electromagnéticos



NBM-550

Para medidas de campo E y H desde 100 KHz a 60GHz.



SRM - 3000

Para medidas selectivas de campo E y H. Indican la contribución de las fuentes individuales.



ELT - 400

Para medidas de campo H en entornos industriales.



Radman XT

Equipos personales de bolsillo. Avisan al portador de la existencia de campos E y H por encima de la norma.



Monitores de áreas Narda

Monitorizan y registran los valores del campo, con medidas selectivas y de banda ancha.

976 013 300

Plataforma Logística (Pla-Za)
C/ Alaún, 8. cp 50197 Zaragoza

electronica@inycom.es

www.inycom.es

no conformidades, pero sólo las que afecten a cualquiera de los límites del ADR aplicables a la intensidad de radiación o a la contaminación.

El artículo 4 del Real Decreto 387/1996, de 1 de marzo, por el que se aprobó la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de accidentes en los transportes de mercancías peligrosas por carretera y ferrocarril, requiere la colaboración de expedidores y transportistas en caso de emergencia por accidente en el transporte de mercancías peligrosas con las autoridades competentes en cada caso.

El CSN considera que determinados requisitos reglamentarios relacionados con el transporte de materiales radiactivos no están suficientemente desarrollados en las reglamentaciones citadas o pueden dar lugar a diferentes interpretaciones, por lo que estima necesario establecer una serie de disposiciones que recojan los criterios sobre las actuaciones que se deben llevar a cabo en relación con la vigilancia radiológica de los vehículos de transporte, la optimización de las dosis que puedan recibir los trabajadores y el público en operaciones derivadas del transporte, la actuación en caso de emergencias, la definición de las no conformidades que se detecten en el transcurso de las operaciones de transporte que deben ser notificadas y su tratamiento y la vigilancia de los vehículos y de su carga.

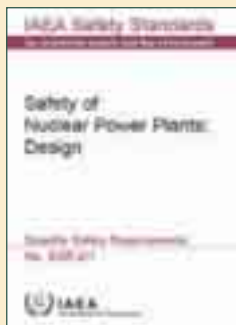
SDB-04.04 La protección radiológica en la industria, la agricultura, la docencia o la investigación



Publicación divulgativa del CSN sobre la Protección Radiológica en actividades humanas en industria, agricultura y la docencia o la investigación. Útil para los servicios de Protección Radiológica en su labor pedagógica y de divulgación de los riesgos asociados al uso de radiaciones ionizantes. Contempla capítulos sobre las radiaciones ionizantes, sus riesgos, los efectos biológicos, el sistema de protección radiológica, medidas de protección radiológica, producción y gestión de residuos radiactivos, disposiciones legales, etc.

CSN. Referencia: SDB-04.04
Depósito Legal: BI-459-201

Publicaciones OIEA



Safety of Nuclear Power Plants: Design
IAEA Safety Standards Series SSR-2/1

Sobre la base de los principios incluidos en los Principios fundamentales de seguridad de la Serie de Normas de Seguridad de la IAEA el No SF-1, esta publicación establece exigencias aplicables al diseño de centrales nucleares. Estas exigencias cubren la

fase de diseño y proporcionan un punto de partida para la posterior protección operacional de la central nuclear. Contenido: 1. Introducción; 2. Aplicación de los principios de seguridad y conceptos; 3. Gestión de la seguridad en el diseño de las plantas; 4. Exigencias técnicas principales; 5. Diseño general de las plantas; 6. Diseño de sistemas de planta específicos.

ISBN:978-92-0-121510-9
Disponibile en http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1534_web.pdf

Seguridad de las centrales nucleares: Puesta en servicio y explotación

Colección de normas de seguridad del OIEA SSR-2/2



La presente publicación es la versión en castellano de la revisión del documento de Requisitos de Seguridad titulado "Seguridad de las centrales nucleares: Explotación", que se publicó en 2004 como el Vol. No NS-R-2 de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA. La finalidad de esta revisión era reestructurar la publicación No NS-R-2 de la Colección de Normas de Seguridad en vista de la nueva experiencia operacional y

las nuevas tendencias en la industria nuclear; introducir nuevos requisitos que no se incluían en relación con la explotación de centrales nucleares; y reflejar las prácticas actuales, los nuevos conceptos y los adelantos técnicos. La versión original en inglés fue publicada en 2011.

