



Posibles efectos en la salud de la exposición a campos electromagnéticos

Fuente:
CCRSERI (2015)
Resumen & Detalles:
GreenFacts

Actualización 2015

Nivel 2 - Detalles sobre Posibles efectos en la salud de la exposición a campos electromagnéticos

1. Introducción a los campos electromagnéticos.....	3
1.1 ¿Qué son los campos electromagnéticos?.....	3
1.2 ¿Cómo se han reevaluado los riesgos en la salud de los campos electromagnéticos?.....	3
1.3 ¿Cuál fue el objetivo y el resultado de la consulta pública acerca del borrador de 2014 del dictamen sobre campos electromagnéticos?.....	4
2. ¿Cuáles son las fuentes de exposición a campos de radiofrecuencia?.....	4
2.1 ¿Cómo interactúan con el organismo los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF)?.....	5
2.2 ¿Cuál es el nivel de exposición de los teléfonos móviles y dispositivos inalámbricos?.....	5
2.3 ¿Cuál es el nivel de exposición de las estaciones base de telefonía móvil y las torres de radio?...7	
2.4 ¿Cómo se utilizan los campos de radiofrecuencia (RF) en medicina?.....	8
3. ¿Pueden los teléfonos móviles causar cáncer?.....	8
3.1 ¿Puede el uso de teléfonos móviles aumentar el riesgo de tumores cerebrales?.....	8
3.2 ¿Se ha observado un aumento del riesgo de cáncer en estudios experimentales?.....	9
3.3 ¿Se han detectado efectos genéticos en los estudios con cultivos celulares?.....	9
4. ¿Pueden los teléfonos móviles o las estaciones base provocar dolores de cabeza u otros efectos sobre la salud?.....	10
4.1 ¿Se han vinculado dolores de cabeza y otros síntomas a los teléfonos móviles?.....	10
4.2 ¿Pueden los teléfonos móviles afectar al cerebro?.....	10
4.3 ¿Se han observado efectos de los campos de RF de los teléfonos móviles sobre la reproducción y el desarrollo?.....	11
4.4 ¿Son más vulnerables los niños a los posibles efectos de los teléfonos móviles?.....	12
5. Conclusiones sobre los teléfonos móviles y los campos de radiofrecuencia.	12
6. Campos de frecuencias intermedias como los de los hornos de inducción....	13
6.1 ¿Cuáles son las fuentes de campos de frecuencia intermedia (FI)?.....	13
6.2 ¿Qué posibles efectos sanitarios de los campos de frecuencia intermedia se han estudiado?....	13
7. Campos de frecuencia extremadamente baja como los de las líneas eléctricas y los electrodomésticos.....	14
7.1 ¿Cuáles son las fuentes de campos de frecuencia extremadamente baja (FEB)?.....	14
7.2 ¿Cuál es el nivel de exposición a los campos de frecuencia extremadamente baja?.....	15
7.3 ¿Pueden los campos de frecuencia extremadamente baja aumentar el riesgo de desarrollar leucemia infantil y otros tipos de cáncer?.....	15
7.4 ¿Puede la exposición a frecuencia extremadamente baja provocar dolores de cabeza u otros efectos sanitarios?.....	16
7.5 ¿Pueden los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja afectar a la reproducción humana?.....	16
7.6 ¿Cuáles son las conclusiones acerca de los campos de frecuencia extremadamente baja?.....	16

8.	Campos magnéticos estáticos como los de los dispositivos alimentados por baterías o las líneas aéreas de corriente continua de alta tensión.....	17
8.1	¿Cuáles son las fuentes de los campos magnéticos estáticos?.....	17
8.2	¿Qué posibles efectos en la salud de los campos magnéticos estáticos se han estudiado?.....	18
9.	¿Cómo afecta a la salud la exposición combinada a distintos campos electromagnéticos o la exposición conjunta a otros agentes?	19
10.	Conclusiones sobre los efectos en la salud de los campos electromagnéticos.	19
10.1	Conclusiones sobre los campos de radiofrecuencia (RF).....	19
10.2	Conclusiones sobre los campos de frecuencia intermedia (FI).....	20
10.3	Conclusiones sobre los campos de frecuencia extremadamente baja	20
10.4	Conclusiones sobre los campos magnéticos estáticos.....	20
10.5	Conclusiones sobre la exposición combinada a campos electromagnéticos y la exposición conjunta a factores de estrés medioambientales.....	21
10.6	Recomendaciones en materia de investigación.....	21

Las respuestas a estas preguntas constituyen un resumen fiel del dictamen emitido en 2015 por el Comité científico de los riesgos sanitarios emergentes y recientemente identificados (CCRSERI):

"Potential health effects of exposure to electromagnetic fields "

La publicación completa se encuentra disponible en:

<https://copublications.greenfacts.org/es/campos-electromagneticos/>
y en: <http://ec.europa.eu/health/opinions2/es/campos-electromagneticos/>



Este documento pdf corresponde al Nivel 2 de una Co-publicación de GreenFacts. Las Co-publicaciones de GreenFacts, articuladas en torno a preguntas y respuestas, se publican en varios idiomas y en un formato exclusivo de fácil lectura con tres niveles de complejidad creciente.

- El Nivel 1 responde a las preguntas de forma concisa.
- El Nivel 2 profundiza un poco más en las respuestas.
- El Nivel 3 reproduce la fuente original, el dictamen científico internacional resumido por GreenFacts en los niveles 1 y 2.

Todas las Co-publicaciones de GreenFacts en español están disponibles en: <https://copublications.greenfacts.org/es/>
y en: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/policy/opinions_plain_language/index_es.htm

1. Introducción a los campos electromagnéticos

1.1 ¿Qué son los campos electromagnéticos?

1.1.1 En el presente resumen, el término “campo electromagnético” (CEM) se utiliza en sentido genérico para referirse a los campos magnéticos y eléctricos estáticos, los campos eléctricos y magnéticos alternos de baja frecuencia y los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF). Si bien hasta el rango de RF los campos eléctricos y magnéticos se pueden considerar independientes entre sí, en dicho rango están fuertemente acoplados, como los eslabones de una cadena. Los campos pueden ser de origen natural, como el campo magnetostático de la Tierra, los campos eléctricos generados por fricción (que pueden percibirse como pequeñas descargas eléctricas al tocar un objeto) o los campos electromagnéticos de banda ancha generados por los relámpagos o la actividad solar. El uso técnico de la electricidad genera principalmente campos con variación sinusoidal que pueden situarse en los rangos de baja frecuencia (p. ej. electrodomésticos, líneas eléctricas), frecuencia intermedia (p. ej. bombillas de bajo consumo, sistemas electrónicos antirrobo) y radiofrecuencia (p. ej. antenas de radiodifusión, telecomunicaciones móviles, hornos microondas).



Los campos magnéticos estáticos de carácter técnico tienen su origen en los imanes permanentes, como los utilizados en los broches o cierres magnéticos (p. ej. en collares, ropa interior, bolsos o carteras), o en corrientes continuas como las de los dispositivos alimentados por baterías. En el diagnóstico por imágenes y en algunas industrias se utilizan campos magnetostáticos de gran intensidad.

1.2 ¿Cómo se han reevaluado los riesgos en la salud de los campos electromagnéticos?

El SCENIHR tiene entre otras responsabilidades la de realizar un seguimiento continuo de las nuevas pruebas científicas pertinentes para la evaluación de los riesgos sanitarios de los campos electromagnéticos (CEM), e informar periódicamente a la Comisión de cualquier novedad. El objetivo de este documento es actualizar el dictamen de 2009 elaborado por el SCENIHR dada la disponibilidad de nueva información, haciendo hincapié en los puntos que presentaban importantes lagunas de conocimiento en los dictámenes anteriores. También se abordan los mecanismos biofísicos de interacción y las posibles repercusiones de la exposición conjunta a factores de estrés medioambientales.

Se han tenido en cuenta las publicaciones científicas pertinentes. Para la elaboración de sus dictámenes, el SCENIHR utiliza estudios que proceden esencialmente de trabajos de investigación originales publicados en revistas científicas internacionales arbitradas, ponderados de acuerdo a los criterios establecidos en el protocolo del SCENIHR “Use of the scientific literature for risk assessment purposes – a weight of evidence approach” (Uso de la literatura científica para la evaluación de riesgos: procedimiento de ponderación de las pruebas). El Comité ha examinado más de 700 estudios publicados principalmente entre 2009 (fecha de publicación del dictamen anterior) y junio de 2014. Se hace hincapié en los puntos concretos sobre los que existen pocas publicaciones y se exponen las razones de no incluir determinados estudios. La evaluación analiza tanto los posibles efectos para los grupos de población expuestos a campos electromagnéticos en su vida cotidiana (pruebas epidemiológicas) como los observados en experimentos de laboratorio realizados con voluntarios, animales y cultivos celulares (pruebas experimentales).

