

RESUMEN Y RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS ULTERIORES

1. Resumen

1.1 *Características físicas en relación con los efectos biológicos*

El presente documento se ocupa de los efectos que tienen en la salud los campos electromagnéticos de la banda de frecuencias comprendidas entre 300 Hz y 300 GHz, que abarca el espectro de radiofrecuencias (RF) (100 kHz-300 GHz) tratado en la publicación anterior (OMS, 1981). Para mayor sencillez, en el presente documento se utiliza la abreviatura RF para los campos electromagnéticos de frecuencia 300 Hz-300 GHz. Dentro de esas frecuencias se encuentran las microondas, cuyas frecuencias están comprendidas entre 300 MHz y 300 GHz.

Los niveles de exposición en la gama de microondas suelen describirse respecto de la «densidad de potencia» y suelen expresarse en vatios por metro cuadrado (W/m^2), o milivatios o microvatios por metro cuadrado (mW/m^2 , $\mu W/m^2$). Sin embargo, en las proximidades de fuentes de RF con longitudes de onda superiores, se necesitan para describir el campo los valores de intensidades de los campos eléctrico (V/m) y magnético (A/m).

Las condiciones de exposición pueden verse considerablemente alteradas por la presencia de objetos; el grado de perturbación depende de su tamaño, forma, orientación en el campo, y propiedades eléctricas. Pueden producirse distribuciones sumamente complejas del campo, tanto dentro como fuera de los sistemas biológicos expuestos a campos electromagnéticos. La refracción dentro de estos sistemas puede centrar la energía transmitida, dando lugar a campos notablemente heterogéneos y a deposición de energía. Los distintos índices de absorción energética pueden originar gradientes térmicos causantes de efectos biológicos que pueden ser generados localmente, difíciles de prever y tal vez singulares. La geometría y las propiedades eléctricas de los sistemas biológicos serán también factores que determinen la magnitud y la distribución de corrientes inducidas en frecuencias inferiores a la banda de microondas.

Cuando los campos electromagnéticos pasan de un medio a otro, pueden ser reflejados, refractados, transmitidos o absorbidos, atendiendo a la conductividad del objeto expuesto y a la frecuencia del campo. La energía RF absorbida puede convertirse en otras formas de energía y causar interferencias con el funcionamiento del sistema vivo. La mayor parte de esta energía se convierte en calor. No obstante, no todos los efectos de los campos electromagnéticos pueden explicarse basándose en los mecanismos biofísicos de la absorción energética y la conversión térmica. En frecuencias inferiores a unos 100 kHz, se ha demostrado que los campos eléctricos inducidos pueden estimular el sistema nervioso. A escala microscópica, se han postulado otras interacciones causantes de perturbaciones en los sistemas biológicos macromoleculares complejos (membranas celulares, estructuras subcelulares).

1.2 Fuentes y exposición

1.2.1 Comunidad

En estudios comunitarios amplios sobre los niveles de fondo de los campos electromagnéticos en los Estados Unidos, se encontró una exposición mediana del orden de $50 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Se observó que los principales contribuyentes a los campos electromagnéticos del ambiente eran las radiodifusiones de frecuencias muy altas. Menos del 1% de la población estaba expuesta a densidades ambiente superiores a $10 \text{mW}/\text{m}^2$. La exposición en las proximidades inmediatas (a una distancia de aproximadamente media longitud de onda de los campos incidentes) de estaciones transmisoras puede ser superior, y verse aumentada por objetos próximos con carácter conductor. Esas condiciones deben evaluarse para cada situación concreta.

1.2.2 Hogar

Entre las fuentes de RF en el hogar figuran los hornos de microondas, las cocinas que calientan por inducción, las alarmas antirrobo, las pantallas de computadora y los receptores de televisión. Los escapes a partir de hornos de microondas pueden elevarse hasta $1,5 \text{W}/\text{m}^2$ a $0,3 \text{m}$ y $0,15 \text{W}/\text{m}^2$ a una distancia de 1 metro. La mejor manera de limitar la exposición a las radiaciones procedentes de electrodomésticos es cuidar su diseño y vigilar los escapes en el punto de fabricación.