ISBN:978-92-0-324910-2
Disponibile en http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1513s_web.pdf

Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries

IAEA Safety Standards Series SSG-17



La presencia indeseada de fuentes huérfanas y otros materiales radiactivos en las plantas de reciclaje y producción de metal han causado accidentes radiológicos serios así como impactos dañinos tanto ambientales, como sociales y económicos.

Esta Guía de Seguridad proporciona recomendaciones, la puesta en práctica de las cuales debería prevenir tales accidentes y proporcionar la confianza necesaria en que la chatarra y los productos reciclados están libres de radiactividad.

Contenido: 1. Introducción; 2. Protección de la gente y el entorno; 3. Responsabilidades; 4. Monitorización de material radiactivo; 5. Respuesta al descubrimiento de material radiactivo;

6. Tratamiento de áreas contaminadas; 7. Gestión del material radiactivo recuperado; Anexo I. Revisión de los principales accidentes debidos a la presencia de material radiactivo en plantas de reciclaje y producción de metal; Anexo II: Clasificación de fuentes radiactivas; Anexo III: Algunos ejemplos de iniciativas nacionales e internacionales.

ISBN:978-92-0-115510-8

Disponible en http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1509_web.pdf

Monitoring for Compliance with Exemption and Clearance Levels

IAEA Safety Reports Series 67



Durante la operación de las instalaciones radiactivas y especialmente en el momento de su desmantelamiento, se genera una gran cantidad de residuos, muchos de ellos con actividades que se encuentran por debajo de los límites que obligan a establecer controles y medidas de seguridad. Este Informe de Seguridad de la IAEA se centra en el desarrollo y la puesta en práctica de estrategias para demostrar el cumplimiento con los niveles de exención y de evacuación establecidos en cada caso. Se trata de una información de valor para operadores, órganos reguladores y otras organizaciones implicadas en la retirada y evacuación de isótopos de las instalaciones radiactivas.

ISBN:978-92-0-115810-9

Disponible en http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1511_web.pdf

Status of Computed Tomography Dosimetry for Wide Cone Beam Scanners

IAEA Human Health Reports 5



Esta publicación aborda los actuales problemas que se presentan en la medida de dosis a los pacientes en exploraciones con TC's multicorte de haces anchos. Se revisan los desarrollos de nuevos formalismos y métodos dosimétricos acordes con estos haces de mayor anchura y se presenta una guía práctica para la implementación de nuevas técnicas dosimétricas acordes con estos TC. Se revisan las aportaciones de la

Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) y de la Asociación Americana de Física Médica (AAPM). Se consideran también aspectos de calibración de la instrumentación usada para

dosimetría en TC. En un sumario se recoge el estado actual de la dosimetría de TC y se proporcionan recomendaciones para acciones futuras.

ISBN:978-92-0-120610-7

Disponible en http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1528_web.pdf

Publicaciones OECD-NEA

Trends towards Sustainability in the Nuclear Fuel Cycle



El interés en ampliar el uso de la energía nuclear para afrontar a la vez la creciente demanda de energía y los riesgos asociados al cambio climático focaliza la atención de la comunidad científica hacia los procesos de ciclo de combustible nuclear y en las medidas a adoptar para mejorar su sostenibilidad a largo plazo. Los futuros programas de energía nuclear estarán cada vez más basados en consideraciones estratégicas que implican

el ciclo de combustible nuclear completo, como ya demuestran los proyectos internacionales conjuntos para los reactores de IV Generación. Actualmente, el 90% de reactores instalados por todo el mundo funcionan con ciclos abiertos de combustible de "un solo uso". Cerrar el ciclo del combustible ha sido un objetivo prioritario en las últimas décadas pero los avances están resultando lentos.

Este informe repasa acontecimientos en el ciclo de combustible durante los últimos diez años, prevé acontecimientos para la próxima década y analiza perspectivas a mayor término. Considera acontecimientos tecnológicos y acciones de gobierno (tanto a escala nacional como internacional) relacionados con el ciclo de combustible, y los examina desde una perspectiva de sostenibilidad.