Esta combinación de pruebas permite determinar si existe una relación causal entre la exposición a campos electromagnéticos y los efectos adversos en la salud observados. La respuesta a esta pregunta no es necesariamente un "sí" o "no" rotundos, pero refleja el peso de las pruebas a favor o en contra de una relación causal entre la exposición a CEM y un efecto determinado. Si se determina que existe tal relación, la evaluación de riesgos establece la gravedad del efecto para la salud y la magnitud del riesgo sanitario para los distintos niveles y patrones de exposición (relación dosis-respuesta). Se ponen de relieve la naturaleza y el grado de incertidumbre, y se evalúa cómo los campos electromagnéticos pueden causar efectos (mecanismo plausible).

1.3 ¿Cuál fue el objetivo y el resultado de la consulta pública acerca del borrador de 2014 del dictamen sobre campos electromagnéticos?

Durante la preparación de sus dictámenes, el SCENIHR lleva a cabo consultas públicas abiertas mediante la publicación del documento preliminar y la recogida de comentarios y aportaciones concretos. En el caso del dictamen sobre CEM, se llevó a cabo una consulta pública a través del sitio web de los Comités Científicos del 4 de febrero al 16 de abril de 2014. Asimismo, el 27 de marzo de 2014 se celebró en Atenas una audiencia pública. La consulta pública contó con la participación de 57 organizaciones e individuos y recogió 186 comentarios sobre distintos capítulos y secciones del dictamen. El SCENIHR examinó detenidamente todas las contribuciones y ajustó el dictamen para que reflejase las observaciones relevantes.

2. ¿Cuáles son las fuentes de exposición a campos de radiofrecuencia?

Los dispositivos que generan campos electromagnéticos en el rango de radiofrecuencia (RF) (desde 100 kHz hasta 300 GHz) tienen numerosas aplicaciones en la sociedad actual. Las principales fuentes de campos de RF son los teléfonos móviles, los teléfonos inalámbricos, las redes de área local inalámbricas y las antenas de radiodifusión. También se utilizan en medicina para el diagnóstico y tratamiento, en sistemas de radar y en hornos microondas.



Es fácil obtener información sobre la intensidad de los campos de radiofrecuencia generados por una fuente determinada, lo que resulta útil a la hora de determinar si se cumplen los límites de seguridad. Lo complicado es evaluar la exposición diaria de las personas a los campos de radiofrecuencia, si bien estos datos son de vital importancia para los estudios epidemiológicos de los posibles efectos sanitarios de los CEM. Una forma de ampliar los conocimientos sería utilizar mejores herramientas, como los dosímetros individuales: dispositivos portátiles que miden la exposición de una persona a los campos electromagnéticos a través del tiempo. La evaluación de la exposición no debería limitarse a una sola fuente, como las estaciones base de telefonía móvil, sino tener en cuenta la exposición combinada a través de varias vías.

La continua evolución de las tecnologías (p. ej. de la radiodifusión analógica a digital) y la salida al mercado de nuevas soluciones, como las tecnologías de banda ultraancha (UWB, por sus siglas en inglés), introducen cambios en los patrones de exposición de la población a largo plazo. Las fuentes de CEM de RF operan en distintas bandas de frecuencia. Dado que la intensidad de los campos electromagnéticos disminuye rápidamente al aumentar la distancia, con el paso del tiempo una persona puede absorber más energía de RF de un dispositivo situado cerca del cuerpo que de una fuente potente más alejada.

Los teléfonos inalámbricos, las redes de área local inalámbricas y los dispositivos antirrobo son fuentes de comunicación de corta distancia. Entre las fuentes de larga distancia se encuentran las torres de transmisión de radio y las estaciones base de telefonía móvil.

Según cifras de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, en 2014 había unos siete mil millones de teléfonos móviles activos en todo el mundo. En Europa, la mayoría de las comunicaciones móviles utilizan las tecnologías GSM o UMTS. La Unión Europea ha establecido límites de seguridad para la energía absorbida por el cuerpo a través de la exposición a teléfonos móviles. Los teléfonos móviles comercializados en Europa deben someterse a controles normalizados de conformidad, de acuerdo con las especificaciones del Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC). Frecuencias comunes de los dispositivos que generan campos de radiofrecuencia [véase el Anexo 3]

Fuentes comunes de campos electromagnéticos

Rango de frecuencia	Frecuencias	Ejemplos de fuentes de exposición
Estática	0 Hz	Pantallas de vídeo, IRM (diagnóstico por imágenes) y otros instrumentos diagnósticos o científicos, electrolisis industrial, equipos de soldadura.
FEB [frecuencias extremadamente bajas]	0-300 Hz	Líneas eléctricas, líneas de suministro doméstico, electrodomésticos, motores eléctricos de automóviles, trenes y tranvías, equipos de soldadura.
FI [frecuencias intermedias]	300 Hz - 100 kHz	Pantallas de vídeo, dispositivos antirrobo para comercios, sistemas de control de acceso manos libres, lectores de tarjetas y detectores de metales, IRM, equipos de soldadura.
RF [radiofrecuencias]	100 kHz - 300 GHz	Teléfonos móviles e inalámbricos, equipos de radiodifusión, hornos microondas, transeceptores de radio y radar, radios portátiles, IRM.
Tecnologías de THz	300 GHz - 20 THz	Las aplicaciones aún se están desarrollando, pero en la actualidad se incluyen principalmente usos en telecomunicaciones y escáneres corporales.

2.1 ¿Cómo interactúan con el organismo los campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF)?

Los mecanismos de interacción de los CEM de RF son bien conocidos. En general se produce una absorción de energía cuando las fuerzas mecánicas de los CEM provocan la aceleración de las moléculas (generan energía cinética) haciendo que estas choquen entre sí, lo que lleva al calentamiento de los tejidos. Aunque la interacción física básica no sea térmica, las respuestas bioquímicas y fisiológicas dependen de la temperatura. Estos mecanismos conocidos permiten extrapolar los resultados científicos a todo el rango de frecuencias y evaluar los riesgos sanitarios de la banda ancha. Esto ha servido para limitar la exposición a los CEM y proporcionar el mismo grado de protección en todo el rango de frecuencias.

Existen estudios que proponen otros mecanismos hipotéticos, pero no se ha comprobado con certeza que ninguno actúe en el cuerpo humano a niveles de exposición por debajo de los límites establecidos.

2.2 ¿Cuál es el nivel de exposición de los teléfonos móviles y dispositivos inalámbricos?

Cuando se expone a campos de radiofrecuencia, **el cuerpo va absorbiendo** energía. La velocidad a la que se absorbe la energía se denomina "tasa de absorción específica" (SAR, por sus siglas en inglés) y varía en función de la parte del cuerpo. La Recomendación 1999/519/CE del Consejo Europeo define las restricciones fundamentales y niveles de referencia para limitar la exposición de la población general a los CEM, estableciendo valores SAR máximos que no deben superarse. Dado que muchas de las magnitudes físicas empleadas para fijar los límites básicos no se pueden medir fácilmente, se proporcionan niveles de referencia para la evaluación práctica de la exposición, lo que permite determinar si es probable que se superen las restricciones fundamentales.

En el caso de los teléfonos móviles, la exposición se concentra sobre todo en la parte de la cabeza que está más cerca de la antena del teléfono. La Recomendación del Consejo establece como límite de seguridad para la radiofrecuencia una SAR local de 2 W (2000 mW) por kilo, basándose en la media de cada 10 g de tejido de la cabeza y el tronco de un individuo. Para las pruebas de los teléfonos móviles se suponen las condiciones más desfavorables, es decir, el uso del teléfono móvil a la máxima potencia. En la práctica, dependiendo de la calidad de transmisión, la potencia transmitida durante una conversación por teléfono móvil suele ser mucho menor, a menudo varios órdenes de magnitud inferior a la potencia de salida máxima del dispositivo. Esto se debe a que la función de control de potencia de los teléfonos móviles reduce constantemente la potencia emitida al nivel mínimo necesario para una transmisión estable. Por otra parte, la potencia de salida depende de si el usuario está hablando o escuchando, ya que la transmisión se reduce considerablemente durante la fase de escucha en la que no es necesario transmitir información (modo de transmisión discontinua). Cuando un teléfono se encuentra en modo de espera, la exposición suele ser dos órdenes de magnitud menor que durante la conversación. Cuando el teléfono móvil está apagado no existe exposición.