1.2.3 Lugar de trabajo

Los calentadores dieléctricos para el tratamiento de madera y el sellado de plásticos, los calentadores por inducción para calentar metales, y las pantallas de computadora tienen un uso sumamente extendido en distintas situaciones ocupacionales. Las pantallas de computadora crean campos eléctricos y magnéticos en las frecuencias comprendidas en la banda 15-35 kHz y las frecuencias moduladas en la banda ELF. El personal que trabaja en el interior o en las proximidades de torres o antenas emisoras pueden verse expuestos a campos de intensidad considerable, de hasta 1 kV/m y 5 A/m, respectivamente. En las cercanías de instalaciones de radar, los trabajadores pueden estar expuestos a máximos considerables de densidad de potencia si se encuentran en el rayo de RF a pocos metros de las antenas de radar (hasta decenas de MW/m²). Por lo general, la densidad de potencia media en las proximidades de los radares que controlan el tráfico aéreo, por ejemplo, se encuentra en el orden de 0,03-0,8 W/m².

En el medio laboral, la mejor manera de proteger a los trabajadores es respetar las especificaciones de emisión en todos y cada uno de los elementos del equipo y, cuando sea necesario, el monitoreo y la vigilancia utilizando los aparatos apropiados.

Se produce un caso especial de exposición en el entorno médico con el uso de tratamientos diatérmicos contra el dolor y la inflamación en tejidos orgánicos. Los operarios de estos aparatos están probablemente expuestos a niveles relativamente elevados de radiación dispersa, que pueden reducirse mediante vestimenta protectora adecuada o por el diseño de la máquina. Se han llegado a medir intensidades de campo de 300 V/m y 1 A/m a 10 cm de los aplicadores. Del mismo modo, los cirujanos que utilizan instrumentos electroquirúrgicos que funcionan a frecuencias próximas a 27 MHz pueden verse expuestos a niveles superiores a los límites recomendados. Estas intensidades de campo disminuyen muy rápidamente al aumentar la distancia desde los aplicadores.

La mayoría de los sistemas de imagen por resonancia magnética utilizan campos magnéticos estáticos con densidades de flujo de hasta 2 T, campos de gradiente de baja frecuencia de hasta 20 T/s, y campos de RF en la banda de frecuencias de 1 a 100 MHz.

Aunque la deposición de potencia en el paciente puede ser considerable, la exposición del personal es mucho menor y viene determinada por las características del equipo.

1.3 Efectos biológicos

Los campos electromagnéticos en la banda de frecuencias de 300 Hz–300 GHz interaccionan con los sistemas humanos y otros sistemas animales por vías directas e indirectas. Las interacciones indirectas son importantes en frecuencias inferiores a 100 MHz, pero se producen en situaciones particulares. Cuando un objeto metálico (como un automóvil, una valla) que se encuentra en un campo electromagnético adquiere carga eléctrica por inducción, puede descargarse al entrar un cuerpo en contacto con él. Esas descargas pueden originar densidades de corriente locales capaces de provocar un choque o quemaduras.

Uno de los principales mecanismos de interacción es mediante las corrientes inducidas en los tejidos, de modo que los efectos dependen de la frecuencia, la forma de las ondas y la intensidad. Con frecuencias inferiores a unos 100 kHz, revisten interés las interacciones con el tejido nervioso, debido a su mayor sensibilidad a las corrientes inducidas. Por encima de 100 kHz, el tejido nervioso se hace menos sensible al estímulo directo por campos electromagnéticos y la termalización de la energía se convierte en el principal mecanismo de interacción.

Se ha observado en varios estudios que también existen interacciones por campos débiles. Se han postulado diferentes mecanismos para esas interacciones, pero no se ha elucidado el mecanismo preciso. Esas interacciones de campos débiles se deben a la exposición a campos de RF, de amplitud modulada a frecuencias inferiores.