ISBN 978-92-64-16810-7

OECD Publishing Code: 662011041P1

Disponible en www.oecdbookshop.org



CONVOCATORIAS 2012

“más información en www.sepr.es”

MAYO

- **International Workshop on Crisis Communication: Facing the Challenges**
Del 9 al 10 de mayo de 2012 en la Casa de América en Madrid.
Más información: www.oecd-nea.org/nsd/workshops/crisis-comms/index.html
- **International Congress of the International Radiological Protection Association - IRPA 13**
Del 13 al 18 de mayo de 2012 en Glasgow (G.B.).
Más información: <http://www.irpa13glasgow.com/>
- **Third European Workshop on Monte Carlo Treatment Planning**
Del 15 al 18 de mayo de 2012 en Sevilla.
Más información: www.mctp2012.com/index.php
- **VII Jornadas sobre calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental**
Del 30 de mayo al 1 de junio de 2012 en Tarragona.
Más información: <http://dio.urv.cat/jcalidadtgn2012/index.html>

JUNIO

- **12th International Workshop on Radiation Damage to DNA**
Del 2 al 6 de junio en Praga (Rep. Checa).
Más información: <http://hroch.ujf.cas.cz/~radamdna/index.html>
- **International Symposium EU-NORM1**
Del 5 al 7 de junio en Tallin (Estonia).
Más información: www.eunorm1.ee
- **ION BEAMS'12 "Multidisciplinary Applications of Nuclear Physics with Ion Beams"**
Del 6 al 8 de junio de 2012 en el Laboratori Nazionali di Legnaro de Pádova (Italia).
Más información: <http://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=4276>

- **European Medical ALARA Network (EMAN) Workshop on Optimisation of Radiation Protection in Medicine**
Del 7 al 9 de junio de 2012 en Viena (Austria).
Más información: www.eman-network.eu/
- **International Symposium on In Situ Nuclear Metrology as a tool for Radioecology - INSINUME 2012**
Del 11 al 15 de junio en Bruselas (Bélgica).
Más información: www.insinume2012.com/
- **Bioelectromagnetics Society Meeting (BEMS)**
Del 17 al 22 de junio en Brisbane (Australia).
Más información: www.bems2012.com.au/2012

SEPTIEMBRE

- **12th International Conference on Radiation Shielding (ICRS 12) and 17th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American Nuclear Society (RPSD-2012)**
Del 2 al 7 de septiembre de 2012 en Nara (Japón).
Más información: www.icrs12.org/main/
- **International Symposium "Environmental Radioactivity: Implications for Environmental and Human Health"**
Del 4 al 5 de septiembre de 2012 en la Universidad de Plymouth (Plymouth, Reino Unido).
Más información: www.geog.plymouth.ac.uk/corif/

OCTUBRE

- **7th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields**
Del 8 al 12 de octubre de 2012 en Valletta (Malta).
Más información: www.um.edu.mt/science/physics/electromagnetics/7IWSBEEFMF
- **ERR 2012 - 39th Annual Meeting of the European Radiation Research Society**
Del 15 al 19 de octubre de 2012 en Vietri sul Mare (Italia).
Más información: www.iss.infn.it/err2012/

CURSOS 2012

MAYO

Curso de formación para supervisores de instalaciones radiactivas. Radioterapia, Laboratorios con fuentes no encapsuladas y Medicina Nuclear

Organizado por: Facultad de Ciencia y Tecnología de la (UPV/EHU) y el Hospital Universitario de Basurto. Curso homologado por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)

Fechas: del 14 de Mayo al 1 de Junio de 2012. Las clases se impartirán en horario de mañana y tarde.

Dirigido a: titulados superiores y medios para la obtención de la licencia de supervisor de instalaciones radiactivas en los campos que se indican: Radioterapia, Laboratorio con Fuentes no Encapsuladas y Medicina Nuclear.

Más información: www.supervisor-ehu.net/

AGOSTO

Advanced WE-Heraeus Physics School on Ionising Radiation and Protection of Man (Helmholtz Zentrum München)

Organizado por: Helmholtz Zentrum München, Institute of Radiation Protection.

Lugar y fecha: Physikzentrum Bad Honnef, del 10 al 19 de agosto de 2012.

Dirigido a: diplomados, licenciados, estudiantes de tercer ciclo e investigadores postdoctorales en los campos de física, biofísica, física médica y otras ciencias afines.

Objetivo: realizar una prospectiva sobre los últimos avances en el campo de las radiaciones ionizantes y, más concretamente, de la protección radiológica.

Más información: www.iss-kurse.helmholtz-muenchen.de/heraeus-school/index.php