La potencia máxima de salida de los teléfonos GSM que transmiten a 900 MHz, frecuencia asignada a las comunicaciones móviles, corresponde a un valor medio ponderado en el tiempo de 250 mW. Se utiliza un valor medio porque los teléfonos GSM no transmiten las señales de radio de forma continua, sino mediante ráfagas de información cortas y repetitivas. Los teléfonos móviles no utilizan todo el rango de exposición permitido. En función del modelo, los valores de las pruebas de SAR pueden ser de entre el 10 y el 80 % del límite, por lo que la información que figura en la etiqueta permite a los consumidores tomar decisiones bien fundamentadas.

Los dispositivos inalámbricos diseñados para la comunicación en interiores, como los teléfonos y las redes informáticas (WLAN) inalámbricos, también generan ondas de radio, pero con una menor potencia de salida que los teléfonos móviles. Un teléfono inalámbrico utilizado en un hogar promedio genera una potencia media ponderada en el tiempo de unos 10 mW. Las estaciones base de los teléfonos inalámbricos suelen encontrarse a tan solo decenas de metros de los terminales, y también debe tenerse en cuenta el campo generado por la estación base. La potencia máxima media ponderada en el tiempo de estos dispositivos es la misma que la de un teléfono móvil. Sin embargo, a diferencia de los teléfonos móviles, las estaciones base de los teléfonos inalámbricos se sitúan lejos del cuerpo y por lo tanto, dado que la intensidad de campo disminuye rápidamente al aumentar la distancia, la exposición es varios órdenes de magnitud menor.

El terminal de una red informática inalámbrica (WLAN, por sus siglas en inglés) tiene una potencia máxima de 100 mW, pero dado que la potencia media ponderada en el tiempo depende del tráfico de datos, la potencia real suele ser considerablemente menor. Incluso cerca de las estaciones de redes inalámbricas utilizadas en hogares y oficinas, la intensidad de campo es por lo general inferior a 0,5 mW/m².

Otro sistema que se está empezando a utilizar en Europa son las señales de banda ultraancha (UWB). Su rango de frecuencia se sitúa en torno a los 500 MHz y se emplean en aplicaciones como micrófonos inalámbricos, servicios sanitarios y sistemas de control de tráfico. Se espera que los niveles de campo para este tipo de sistemas permanezcan muy por debajo de 0,1 mW/m².

La población puede verse expuesta a campos electromagnéticos de frecuencia intermedia y radiofrecuencia a través de algunos dispositivos antirrobo. Estos dispositivos, cada vez más utilizados, se sitúan en las salidas de los comercios para detectar posibles hurtos. La exposición a la radiofrecuencia varía en función de los distintos tipos, pero está por debajo de los límites de seguridad. Los campos de radiofrecuencia también se utilizan en aplicaciones

industriales, por ejemplo para el calentamiento de metales por inducción. La exposición de los trabajadores a los CEM queda fuera del ámbito del presente resumen.

2.3 ¿Cuál es el nivel de exposición de las estaciones base de telefonía móvil y las torres de radio?

A diferencia de las torres de radiodifusión, que han sido diseñadas para una comunicación unidireccional, las estaciones base de telefonía móvil deben permitir una comunicación bidireccional. Esto significa que deben formar una red que conecte entre sí distintos teléfonos móviles por todo el territorio nacional. Por lo tanto, hoy en día en los países europeos las estaciones base son prácticamente omnipresentes, para permitir la comunicación móvil a grandes distancias.

A 900 MHz, una frecuencia importante para la comunicación móvil y para las **redes de telefonía móvil GSM**, la UE recomienda que la exposición de la población no supere los $4,5 \text{ W/m}^2$ (densidad de potencia). Las campañas de medición nacionales señalan que, pese al aumento constante de las estaciones base y la aplicación de nuevas tecnologías de telecomunicaciones móviles, los niveles ambientales de radiación electromagnética se han mantenido prácticamente invariables. La potencia emitida por los dispositivos para interiores, como los puntos de acceso WiFi y los dispositivos DECT, incluso al combinar varios, supone una exposición muy baja en comparación con los niveles de referencia de las directrices europeas e internacionales.

En las redes UMTS más modernas la duración de las baterías se prolonga mediante el uso del control adaptativo de potencia (APC, por sus siglas en inglés), que permite reducir la potencia de salida de los teléfonos móviles al nivel mínimo que garantiza la calidad de la señal. La red controla continuamente la calidad de la señal y puede reducir la potencia que emite un teléfono móvil hasta tres órdenes de magnitud para GSM y alrededor de nueve órdenes de magnitud para UMTS. La exposición de la población general apenas se ha medido, dado que este tipo de teléfonos móviles se utiliza poco en comparación con los GSM. En los casos en que sí se ha establecido la exposición, el valor máximo detectado ha sido de una milésima de W/m^2 , y generalmente mucho menos (SCENIHR, 2009).

El problema a la hora de medir la exposición es que, por lo general, se realiza únicamente una medición a corto plazo durante un máximo de 48 horas con un dosímetro individual, o bien una medición aislada que solo ofrece una muestra de la exposición en un momento y lugar determinados. Además, en el caso de los estudios epidemiológicos sobre los riesgos sanitarios de los CEM, dado que no se ha establecido claramente un mecanismo biológico o biofísico de acción, se evalúan varias mediciones alternativas de la exposición (p. ej. la intensidad de campo, frecuencia de exposición, exposición acumulativa, tiempo desde la primera exposición, etc.). Puede que se necesiten datos de exposición correspondientes a un período de varios años.

Otras fuentes importantes de ondas de radio son los sistemas de **difusión radiofónica** (AM y FM). Los valores máximos medidos en zonas accesibles al público suelen estar por debajo de $0,01 \text{ W/m}^2$. En algunos casos se han detectado niveles de exposición de unos $0,3 \text{ W/m}^2$ en puntos cercanos al alambrado de transmisores muy potentes.

En cuanto a la nueva tecnología digital de **radiodifusión televisiva** (DVB-T), la mayor exposición media se registró en la banda de frecuencias de FM en entornos de oficina, con un nivel de $0,096 \text{ mW/m}^2$. Esta densidad de potencia es similar a la de los antiguos sistemas analógicos de radiodifusión televisiva pero, dado que los sistemas digitales requieren una

red más densa de transmisores menos potentes, puede que los niveles de exposición sean mayores en algunas regiones pero menores en otras.

Otras fuentes de exposición a campos de radiofrecuencia de larga distancia son los sistemas de **radar** civiles y militares, los sistemas privados de radiocomunicaciones móviles y nuevas tecnologías como los **sistemas digitales de radiodifusión de audio** y WiMAX.

Los contadores inteligentes se utilizan para controlar el consumo de energía a distancia y transmitir datos a las empresas de servicios públicos. Existen varios tipos diferentes y, según un estudio, este tipo de contadores "contribuirían escasamente al nivel de fondo total de radiación de RF en los hogares, que en cualquier caso es mínimo en comparación con los límites de seguridad establecidos".

2.4 ¿Cómo se utilizan los campos de radiofrecuencia (RF) en medicina?

Los campos electromagnéticos en el rango de RF se utilizan en medicina para el calentamiento de tejidos corporales (diatermia), con el fin de aliviar el dolor o, a temperaturas más altas, destruir células cancerosas. Puesto que el objetivo es un efecto biológico, la exposición del paciente a los campos de radiofrecuencia está muy por encima de los límites recomendados para la población general. Se deben tomar medidas para evitar que la exposición del personal médico supere los límites establecidos para los trabajadores.

Otra aplicación común de los campos de RF en medicina son las imágenes por resonancia magnética (IRM), que además utilizan campos magnéticos estáticos muy intensos (véase la pregunta 8). Las IRM proporcionan imágenes de alta resolución de cortes transversales del cuerpo, incluida la cabeza, sin interferencia de las estructuras óseas.

3. ¿Pueden los teléfonos móviles causar cáncer?

3.1 ¿Puede el uso de teléfonos móviles aumentar el riesgo de tumores cerebrales?

La cuestión de si el uso de teléfonos móviles está relacionado con un mayor riesgo de desarrollar tumores cerebrales ha sido objeto de numerosos estudios epidemiológicos pequeños y varios a gran escala. La atención se ha centrado en la posibilidad de desarrollar tumores en la zona de la cabeza y el cuello, puesto que estos tejidos son los más expuestos a los campos de RF emitidos por los terminales. Asimismo, algunos estudios han apuntado a una relación entre la exposición a los CEM de RF generados por los teléfonos móviles y un mayor riesgo de cáncer del nervio auditivo (neuroma acústico) y tumores cerebrales (glioma).