1.4 Estudios en el laboratorio

Muchos de los efectos biológicos de la exposición aguda a campos electromagnéticos son coherentes con las respuestas al calentamiento inducido, y dan lugar a elevaciones de la temperatura de los tejidos o el cuerpo de alrededor de 1 °C o más, o a respuestas encaminadas a reducir la carga térmica total. La mayoría de las respuestas se han notificado a índices de absorción específica (IAE)

superiores a unos 1–2 W/kg en distintas especies animales expuestas bajo diversas condiciones ambientales. Los datos obtenidos en animales (especialmente primates) indican los tipos de respuestas probables en humanos sometidos a una carga térmica suficiente. No obstante, la extrapolación cuantitativa directa al ser humano es difícil, dadas las diferencias entre unas especies y otras en las respuestas en general y en la capacidad termorreguladora en particular.

Las respuestas animales más sensibles a la carga térmica son las adaptaciones termorreguladoras, como la reducción de la producción térmica en el metabolismo y la vasodilatación, con umbrales entre 0,5 y 5 W/kg, según las condiciones ambientales. No obstante, esas reacciones forman parte del repertorio natural de respuestas termorreguladoras que sirven para mantener la temperatura normal.

Entre los efectos transitorios observados en animales expuestos, que son acordes con las respuestas a aumentos de la temperatura corporal de 1 °C o más (y/o IAE superiores a unos 2 W/kg en primates y ratas), figuran el menor rendimiento en la ejecución de tareas aprendidas y el aumento de los niveles plasmáticos de corticosteroides. Entre otros efectos relacionados con el calor figuran respuestas hematopoyéticas e inmunitarias temporales, debidas posiblemente al aumento de los niveles de corticosteroides. Los efectos más uniformemente observados son la reducción de los niveles de linfocitos circulantes, el aumento de los niveles de neutrófilos, y la alteración de la función natural de las células asesinas y los macrófagos. También se ha comunicado un aumento de la respuesta primaria con anticuerpos de los linfocitos B. Se han observado alteraciones cardiovasculares coherentes con el aumento de la carga térmica, como la aceleración del ritmo cardiaco y la mayor producción cardiaca, junto con una reducción del efecto de ciertos fármacos, como los barbitúricos, cuya acción puede verse modificada por los cambios circulatorios.

La mayoría de los datos en animales indican que la implantación y el desarrollo del embrión y el feto probablemente no se vean afectados por exposiciones que aumenten la temperatura del cuerpo materno en menos de 1 °C. Por encima de estas temperaturas pueden presentarse efectos adversos, como retraso del crecimiento y cambios conductuales postnatales, con efectos más graves cuanto mayor es la temperatura de la madre.

La mayoría de los datos en animales sugieren que las exposiciones bajas a RF que no aumentan la temperatura corporal por encima del margen fisiológico no son mutagénicas: esas exposiciones no darán lugar a mutaciones somáticas ni a efectos hereditarios. Se dispone de mucha menos información que describa los efectos de exposiciones de bajo nivel a largo plazo. No obstante, hasta el momento, no parece que la exposición a niveles inferiores a los térmicamente significativos produzca efectos a largo plazo. Los datos en animales indican que la fecundidad de los machos no se ve afectada por la exposición prolongada a niveles insuficientes para elevar la temperatura del cuerpo y de los testículos.

No se indujo catarata en conejos expuestos a 100 W/m^2 durante 6 meses, ni en primates expuestos a $1,5 \text{ kW/m}^2$ durante más de 3 meses.

En un estudio realizado en 100 ratas expuestas durante casi toda su vida a unos $0,4 \text{ W/kg}$ no se observó aumento de la incidencia de lesiones no neoplásicas ni de neoplasias totales en comparación con los animales testigo; la longevidad fue similar en ambos grupos. Se observaron diferencias en la incidencia general de tumores malignos primarios pero no pudieron atribuirse necesariamente a la irradiación.