Sin embargo, los resultados de estudios de cohortes y tendencias temporales de la incidencia no indican un mayor riesgo de glioma. La posibilidad de una relación con el neuroma acústico aún no se ha descartado. En concreto, la tasa de incidencia del glioma observada en los países nórdicos se ha comparado con las tasas proyectadas ante un aumento del riesgo de 1,2; 1,5 y 2 veces respecto al uso normal del teléfono móvil durante 10 años o más. La incidencia de cáncer observada no muestra el fuerte aumento proyectado que cabría esperar de existir una relación causal entre los teléfonos móviles y el cáncer.



Hay más de 7 mil millones de teléfonos móviles en uso en el mundo.
Fuente: Juha Blomberg

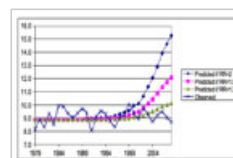


Figure 5. Observed glioma incidence rate in the Nordic countries and expected rates assuming mobile phone [véase el anexo 1, pág. 22]

El hecho de que las tasas de incidencia de los tumores correspondientes no hayan aumentado desde la introducción de los teléfonos móviles llama a la prudencia a la hora de interpretar dicha relación hipotética.

3.1.1 El único estudio epidemiológico sobre la relación entre el uso de teléfonos móviles y el desarrollo de tumores cerebrales en niños, en el que participaron cuatro países europeos, no encontró un aumento del riesgo. Sin embargo, es necesario seguir investigando.

3.1.2 Los estudios epidemiológicos no indican un aumento del riesgo de desarrollar otras enfermedades malignas como el cáncer infantil. Varios estudios han examinado asimismo el riesgo potencial de desarrollar cáncer debido a la exposición a los campos de radiofrecuencia de las torres de transmisión. En la mayoría de los casos no se han podido extraer conclusiones sobre el riesgo de cáncer.

3.2 ¿Se ha observado un aumento del riesgo de cáncer en estudios experimentales?

Un número considerable de estudios rigurosos *in vivo*, con una gran variedad de modelos animales, han arrojado resultados en su mayoría negativos. Entre ellos, se realizaron una serie de estudios sobre la exposición de por vida y a largo plazo a campos de RF mediante la exposición de animales de laboratorio a señales GSM de 900 MHz y señales de mayor frecuencia a niveles más altos que en los estudios anteriores. Todos los estudios concluyeron que los campos de RF no influyen en el riesgo de desarrollar tumores, incluso a los niveles de exposición más altos. Un estudio identificó una reducción del índice de supervivencia de los animales expuestos, pero no se ha encontrado una explicación para este hallazgo.

Los resultados de los nuevos estudios experimentales concuerdan con los estudios anteriores y, en general, se suman a las pruebas de que los campos de RF, como los emitidos por los teléfonos móviles, no causan cáncer en animales de laboratorio.

3.3 ¿Se han detectado efectos genéticos en los estudios con cultivos celulares?

Un análisis de 88 estudios *in vivo* e *in vitro* publicados entre 1990 y 2011 donde se evalúan los daños genéticos en células humanas expuestas a RF reveló que la diferencia entre los grupos expuestos a RF y los controles con exposición simulada es escasa, salvo excepciones. Globalmente, estos estudios no proporcionaron pruebas de que los campos de radiofrecuencia afecten al material genético de las células.

También se examinaron otros posibles efectos sobre aspectos como la muerte celular, la expresión genética y la proliferación de células, y la mayoría de los estudios no hallaron ningún efecto.

4. ¿Pueden los teléfonos móviles o las estaciones base provocar dolores de cabeza u otros efectos sobre la salud?

4.1 ¿Se han vinculado dolores de cabeza y otros síntomas a los teléfonos móviles?

Algunas personas atribuyen síntomas no específicos, como dolores de cabeza, náuseas, mareos, cansancio e irritaciones cutáneas a la exposición a campos electromagnéticos. Estos casos han despertado preocupaciones sobre si hay personas más sensibles a los CEM que otras. Este tipo de síntomas que describen los pacientes se denominan colectivamente "intolerancia ambiental idiopática atribuida a campos electromagnéticos" (IEI-EMF, por sus siglas en inglés), o también "hipersensibilidad electromagnética" (EHS, por sus siglas en inglés). Los síntomas presentados pueden llegar a ser lo suficientemente graves como para afectar seriamente al bienestar del paciente. Aunque estas inquietudes son legítimas, los estudios realizados desde el dictamen previo (unos 15 revisados) respaldan las pruebas anteriores de que la exposición a RF no provoca síntomas, al menos a corto plazo. Se necesitan estudios de observación adicionales para determinar si la exposición a largo plazo podría conllevar síntomas, pero las pruebas disponibles hasta el momento apuntan a que no existe un efecto causal.



Estación base de telefonía móvil
Fuente: Pyb

Respecto a los síntomas provocados por la exposición a campos de RF a corto plazo (medida en minutos u horas), la coherencia de los resultados de múltiples experimentos de doble ciego aporta pruebas contundentes de que los campos de RF no causan tales efectos. En cuanto a los síntomas asociados a una exposición a más largo plazo (días o meses), las pruebas aportadas por los estudios de observación coinciden en líneas generales pero presentan lagunas, especialmente en lo tocante al control objetivo de la exposición. Las pruebas actuales apuntan a que la exposición a campos de RF no produce ningún efecto.

Aun cuando los pacientes describen con precisión su exposición a RF, resulta difícil determinar si cualquier relación con los síntomas se deriva de la propia exposición a RF o es consecuencia de un efecto "nocebo" (efecto placebo negativo) por el que la preocupación del participante por la exposición basta para provocar los síntomas.

Las personas que saben que están expuestas a campos de RF (por ejemplo porque utilizan un teléfono móvil o viven cerca de una torre de transmisión) tienden a describir más síntomas, mientras que en las pruebas de provocación de doble ciego, en que los sujetos no saben si se exponen a dichos campos, no se ha detectado una relación sólida entre los campos de radiofrecuencia y los síntomas.

En realidad, no existe ninguna prueba científica de que los seres humanos (ya sean los llamados grupos sensibles o los grupos de control sanos) puedan percibir los campos de radiofrecuencia con más precisión de lo que cabría esperar por azar.

4.2 ¿Pueden los teléfonos móviles afectar al cerebro?

Como los teléfonos móviles están en contacto con la cabeza, existe la preocupación de que puedan afectar al cerebro.

Los estudios sobre los posibles efectos de la exposición a RF en las funciones cerebrales de los seres humanos (como el sueño, la cognición, el flujo sanguíneo y los cambios en la

oxigenación) han obtenido resultados dispares. Los estudios realizados son difíciles de comparar entre sí, y por lo tanto los efectos observados no se han reproducido adecuadamente. Algunos estudios indican que los efectos podrían variar con la edad y el sexo; no se sabe si los individuos con problemas de salud preexistentes pueden verse afectados de manera diferente. La mayoría de los estudios recientes han confirmado los efectos de la exposición a RF en los electroencefalogramas (EEG). También se han observado efectos en los EEG de sueño, pero aún no hay pruebas concluyentes. Varios de los estudios recientes sobre los efectos de la RF en el aprendizaje espacial, la memoria y el comportamiento indican la presencia de efectos a niveles de campo bajos, pero sigue habiendo importantes interrogantes sobre los protocolos experimentales. En la actualidad no se pueden obtener pruebas concluyentes.

Se han examinado varios efectos diferentes en estudios experimentales con ratones y ratas. Globalmente, las observaciones son contradictorias, y aparecen sobre todo a niveles muy por encima de los valores indicados en las directrices. Uno de estos efectos es el potencial de alterar la barrera hematoencefálica. Los estudios recientes no muestran ningún efecto derivado de la exposición a RF, y varios de los estudios se han realizado de tal manera que su pertinencia para la evaluación de riesgos es cuestionable.

En general, en lo que respecta a los trastornos neurológicos y las funciones cognitivas, la locomoción y el aumento del riesgo de desarrollar Alzheimer, no hay pruebas de que la exposición a RF a través del uso de teléfonos móviles tenga efectos para la salud.

4.3 ¿Se han observado efectos de los campos de RF de los teléfonos móviles sobre la reproducción y el desarrollo?