La posibilidad de que la exposición a campos de RF pueda influir en el proceso de la carcinogénesis es motivo de particular inquietud. Hasta el momento no hay pruebas concluyentes de que la irradiación ejerza efecto alguno, pero es a todas luces necesario llevar a cabo más estudios. Muchos datos experimentales indican que los campos de RF no son mutagénicos, y por ello es poco probable que actúen como desencadenantes de carcinogénesis; en los pocos estudios realizados, se han buscado sobre todo pruebas de un aumento del efecto de un carcinógeno conocido. La exposición prolongada de ratones a $2\text{--}8 \text{ W/kg}$ dio lugar a un aumento de la progresión de tumores espontáneos de la mama y de tumores cutáneos en animales tratados con un carcinógeno químico por vía cutánea.

Los estudios *in vitro* han revelado índices mayores de transformación celular tras la exposición a RF de $4,4 \text{ W/kg}$ (por sí sola o combinada con rayos X) seguida por un tratamiento con un promotor químico. Los últimos datos no siempre han sido uniformes de unos estudios a otros. Está claro, no obstante, que es necesario reproducir y profundizar los estudios sobre la carcinogénesis.

Se dispone de un gran volumen de información que describe las respuestas biológicas a RF de amplitud modulada o campos de microondas con IAE demasiado bajos para desencadenar respuestas al calentamiento. En algunos estudios, se han notificado efectos tras la exposición a IAE inferiores a 0,01 W/kg, que han aparecido dentro de «ventanas» de frecuencia de modulación (generalmente entre 1 y 100 Hz) y a veces dentro de «ventanas» de densidad de potencia; se han comunicado resultados similares con frecuencias dentro del espectro de la voz humana (VF) (300 Hz–3 kHz). Se han notificado cambios en: los electroencefalogramas de gatos y conejos; la movilidad del ion calcio en el tejido cerebral *in vitro* e *in vivo*; la citotoxicidad de los linfocitos *in vitro*; y la actividad de una enzima que participa en el crecimiento y la división celular. Algunas de estas respuestas han resultado difíciles de confirmar, y sus consecuencias fisiológicas no están claras. No obstante, toda investigación toxicológica que se emprenda debe basarse en ensayos llevados a cabo con niveles de exposición apropiados. Importa que esos estudios se confirmen y que se determinen, si existen, las repercusiones para la salud de las personas expuestas. Sería particularmente importante realizar estudios que vinculen las interacciones de frecuencias extremadamente bajas, modulación de amplitud, RF o microondas en la superficie celular con los cambios en la síntesis o la transcripción del ADN. Cabe destacar que esta interacción entraña una «desmodulación» de la señal de RF en la membrana celular.

1.5 Estudios en el ser humano

Existen relativamente pocos estudios que se ocupen directamente de los efectos de la exposición aguda o prolongada del ser humano a los campos de RF. En estudios realizados en el laboratorio, se ha notificado percepción cutánea de campos en la banda 2–10 GHz. Se han fijado umbrales para sensibilidad al calor con densidades de potencia de 270 W/m^2 – 2000 W/m^2 , según la superficie irradiada ($13\text{--}100 \text{ cm}^2$) y la duración de la exposición (1–180 s). Cuando se expone a voluntarios humanos a IAE de 4 W/kg durante 15–20 minutos, la temperatura corporal media asciende 0,2–0,5 °C, que resulta totalmente admisible en personas sanas. Se desconoce el efecto que esta carga térmica añadida tendría en individuos que padecen trastornos en la termorregulación en ambientes que reducen al mínimo los mecanismos de enfriamiento basados en la transpiración.

Los pocos estudios epidemiológicos que se han llevado a cabo en poblaciones expuestas a campos de RF no han permitido establecer asociaciones significativas entre esas exposiciones y resultados como disminución de la longevidad o excesos en causas particulares de defunción, salvo una mayor incidencia de muerte por cáncer, en la que la exposición a sustancias químicas puede haber sido un factor de confusión. En algunos estudios, no se observó aumento de la incidencia de partos prematuros ni malformaciones congénitas, si bien otros estudios indicaron que existía una asociación entre el nivel de exposición y el resultado adverso del embarazo. Esos estudios suelen adolecer de una mediocre evaluación de la exposición y una deficiente identificación y determinación de otros factores de riesgo.

1.6 Evaluación de riesgos para la salud

En una evaluación general de los riesgos para la salud asociados a las exposiciones a RF se han definido las siguientes categorías de riesgo para la salud:

1.6.1 Efectos térmicos

La deposición de energía RF en el organismo humano tiende a aumentar la temperatura corporal. Durante el ejercicio, la producción de calor metabólico puede alcanzar niveles de 3-5 W/kg. En entornos térmicos normales, un IAE de 1-4 W/kg durante 30 minutos produce aumentos medios de la temperatura corporal inferiores a 1 °C en adultos sanos. Así, una norma ocupacional de RF de 0,4 W/kg IAE deja un margen de protección contra complicaciones debidas a condiciones ambientales térmicamente desfavorables. Para la población general, que comprende las subpoblaciones sensibles como los lactantes y los ancianos, un IAE de 0,08 W/kg daría un margen adicional de seguridad contra los efectos térmicos adversos de los campos RF.

1.6.2 Campos pulsátiles

Se ha demostrado, en diversas condiciones, que los umbrales para la aparición de efectos biológicos en frecuencias superiores a varios cientos de MHz disminuyen cuando la energía se libera en pulsos cortos (1-10 μ s). Por ejemplo, se producen efectos auditivos cuando en pulsos de menos de 30 μ s de duración se liberan más de

400 mJ/m² por pulso. Con arreglo a las pruebas disponibles, no puede definirse un límite inocuo para esos pulsos.

1.6.3 Campos RF de amplitud modulada

Los efectos descritos para este tipo de campo en los niveles celular, tisular y orgánico no pueden relacionarse con efectos adversos para la salud. No pueden formularse relaciones dosis-efecto en las que se observen niveles umbral; así, con la información disponible no pueden formularse recomendaciones específicas.

1.6.4 Efectos de los campos RF en la inducción y la promoción de tumores

A partir de los informes sobre los efectos de la exposición a RF en ciertas líneas celulares, en la transformación celular, en la actividad enzimática y en la incidencia y la progresión de tumores en animales, no es posible concluir que la exposición a RF tenga efecto alguno en la incidencia del cáncer en el ser humano ni que sean necesarias recomendaciones específicas para limitar esos campos a fin de reducir los riesgos de cáncer.

1.6.5 Densidades de corrientes inducidas por RF

En la banda de frecuencias de 300 Hz-100 kHz, la inducción de campos y densidades de corriente en tejidos excitables es el mecanismo más importante para evaluar los riesgos. Los umbrales de estimulación de tejido nervioso y muscular dependen en gran medida de la frecuencia, y van desde 0,1-1 mA/m² a 300 Hz hasta unos 10-100 A/m² a 100 kHz. No obstante, en lo que se refiere a otros efectos, observados por debajo de esos umbrales, no se dispone de bastante información para formular recomendaciones específicas.

1.6.6 Choques y quemaduras por contacto en campos RF

En un campo de RF, los objetos conductores pueden adquirir carga eléctrica. Cuando una persona toca un objeto cargado o se acerca mucho a él, puede producirse una corriente de importancia entre el objeto y esa persona. Según la frecuencia, la intensidad del campo eléctrico, la forma y el tamaño del objeto, y la superficie de contacto, la corriente resultante puede provocar un choque por

estimulación de los nervios periféricos. Si la corriente tiene bastante intensidad, pueden producirse quemaduras. Como medida de protección deben eliminarse o aislarse los objetos conductores que se encuentren en campos intensos de RF, o limitarse el acceso físico.