Muchos estudios extensos y rigurosos han investigado los posibles efectos de los campos de RF en el desarrollo de animales como mamíferos y aves, y se ha demostrado claramente que los campos de RF pueden causar defectos congénitos cuando el nivel de exposición es considerablemente superior al establecido en las directrices de seguridad y, por lo tanto, lo suficientemente alto como para elevar considerablemente la temperatura de los tejidos. No se han encontrado pruebas sólidas de efectos a niveles de exposición que no provocan un calentamiento significativo de los tejidos. No se observaron efectos significativos derivados de una exposición prácticamente continua, de por vida, a lo largo de cuatro generaciones de ratones. Estudios epidemiológicos más recientes no han revelado una relación entre la exposición a RF y el aumento del riesgo de desarrollar enfermedades neurológicas o efectos reproductivos; los efectos sobre los fetos derivados del uso de teléfonos móviles por parte de las madres durante el embarazo no se consideran plausibles debido al bajo nivel de exposición. Los datos disponibles no proporcionan pruebas claras de efectos adversos consistentes sobre la calidad del semen.

El anterior dictamen del SCENIHR (2009) concluyó que la exposición a campos de RF a niveles no térmicos no repercute negativamente en la reproducción y el desarrollo. Tras la inclusión de nuevos datos sobre humanos y animales, esta afirmación sigue siendo válida.

Actualmente no existen indicios fundados de ningún otro efecto para la salud.

4.4 ¿Son más vulnerables los niños a los posibles efectos de los teléfonos móviles?

La utilización generalizada de teléfonos móviles por parte de los niños ha suscitado preocupaciones sobre cómo pueden verse afectados por las señales de radio. Algunas personas temen que los niños puedan ser más vulnerables que los adultos porque su sistema nervioso todavía se está desarrollando, la conductividad de su tejido cerebral es mayor y su cabeza podría absorber más energía de los teléfonos móviles. Asimismo, la exposición de por vida de las personas que utilizan teléfonos móviles desde niños será mayor que la de quienes empiezan a utilizarlos de adultos. Además, los niños también pueden verse expuestos a través de otras fuentes, como los dispositivos vigilabebés. Son pocos los estudios que han examinado los posibles efectos de las señales de radio sobre los niños, y sigue siendo difícil hacer una extrapolación a partir de los estudios con adultos. En general, las pruebas actuales no indican que los niños sean más vulnerables a los CEM de RF. Sin embargo, la edad puede influir en la SAR local del cerebro debido a la diferencia de tamaño de la cabeza, así como de tejidos específicos (p. ej. la médula ósea del cráneo) como consecuencia de la variación de las propiedades dieléctricas con el paso de los años.

5. Conclusiones sobre los teléfonos móviles y los campos de radiofrecuencia

En los últimos años se han investigado exhaustivamente los posibles efectos de los campos de RF, incluidos los generados por los teléfonos móviles, para la salud. Se han estudiado la carcinogenicidad y una serie de posibles repercusiones, tanto en el laboratorio como en poblaciones humanas. Las conclusiones del dictamen se basan en un análisis detallado de los numerosos estudios epidemiológicos y experimentales pertinentes realizados a partir de tres líneas de investigación independientes (estudios con seres humanos, animales y cultivos celulares).



Pocos estudios han analizado los efectos sobre los niños

Globalmente, los estudios epidemiológicos sobre la exposición a CEM de RF a través de teléfonos móviles no muestran un aumento del riesgo de tumores cerebrales. Tampoco se observa un aumento del riesgo de padecer otros tipos de cáncer en la zona de la cabeza y el cuello. Un número considerable de estudios rigurosos *in vivo*, con una gran variedad de modelos animales, han arrojado resultados en su mayoría negativos.

Desde la aprobación del anterior dictamen, se ha publicado un gran número de estudios *in vitro* sobre efectos tanto genotóxicos como de otra índole. La mayoría de los estudios no han revelado efectos derivados de la exposición a niveles no térmicos.

La idea de que exposición a RF puede afectar a la actividad cerebral, apoyada por las pruebas obtenidas en estudios anteriores con EEG durante periodos de sueño y vigilia, ha sido respaldada también por algunos estudios recientes, aunque hay pequeñas alteraciones fisiológicas que siguen sin estar claras y no se ha conseguido ofrecer una explicación mecanicista. En general, no existen pruebas suficientes de que los CEM de RF afecten a las funciones cognitivas de los seres humanos. Los síntomas que algunas personas atribuyen a la exposición a CEM de RF pueden llegar a ser lo suficientemente intensos como para afectar seriamente a la calidad de vida del paciente. Sin embargo, los estudios realizados desde el anterior dictamen del SCENIHR respaldan la conclusión que no existe una relación causal entre la exposición a CEM de RF y estos síntomas.

Varios estudios pertinentes concluyen que la exposición a campos de RF a niveles no térmicos no repercute negativamente en la reproducción y el desarrollo.

6. Campos de frecuencias intermedias como los de los hornos de inducción

6.1 ¿Cuáles son las fuentes de campos de frecuencia intermedia (FI)?

En el presente resumen, el término "campos de frecuencia intermedia" (FI) hace referencia a los campos electromagnéticos cuyas frecuencias van desde 300 Hz hasta 100 kHz, situándose aproximadamente por debajo de las radiofrecuencias (RF) y por encima de las frecuencias extremadamente bajas (FEB).



Las pantallas de rayos catódicos generan campos de frecuencia intermedia
Fuente: Anissa Thompson

En los últimos años se han multiplicado las aplicaciones que generan campos de frecuencia intermedia, y es probable que esta tendencia se mantenga. Algunos ejemplos son los dispositivos antiirrobo situados en las salidas de los comercios, las placas de inducción, los ordenadores, las bombillas fluorescentes compactas y algunas antenas de radio. Asimismo, algunos procesos industriales, como el calentamiento de metales por inducción y la soldadura, también generan este tipo de campos. La exposición por lo general es limitada, pero en el caso de los transmisores de radio y las aplicaciones industriales puede superar los límites recomendados, de modo que deben tomarse medidas de seguridad.

Algunas aplicaciones médicas, como los estimuladores nerviosos y musculares de corrientes interferenciales, son fuentes de exposición a frecuencias en este rango.

6.2 ¿Qué posibles efectos sanitarios de los campos de frecuencia intermedia se han estudiado?

Los efectos biológicos conocidos del rango de FI son estimulación nerviosa en la parte inferior del rango y calentamiento en la parte superior. Estos tienen su origen en mecanismos cuya existencia se ha comprobado en los rangos de RF y FEB.

Todavía no hay suficientes estudios nuevos sobre los efectos sanitarios de la exposición a FI en general, y no se han publicado estudios epidemiológicos. Por lo tanto, los datos son demasiado limitados para una evaluación específica de los riesgos de este rango de frecuencias. Dada la creciente exposición a FI, los estudios experimentales sobre marcadores biológicos y efectos para la salud en este ámbito se consideran una prioridad para la investigación.

7. Campos de frecuencia extremadamente baja como los de las líneas eléctricas y los electrodomésticos

7.1 ¿Cuáles son las fuentes de campos de frecuencia extremadamente baja (FEB)?

En el presente resumen, el término "campos de frecuencia extremadamente baja" (FEB) hace referencia a los campos electromagnéticos cuyas frecuencias son inferiores a 300 Hz, situándose por debajo de las intermedias. La principal fuente de FEB es la corriente alterna que utilizan las líneas aéreas de los ferrocarriles, las líneas e instalaciones eléctricas y los electrodomésticos. El campo magnético generado tiene la misma frecuencia que la corriente que lo produce, es decir 16 $\frac{2}{3}$, 50 o 60 Hz (esta última sobre todo en EE. UU.). Otras fuentes importantes de campos magnéticos de FEB son las centrales y subestaciones eléctricas, los equipos de soldadura, los calentadores de inducción y los sistemas de tranvía y metro.



Las líneas eléctricas generan campos de frecuencia extremadamente baja (ELF)
Fuente: Miguel Saavedra

Los campos de FEB pueden ser eléctricos o magnéticos:

- **Un campo eléctrico** se genera por la presencia de cargas eléctricas y se caracteriza por ejercer fuerzas sobre otras cargas eléctricas. Se mide en voltios por metro (V/m).
- **Un campo magnético** se genera por el movimiento de cargas eléctricas (corriente eléctrica) y se caracteriza por ejercer fuerzas sobre cargas eléctricas estáticas o en movimiento. La intensidad de los campos magnéticos suele medirse en amperios por metro (A/m) o, si se tienen en cuenta propiedades magnéticas del material como la inducción magnética, también puede medirse en teslas (T).