1.7 Normas de exposición

1.7.1 Límites básicos de exposición

Para proteger a los trabajadores y a la población general de los posibles efectos en la salud que tiene la exposición a los campos electromagnéticos, se han determinado límites básicos de exposición basándose en el conocimiento de sus efectos biológicos. Se utilizaron distintas bases científicas para fijar los límites correspondientes a frecuencias superiores e inferiores a aproximadamente 1 MHz. Por encima de 1 MHz, se estudiaron los efectos biológicos en animales para determinar el menor valor del IAE medio para el organismo entero que provocaba efectos nocivos en los animales. Se encontró que ese valor estaba comprendido entre 3 y 4 W/kg.

La gran mayoría de los resultados correspondían a las exposiciones en la región inferior de GHz. Así, para determinar los efectos a frecuencias más bajas es necesario suponer una cierta dependencia de la frecuencia en la respuesta biológica. Como se cree que los bioefectos observados en la banda 1-4 W/kg son de carácter térmico, se supuso que el umbral para el IAE era independiente de la frecuencia. Se consideró que la exposición del ser humano a 4 W/kg durante 30 minutos daría lugar a un ascenso de la temperatura corporal inferior a 1 °C. Este aumento de la temperatura corporal se considera aceptable.

Para dar cabida a posibles efectos desfavorables, térmicos, ambientales y a largo plazo, así como a otras variables, se ha introducido un factor de seguridad de 10, con lo que se obtiene un límite básico de 0,4 W/kg. Debería introducirse un factor de seguridad adicional para la población general, que comprende personas con distintas sensibilidades a la exposición a RF. Normalmente, para el público en general se recomienda un límite básico de 0,08 W/kg, obtenido al añadir un factor de seguridad de 5. En los cuadros 34 y 35 de la presente publicación se ofrecen los límites de exposición derivados.

Las limitaciones para el IAE medio para todo el organismo no son lo bastante restrictivas, puesto que la distribución de la energía absorbida en el organismo humano puede ser muy heterogénea y depender de las condiciones de exposición a RF. En situaciones de exposición parcial del cuerpo, atendiendo a la frecuencia, la energía absorbida puede concentrarse en una cantidad limitada de tejido, aunque el IAE medio para todo el organismo se restrinja a menos de 0,4 W/kg. Así pues, se recomiendan límites básicos adicionales de 2 W/100 g en cualquier otra parte del organismo, a fin de evitar que se produzcan elevaciones excesivas de la temperatura a nivel local. Tal vez haya que prestar especial atención a los ojos.

En el caso de las frecuencias inferiores a alrededor de 1 MHz, se han fijado límites de exposición que permitan prevenir la estimulación de células nerviosas y musculares. Los límites básicos de exposición se refieren a densidades de corriente inducidas dentro de los tejidos orgánicos. Los límites de exposición deben tener un factor de seguridad suficiente para restringir la densidad de corriente a 10 mA/m^2 a 300 Hz, valor que se encuentra en el mismo orden de magnitud que las corrientes naturales del organismo. Por encima de 300 Hz, la densidad de corriente necesaria para excitar el tejido nervioso aumenta con la frecuencia, hasta que se alcanza una frecuencia en la que dominan los efectos térmicos. Para las frecuencias en torno a 2-3 MHz, el límite básico para la densidad de corriente equivale al límite para el IAE máximo de 1 W/100 g. Como en las situaciones prácticas de exposición es difícil medir los valores del IAE y de la densidad de corriente inducida, los límites de exposición en función de cantidades fácilmente medibles deben derivarse de los límites básicos. Estos «límites derivados» indican los límites aceptables, respecto de los parámetros medidos y/o calculados en el campo, que permiten respetar los límites básicos.