Véase nuestra publicación sobre las líneas eléctricas [véase <https://www.greenfacts.org/es/lineas-electricas/index.htm>]

La amplitud de los campos eléctricos y magnéticos disminuye considerablemente al aumentar la distancia a la fuente del campo.

Los campos **eléctricos** de FEB suelen presentar la mayor intensidad cerca de las líneas aéreas de alta tensión (hasta varios kV/m), mientras que los campos **magnéticos** de FEB son especialmente intensos cerca de cables con grandes cargas de corriente, como en los equipos de soldadura y los hornos de inducción (hasta varios mT).

Para determinar si se cumplen los límites de exposición debe establecerse el máximo nivel de exposición posible cerca de la fuente, generalmente mediante la comparación de los valores del campo medidos con un nivel de referencia determinado. El nivel máximo de los campos no uniformes cerca de la fuente puede ser varios órdenes de magnitud superior al nivel de referencia de los campos homogéneos equivalentes.

7.2 ¿Cuál es el nivel de exposición a los campos de frecuencia extremadamente baja?

La **población general** puede verse expuesta a campos de frecuencia extremadamente baja (FEB) a partir de las distintas fuentes fijas presentes en el entorno, como las líneas eléctricas y las estaciones transformadoras, sobre todo las que se encuentran en el interior de las viviendas.

Justo debajo de una **línea eléctrica de alta tensión**, la exposición a los campos eléctricos puede ser de varios kV/m, y la exposición a los campos magnéticos, de varias decenas de μT . La amplitud de los campos eléctricos y magnéticos disminuye rápidamente al aumentar la distancia a la línea. En los hogares, la intensidad de los campos magnéticos es máxima en las inmediaciones de las cajas de distribución y los electrodomésticos, concretamente los que contienen motores, transformadores o consumen mucha energía, como los hornos eléctricos y los calentadores. Cuanto menor es la fuente más se reducen los niveles de campo al aumentar la distancia.

7.3 ¿Pueden los campos de frecuencia extremadamente baja aumentar el riesgo de desarrollar leucemia infantil y otros tipos de cáncer?

Los estudios sobre los CM de FEB se centran en los campos a la frecuencia de alimentación. En 2002, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) clasificó los **campos magnéticos de FEB** como "*posiblemente carcinógenos para el ser humano*" (grupo 2B). Esta decisión se basa en los estudios epidemiológicos que muestran que los niños son más propensos a desarrollar leucemia cuando su exposición media ponderada en el tiempo a **campos magnéticos de FEB** supera 0,3 - 0,4 μT , un nivel relativamente alto. Los estudios experimentales realizados con animales no corroboran estos hallazgos. Por otra parte, la IARC concluyó que no existen pruebas de una relación entre los **campos magnéticos de FEB** y cualquier otro tipo de cáncer.

Esta posible relación entre los campos de FEB y la leucemia infantil se ha examinado más a fondo en una serie de estudios epidemiológicos que confirman el aumento del riesgo de leucemia en niños que viven cerca de líneas eléctricas de alta tensión, cuyos niveles estimados de exposición media diaria (superior a 0,3 - 0,4 μT) están muy por encima de la exposición media a campos magnéticos en los hogares.

Sin embargo, sigue siendo difícil determinar si es más probable que esta asociación aparentemente clara sea causal o responda a deficiencias metodológicas de los estudios, como parcialidad de la información, sesgos de selección y factores de desviación.

De hecho, se ha avanzado poco a la hora de verificar la causalidad de esta presunta relación o encontrar un mecanismo plausible o una explicación alternativa que justifiquen las conclusiones. Además, un estudio extenso más reciente sobre la supervivencia a la leucemia infantil en relación con la exposición a campos magnéticos de FEB no ha encontrado un vínculo, lo cual no respalda la hipótesis de que los campos magnéticos de FEB pueden favorecer la producción de clones preleucémicos relacionados con el riesgo tanto de desarrollar leucemia como de que esta reaparezca tras haber sido tratada eficazmente.

Los estudios de otros tipos de cáncer en niños o adultos no muestran un vínculo sólido, y no se ha publicado ningún estudio importante en los últimos años sobre ningún otro tipo de cáncer.

7.4 ¿Puede la exposición a frecuencia extremadamente baja provocar dolores de cabeza u otros efectos sanitarios?

Al igual que con los campos de radiofrecuencia, la "hipersensibilidad electromagnética" también se produce en el caso de la exposición a los campos de FEB. Los pacientes describen diversos síntomas, como enrojecimiento, hormigueo y escozor de la piel, cansancio, dolor de cabeza, problemas de concentración, náuseas y palpitaciones cardíacas. Se han añadido varios estudios al banco de investigaciones existentes. Globalmente, los estudios no aportan pruebas concluyentes de una relación causal entre la exposición a CM de FEB y los síntomas que describen los pacientes. Los estudios que examinan los posibles efectos de la exposición a CM de FEB sobre la actividad cerebral son demasiado heterogéneos como para extraer una conclusión sólida.

Los últimos estudios indican que la exposición a CM de FEB no afecta a la actividad ni a la locomoción, coincidiendo en general con los resultados anteriores. Algunos estudios con animales aportan indicios de que la exposición a campos magnéticos de FEB puedan afectar a la ejecución de tareas que requieren memoria espacial (se han observado tanto deficiencias como mejoras) y producir un leve aumento de la ansiedad conductual y el estrés. Otros estudios han analizado los posibles mecanismos moleculares y celulares pero, si bien varios de ellos han propuesto varios mecanismos posibles, especialmente para los efectos en las especies reactivas de oxígeno, no se ha identificado a ciencia cierta ninguno que actúe a los niveles de exposición del entorno cotidiano.

Los estudios epidemiológicos no aportan pruebas concluyentes de una relación entre la exposición a CM a la frecuencia de alimentación y un mayor riesgo de desarrollar enfermedades neurodegenerativas como la demencia.

7.5 ¿Pueden los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja afectar a la reproducción humana?

Los estudios epidemiológicos no aportan pruebas de efectos adversos sobre el embarazo ni sobre la salud de los niños. Algunos estudios han identificado efectos improbables que deben reproducirse de manera independiente antes de poder utilizarse en la evaluación de riesgos.

7.6 ¿Cuáles son las conclusiones acerca de los campos de frecuencia extremadamente baja?

Los nuevos estudios epidemiológicos concuerdan con los hallazgos anteriores de un aumento del riesgo de leucemia en niños cuyos niveles estimados de exposición media diaria superan los 0,3 - 0,4 μ T. Como señalan los dictámenes anteriores, no se han identificado los mecanismos ni corroborado los hallazgos a través de estudios experimentales, lo que, junto con las deficiencias de los estudios epidemiológicos, impide una interpretación causal.

Globalmente, los estudios actuales no aportan pruebas concluyentes de una relación causal entre la exposición a CM de FEB y los síntomas que describen los pacientes.

Los estudios sobre los posibles efectos de la exposición a FEB en el espectro de energía de los EEG de vigilia son demasiado heterogéneos en cuanto a los campos aplicados, la duración de la exposición, el número de variables examinadas y los métodos estadísticos como para extraer una conclusión sólida. Lo mismo ocurre en el caso de los resultados conductuales y la excitabilidad cortical.

Los estudios epidemiológicos no aportan pruebas concluyentes de una relación entre la exposición a CM de FEB y un mayor riesgo de desarrollar enfermedades neurodegenerativas como la demencia. Tampoco aportan pruebas de repercusiones negativas de los CM de FEB sobre el embarazo. Los estudios sobre los efectos para la salud infantil derivados de la exposición doméstica de la madre a CM de FEB durante el embarazo entrañan cuestiones metodológicas que deben abordarse. Se han identificado efectos improbables que deben reproducirse de manera independiente antes de poder utilizarse en la evaluación de riesgos.

Los resultados recientes no indican que los campos de FEB tengan ningún efecto sobre la función reproductora humana.

8. Campos magnéticos estáticos como los de los dispositivos alimentados por baterías o las líneas aéreas de corriente continua de alta tensión

8.1 ¿Cuáles son las fuentes de los campos magnéticos estáticos?

Un campo magnético se genera por el movimiento de cargas eléctricas (corriente eléctrica) y se caracteriza por ejercer fuerzas sobre cargas eléctricas estáticas o en movimiento. La intensidad de los campos magnéticos suele medirse en amperios por metro (A/m) o, si se tienen en cuenta propiedades magnéticas del material como la inducción magnética, también puede medirse en teslas (T). Los campos magnéticos estáticos (SMF, por sus siglas en inglés) no oscilan, y por lo tanto no tienen frecuencia (0 Hz). Son ejemplos de campos de origen natural los campos magnetostáticos generados por los imanes permanentes o el campo magnético de la Tierra.