1.7.2 Límites de exposición ocupacional

Las poblaciones expuestas en el lugar de trabajo están formadas por adultos expuestos en condiciones controladas y que están al tanto de los riesgos que ello supone. Dada la amplitud de la gama de frecuencias de que se ocupa la presente publicación, no es posible dar una cifra única como límite de exposición ocupacional. En el cuadro 34 figuran los límites ocupacionales derivados recomendados en la banda de frecuencias comprendida entre 100 kHz y 300 GHz. Se recomienda abordar con prudencia los campos pulsátiles en los que

las intensidades de los campos eléctricos y magnéticos se limitan a 32 veces los valores ofrecidos en el cuadro 34, promediados sobre la duración del pulso, y la densidad de potencia se limita a un valor de 1000 veces el valor correspondiente del cuadro 34, promediado sobre la duración del pulso.

1.7.3 Límites de exposición para la población general

La población general comprende personas de distintos grupos de edad, distintos estados de salud, y mujeres embarazadas. La posibilidad de que el feto en desarrollo pueda ser particularmente sensible a la exposición a RF merece especial consideración.

Los límites de exposición para la población general deben ser más bajos que los correspondientes a la exposición ocupacional. Por ejemplo, los límites derivados recomendados en la banda de frecuencias de 100 kHz-300 GHz figuran en el cuadro 35, y son en general inferiores por un factor de 5 a los límites ocupacionales.

1.7.4 Aplicación de normas

La aplicación de las normas protectoras ocupacionales y de salud pública respecto de los campos de RF exige designar responsables de la medición de la intensidad de los campos y de la interpretación de los resultados, así como establecer códigos y guías de seguridad detallados sobre protección contra los campos, que indiquen, según convenga, los modos y medios de reducir la exposición.

1.8 Medidas de protección

Entre las medidas de protección figuran la vigilancia en el lugar de trabajo (encuestas sobre exposición), los controles técnicos, los controles administrativos, la protección personal y la vigilancia médica. Cuando las encuestas sobre los campos de RF indiquen niveles de exposición en el lugar de trabajo superiores a los límites recomendados para la población general, debe ponerse en marcha la vigilancia ocupacional. Cuando indiquen niveles de exposición superiores a los límites recomendados, deben adoptarse medidas para proteger a los trabajadores. En primer lugar, deben aplicarse controles técnicos, cuando sea posible, a fin de reducir las emisiones hasta niveles aceptables. Entre esos controles figuran un buen

control del diseño en lo que respecta a la seguridad y, cuando sea necesario, el uso de dispositivos cortacorrientes u otros similares.

Los controles administrativos, como la limitación del acceso y el uso de alarmas auditivas y visuales, deben usarse en conjunción con los controles técnicos. A pesar de su utilidad en ciertas circunstancias, el uso de protección personal (vestimenta protectora) debe considerarse un último recurso para velar por la seguridad del trabajador. Siempre que sea posible, debe darse prioridad a los controles técnicos y administrativos. Cuando exista la posibilidad de que los trabajadores estén expuestos a niveles superiores a los límites aplicables a la población general, debe examinarse la posibilidad de poner a su disposición vigilancia médica apropiada.

La prevención de los riesgos para la salud relacionados con los campos de RF exige asimismo establecer y aplicar normas para velar por: *a*) la prevención de la interferencia con el equipo y los dispositivos electrónicos de seguridad y médicos (inclusive los marcapasos cardiacos); *b*) la prevención de la detonación de dispositivos electroexplosivos (detonadores); y *c*) la prevención de incendios y explosiones a partir de chispas provocadas por los campos inducidos.

2. Recomendaciones para estudios ulteriores

2.1 Introducción

Preocupan los posibles efectos de los campos de RF en lo que se refiere a la promoción y la progresión del cáncer, a las disfunciones reproductivas, como los abortos espontáneos y las malformaciones congénitas, y a los efectos en el funcionamiento del sistema nervioso central. No se conocen lo bastante estas cuestiones como para determinar si existen esos efectos y, por tanto, no hay ninguna base racional sobre la que formular recomendaciones para proteger a la población general de los posibles efectos adversos.