Los escáneres de resonancia magnética utilizan campos magnéticos estáticos
Fuente: Kasuga Huang

Las actividades del hombre generan campos magnéticos estáticos siempre que se utiliza electricidad en forma de corriente continua (CC), por ejemplo en algunos sistemas de ferrocarril y metro; en procesos industriales como la producción de aluminio, la producción cloroalcalina y la soldadura a gas; o cuando se usan imanes permanentes con fines técnicos, como los broches o cierres de los collares, ropa interior o bolsos.

La variedad de fuentes artificiales de estos campos es limitada, pero se están desarrollando rápidamente nuevas tecnologías que generan campos estáticos. También está aumentando el número de personas con implantes metálicos, como marcapasos, que pueden verse afectadas por los campos magnéticos estáticos intensos.

Un importante ámbito de aplicación de campos magnéticos estáticos intensos son las imágenes por resonancia magnética (IRM), que proporcionan imágenes de alta resolución de cortes transversales del cuerpo, incluida la cabeza, sin interferencia de las estructuras óseas. Esta técnica de diagnóstico por imágenes utiliza campos magnéticos estáticos muy intensos, de varios teslas, que pueden comportar altos niveles de exposición tanto para los pacientes como para los operarios. Las evaluaciones de salud anteriores se centraban principalmente en la exposición a campos estáticos por sí solos, pero muchas aplicaciones, en concreto las IRM, pueden comportar una exposición a campos estáticos intensos combinados con campos de radiofrecuencia y de otros tipos. Por ello, en los últimos estudios se han empezado a analizar distintas combinaciones de campos y sus posibles efectos.

8.2 ¿Qué posibles efectos en la salud de los campos magnéticos estáticos se han estudiado?

En la vida cotidiana, los campos geomagnéticos son demasiado débiles para producir efectos relevantes. Los fuertes campos magnéticos presentes en el interior y las inmediaciones de los escáneres de resonancia magnética (IRM), que en la actualidad son de 0,3 - 9,4 T, tienen una intensidad suficiente como para producir efectos relevantes. Por lo tanto, podría ser necesario adoptar medidas de protección, como el uso de arcos detectores para controlar el acceso y evitar la presencia de dispositivos ferromagnéticos cerca de los escáneres de IRM, con el fin de evitar interferencias en los marcapasos implantados y (en el caso de los campos magnéticos de 4 T o más) impedir la estimulación nociva de nervios y músculos.

En la mayoría de los estudios *in vitro* disponibles, los SMF por encima de 30 μ T provocaron efectos neuronales, aunque en algunos casos estos efectos fueron temporales y reversibles. La expresión génica se vio afectada en todos los estudios, con tendencia a la participación de varios genes en el crecimiento y la división celular.

Varios estudios han detectado efectos de la exposición a SMF en los animales, a niveles que van desde mT a T. Sin embargo, dado que muchos de los resultados proceden de estudios aislados, no proporcionan una base sólida para la evaluación de riesgos. Existen estudios con animales que revelan efectos de los SMF sobre el flujo de sangre, la formación de vasos sanguíneos, el crecimiento y el desarrollo, pero algunos de los resultados son contradictorios y no aclaran los resultados dispares de los estudios anteriores.

Desde el anterior dictamen del SCENIHR (2009), el metaanálisis de los estudios sobre los efectos sanitarios de los campos magnéticos estáticos permitió identificar cuatro estudios que detectaron efectos como mareos, náuseas y vértigo. No se encontraron efectos sobre la función cognitiva derivados de la exposición a campos de cualquier intensidad. La incidencia de estos síntomas parece guardar relación principalmente con la potencia de los sistemas de IRM, el tiempo que se pasa cerca de ellos y la velocidad con la que los trabajadores atraviesan los campos. Estos efectos se deben a mecanismos de interacción conocidos y se producen con más frecuencia en campos de más de 2 T. Su relevancia para la salud de los empleados aún no está clara, pero algunos estudios apoyan la teoría de que estos efectos dependientes de la dosis podrían aumentar el riesgo de accidentes y errores por parte de los trabajadores, lo que sería perjudicial tanto para ellos como para los pacientes a su cargo.

Aunque estos nuevos estudios confirman la conclusión de que los efectos son reversibles y temporales, también existen pruebas de efectos genotóxicos en pacientes sometidos a resonancias magnéticas, pero parece poco probable que el campo estático por sí solo sea el causante. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo estudios adicionales sobre la integridad del ADN y la exposición a IRM.

Los campos magnéticos presentes en el interior y las inmediaciones de los escáneres de IRM son lo bastante intensos como para provocar efectos secundarios importantes, como la proyección de objetos ferromagnéticos o la interferencia magnética en dispositivos electrónicos. Esto justifica la adopción de medidas de protección, como el uso de arcos detectores para controlar el acceso o la restricción del acceso de los pacientes con marcapasos no compatibles con IRM, para evitar interferencias en los marcapasos implantados.

Globalmente, no existen pruebas sólidas de que la exposición a corto plazo a campos de hasta varios teslas sea perjudicial para la salud.

9. ¿Cómo afecta a la salud la exposición combinada a distintos campos electromagnéticos o la exposición conjunta a otros agentes?

Los pocos estudios disponibles sobre la **exposición combinada** a distintos CEM no proporcionan pruebas suficientes para una evaluación específica de los riesgos. Sería muy recomendable seguir ampliando los estudios sobre los efectos en la integridad del ADN tras una resonancia magnética. Sin embargo, no está claro qué aspecto de la compleja exposición a CEM durante la resonancia es el causante del efecto: el SMF, el CM gradiente conmutado o el calentamiento provocado por el CEM pulsado de RF. Es necesario llevar a cabo estudios adicionales sobre la integridad del ADN y la exposición a IRM, y estudiar la posibilidad de realizar estudios de cohorte con pacientes sometidos a IRM y trabajadores expuestos a través de su actividad profesional.

En cuanto a la **exposición conjunta** a campos de FEB o RF con varios agentes químicos o físicos, se ha observado tanto aumento como disminución de los efectos de algunas sustancias químicas o agentes físicos según el caso. Sin embargo, dada la escasez de estudios disponibles y la gran variedad de protocolos aprobados (diferentes tratamientos químicos o físicos y distintas condiciones de exposición a CEM), no es posible extraer conclusiones. Debería seguir investigándose para aclarar la relación entre los CEM y el aumento/disminución de los efectos de otros tratamientos como la radiación UV y la radiación ionizante, y explorar los efectos potencialmente beneficiosos (de protección) de tales exposiciones para los seres humanos.

10. Conclusiones sobre los efectos en la salud de los campos electromagnéticos

10.1 Conclusiones sobre los campos de radiofrecuencia (RF)

Los campos de radiofrecuencia (100 kHz - 300 GHz) se generan a partir de una gran variedad de fuentes, como las redes de radiodifusión, de telefonía móvil e inalámbricas.

Globalmente, los estudios epidemiológicos sobre la exposición a CEM de RF no muestran un aumento del riesgo de tumores cerebrales. Tampoco se observa un aumento del riesgo de padecer otros tipos de cáncer en la zona de la cabeza y el cuello. Algunos estudios han sugerido un posible aumento del riesgo de glioma y neuroma acústico en usuarios frecuentes de teléfonos móviles. Los resultados de estudios de cohortes y tendencias temporales de incidencia no indican un mayor riesgo de glioma. La posibilidad de una relación con el neuroma acústico aún no se ha descartado. Los estudios epidemiológicos no indican un aumento del riesgo de desarrollar otros tipos de cáncer, incluido el cáncer infantil.

Desde la aprobación del anterior dictamen se ha publicado un gran número de estudios *in vitro*. La mayoría de los estudios no registraron efectos, ni genotóxicos ni de otra índole, a niveles de exposición por debajo de los límites. La hipótesis formulada en estudios anteriores de que la exposición a RF puede afectar a la actividad cerebral, como reflejan los cambios en los EEG durante la vigilia y el sueño, ha sido corroborada por los resultados de estudios más recientes. Sin embargo, dadas las diferencias en cuanto a los campos aplicados, la duración de la exposición, el número de variables examinadas y los métodos estadísticos, resulta difícil extraer conclusiones sólidas. Los estudios sobre las funciones cognitivas humanas no son coherentes. La relevancia biológica de las pequeñas alteraciones fisiológicas registradas en los EEG aún no está clara, y no se ha conseguido ofrecer una explicación mecanicista.

En la actualidad, un volumen considerable de pruebas experimentales indican que la exposición a RF no provoca los síntomas que describen los pacientes y que se conocen como "hipersensibilidad electromagnética", al menos a corto plazo. Se necesitan estudios de observación adicionales para determinar si la exposición a largo plazo podría conllevar síntomas, pero las pruebas disponibles hasta el momento apuntan a que no existe un efecto causal.

Los estudios con humanos sobre enfermedades y síntomas neurológicos no han encontrado efectos, o estos no son coherentes.

10.2 Conclusiones sobre los campos de frecuencia intermedia (FI)

Los campos de frecuencia intermedia (FI), (300 Hz - 100 kHz) tienen su origen en fuentes como los ordenadores, las placas de inducción, las bombillas fluorescentes compactas y los dispositivos antirrobo.

La exposición a los campos de FI en el ámbito laboral es en algunos casos muy superior a la exposición de la población en general. Sin embargo, se han publicado muy pocos estudios sobre los campos de FI y los riesgos para la salud, tanto de la población general como en entornos laborales, y los datos todavía son demasiado limitados para evaluar adecuadamente los riesgos.

Dada la creciente exposición a campos de FI en el ámbito laboral, por ejemplo en comercios y en determinadas industrias, investigar esta cuestión debe ser una prioridad.

10.3 Conclusiones sobre los campos de frecuencia extremadamente baja

Los campos de frecuencia extremadamente baja (FEB) (por debajo de 300 kHz) tienen su origen en fuentes como las líneas eléctricas y los electrodomésticos. Los estudios realizados con voluntarios sobre los posibles efectos de la exposición a CM de FEB para la actividad cerebral son demasiado heterogéneos en cuanto a los campos aplicados, la duración de la exposición, el número de variables examinadas y los métodos estadísticos como para extraer una conclusión sólida. Lo mismo ocurre con los resultados sobre efectos conductuales y excitabilidad cortical.

Los nuevos estudios epidemiológicos concuerdan con los hallazgos anteriores de un aumento del riesgo de leucemia en niños cuyos niveles estimados de exposición media diaria superan los 0,3 - 0,4 μ T. Desde los últimos dictámenes no se ha conseguido identificar los mecanismos ni corroborar los hallazgos a través de estudios experimentales, lo que, junto con las deficiencias de los estudios epidemiológicos, impide una interpretación causal.

Desde la aprobación del anterior dictamen, solo se han publicado unos pocos estudios epidemiológicos nuevos sobre enfermedades neurodegenerativas. Dichos estudios no confirman la conclusión previa de que la exposición a campos magnéticos de FEB podría aumentar el riesgo de desarrollar Alzheimer o cualquier otra enfermedad neurodegenerativa o demencia.

10.4 Conclusiones sobre los campos magnéticos estáticos

Los campos magnéticos estáticos tienen su origen en fuentes como los imanes permanentes o las corrientes eléctricas continuas.

En conjunto, los nuevos hallazgos publicados no contradicen la evaluación de riesgos de la exposición a SMF que figuraba en el dictamen anterior. Globalmente, no existen pruebas sólidas de que la exposición a corto plazo a campos de hasta varios teslas tenga efectos adversos duraderos para la salud.

10.5 Conclusiones sobre la exposición combinada a campos electromagnéticos y la exposición conjunta a factores de estrés medioambientales

Los pocos estudios disponibles sobre la exposición combinada a distintos CEM no proporcionan pruebas suficientes para la evaluación de los riesgos.

En el dictamen de 2009 se llegó a la conclusión de que las pruebas de algunos estudios *in vivo* parecían indicar que en caso de exposición conjunta, los campos de FEB podrían actuar como cocarcinógenos, si bien no había pruebas de que los campos de RF actuaran de manera similar. Los resultados publicados desde entonces indican que la exposición conjunta a FEB o RF con varios agentes químicos o físicos puede efectivamente provocar tanto un aumento como una disminución de sus efectos, pero dada la escasez de estudios disponibles y la gran variedad de protocolos aprobados, actualmente no es posible evaluar estos riesgos.

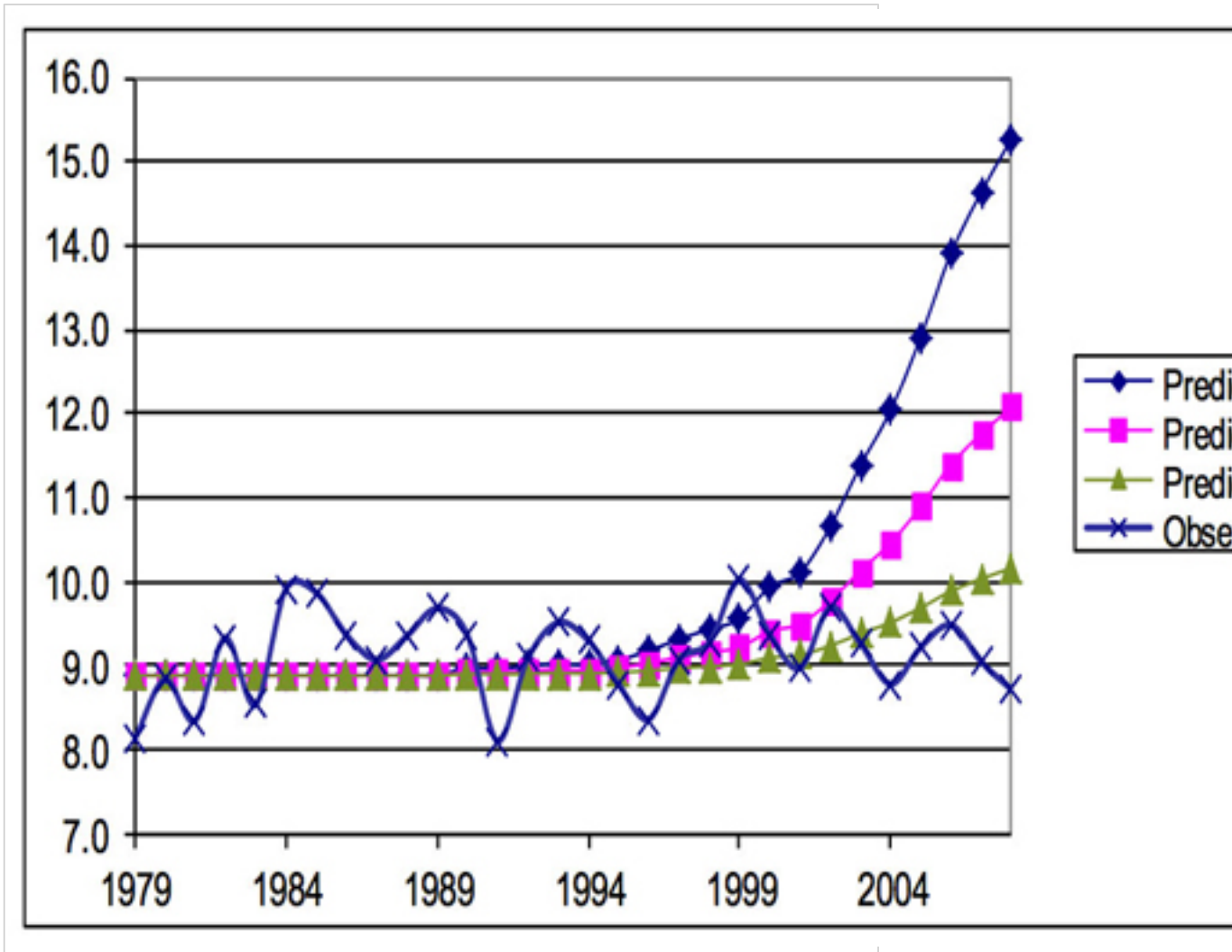
10.6 Recomendaciones en materia de investigación

Los capítulos 3.14 y 3.15 del dictamen contienen una serie de recomendaciones en materia de investigación por orden prioritario, así como orientaciones metodológicas para el diseño de los experimentos y requisitos mínimos para garantizar la calidad y utilidad de los datos para la evaluación de riesgos.

Anexo

Annex 1:

Figure 5. Observed glioma incidence rate in the Nordic countries and expected rates assuming mobile phone



(regular mobile phone use of 10 years or more) related relative risk increases of 1.2, 1.5 and 2, respectively

[Based on data from Deltour et al. 2012]

Source: SCENIHR Potential health effects of exposure to electromagnetic fields [see http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf], 3.6.1.1. Epidemiological studies, p.79

Cogeneris sprl [véase <https://www.greenfacts.org>] posee los derechos de autor de la Estructura de Tres Niveles utilizada para la divulgación de esta opinión del CCRSERI.