Todas las investigaciones que se emprendan sobre los mecanismos de interacción débil por una parte y los estudios de los efectos sobre la carcinogénesis y la reproducción en animales y humanos por otra parte, deben estar sumamente coordinadas. Esa coordinación puede conseguirse concentrando la asignación de fondos en las propuestas de investigación que tengan carácter

multidisciplinario y multiinstitucional. Los estudios sobre los efectos de los campos de RF podrían coordinarse con programas semejantes sobre los efectos de los campos de ELF (50/60 Hz). Debe darse gran prioridad a las investigaciones que se ocupen de las relaciones causales y los umbrales y coeficientes dosis/efecto.

A continuación figura una lista de aspectos prioritarios que, a juicio del grupo de trabajo, necesitan estudiarse más a fondo.

2.2 Campos pulsátiles

Aún no se comprenden los efectos de los campos pulsátiles en los que se dan máximos de densidad de potencia muy elevados separados por periodos de potencia cero. Sólo se dispone de algunos informes aislados sobre los efectos de estos campos y no es posible identificar ni la frecuencia ni el dominio de importancia de los máximos de potencia. Se necesitan con urgencia datos para evaluar los riesgos para la salud humana referidos a los máximos de potencia de los pulsos, la frecuencia de repetición, la longitud de los pulsos y la frecuencia de la RF en el pulso, en vista de la aplicación cada vez más difundida de sistemas que utilizan pulsos de alta potencia (principalmente radares), y que entrañan la exposición tanto ocupacional como de la población general.

2.3 Estudios sobre el cáncer, la reproducción y el sistema nervioso

Cada vez preocupa más seriamente la posibilidad de que la exposición a RF pueda intervenir como causante o favorecedor del cáncer, especialmente de los órganos hematopoyéticos o en el sistema nervioso central. Tampoco se conocen a ciencia cierta los posibles efectos en la reproducción, como las mayores tasas de aborto espontáneo y de malformaciones congénitas.

Los efectos de la exposición a RF en la función del sistema nervioso central, con los cambios correspondientes en las funciones cognitivas, también están envueltos en la incertidumbre. En vista de la posible importancia de esas interacciones y de los trastornos causados por esa incertidumbre en la sociedad, debe darse gran prioridad a las investigaciones en este campo. Importa coordinar los esfuerzos de investigación para aclarar los conocimientos en lugar de aumentar el nivel de incertidumbre. Las investigaciones sobre los posibles mecanismos, como las interacciones de campos débiles,

deben coordinarse estrechamente con estudios de toxicología en animales debidamente diseñados y con epidemiología humana.

2.4 Interacciones de campos débiles

Muy pocas personas están expuestas a niveles térmicamente significativos de RF; la gran mayoría de las exposiciones se dan a niveles en los que las interacciones de campos débiles serían la única fuente posible de respuestas adversas en la salud. Hay un volumen considerable de datos experimentales que implican respuestas a los campos de RF de amplitud modulada, que muestran ventanas de frecuencia y de amplitud; algunas respuestas dependen de la coexposición a agentes físicos y químicos. Es de primera importancia establecer los efectos para la salud humana y sus relaciones dosis/respuesta. Se necesitan estudios que definan los mecanismos biofísicos de interacción y que amplíen los estudios en animales y en el ser humano, a fin de determinar los riesgos para la salud.

2.5 Epidemiología

Los estudios epidemiológicos sobre la asociación entre los campos de RF y el cáncer y los efectos adversos en la reproducción se ven dificultados por varios factores:

- La mayoría de los miembros de cualquier población se ven expuestos a niveles de RF que se encuentran a varios órdenes de magnitud por debajo de los niveles que revisten importancia desde el punto de vista térmico.
- Es muy difícil establecer la exposición a RF en individuos durante un periodo de tiempo significativo.
- Es muy difícil controlar los principales factores que inducen a confusión.

Algunas de las fuentes de dificultades, aunque no todas, pueden salvarse mediante un estudio de control de casos bien diseñado y aplicado. Se están realizando o planificando estudios de ese tipo para estudiar el cáncer durante la infancia y los efectos de los campos de ELF. Importa que en esos estudios se evalúen las exposiciones a la radiación RF.