

Pedro García Barreno

Dr. Medicina

Posibles efectos de los campos electromagnéticos residenciales sobre la salud humana

- Informe -

Índice.

Resumen

Introducción

Informe

Exposición e interacciones físicas

Efectos celulares y moleculares

Efectos tisulares y animales

Epidemiología

Evaluación de riesgo

Conclusiones

Bibliografía

Resumen.

En los últimos años, varias comisiones de expertos (*Committee of the National Research Council, U.S.A.; Oak Ridge Ass Universities Panel, U.S.A.; United Kingdom Childhood Cancer Study*; y, en nuestro entorno, los del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y del Ministerio de Sanidad y Consumo) han señalado que no hay evidencia convincente de que las líneas eléctricas de alta tensión representen un peligro para la salud humana. La observancia de las restricciones básicas que recoge la Recomendación del Consejo de la Comunidad Europea relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos – 0 Hz a 300 GHz – garantiza, hasta donde hoy se conoce, la protección de la salud.

Introducción.

La vida en la Tierra ha evolucionado inmersa en un flujo incesante de campos electromagnéticos naturales, la mayoría procedente de la radiación solar y, también, los debidos al propio campo magnético y algunas frecuencias derivadas de diferentes actividades terrestres, en especial tormentas eléctricas. En las últimas décadas se ha producido un crecimiento exponencial de los campos electromagnéticos producidos por el hombre y que se asocian con una intrincada red de sistemas de distribución de energía eléctrica y con sistemas de comunicación, que ahora cubren la Tierra. Además, electrodomésticos y diversas máquinas completan las fuentes electromagnéticas.

Aunque el riesgo de choque y de quemaduras como consecuencia del contacto directo con conductores eléctricos ha sido bien conocido desde la primera aplicación de la corriente eléctrica, ha sido durante los últimos veinte años cuando los usuarios han desarrollado cierta percepción de riesgo a posibles efectos imperceptibles derivados de la exposición a los campos eléctricos y magnéticos generados por los diversos enseres eléctricos. Aparataje y sistemas tan ubicuos que es imposible evitar, en el mundo industrializado, la exposición a tales campos producidos en el transporte y distribución de electricidad o a los generados por los diferentes electrodomésticos y otros aparatos que requieren electricidad para funcionar.

La preocupación por los posibles efectos sobre la salud de la exposición a campos electromagnéticos surgió, inicialmente, en personal militar expuesto a campos relativamente fuertes producidos por sistemas radar de alta frecuencia durante la Segunda Guerra Mundial. Desde entonces, se han reivindicado efectos adversos para la salud posiblemente asociados con fuentes de alta frecuencia como las unidades radar usadas por la policía, los sistemas de utilización militar, los hornos microondas y otros aparatos. Más recientemente, la atención se enfoca, con insistencia, en los potenciales efectos adversos para la salud de las fuentes de baja frecuencia, especialmente las líneas de transporte y de distribución eléctrica, y sus aplicaciones como afeitadoras, secadores de pelo o mantas eléctricas. Debe señalarse que los posibles efectos de la exposición a diferentes fuentes de campos eléctricos y magnéticos pueden ser bastante diferentes; ello, dependiendo de su frecuencia y magnitud. Los posibles efectos de los campos generados por líneas de transporte de alto voltaje que operan a 50-60 hercios (Hz), pueden ser bastante diferentes de los generados por diseños que operan a alta frecuencia (MHz o GHz).

El presente informe se refiere a fuentes de campos electromagnéticos de baja frecuencia asociados a la distribución de electricidad; fuentes que incluyen, específicamente, líneas de transporte, subestaciones y líneas de distribución. Aunque los diferentes electrodomésticos son fuente de campos magnéticos no se contemplan en él.

Las preguntas sobre posibles efectos adversos para la salud humana secundarios a la exposición de campos eléctricos y magnéticos inducidos por las líneas de alta tensión de 50-60 Hz fueron formuladas, por vez primera, por Wertheimer y Leeper (1979), quienes publicaron datos epidemiológicos sugerentes de una asociación entre la configuración de las líneas de distribución cercanas a los hogares y la incidencia de leucemia y otros tipos de cáncer infantil. Estudios similares se publicaron en años sucesivos en EE.UU. y en otros países. Los resultados de esos estudios potenciaron el rastreo de la posible asociación entre campos electromagnéticos en los hogares como sitio de exposición, y la incidencia de cáncer como el efecto adverso para la salud más preocupante. La mayor parte de la investigación experimental inicial sobre los efectos biológicos de los campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia, se enfocó en el estudio de los campos eléctricos; sin embargo, los resultados epidemiológicos y otros estudios provocaron un desplazamiento gradual del interés inicial hacia los campos magnéticos como la posible causa de enfermedades.

El término “campos electromagnéticos” – comúnmente utilizado en la literatura – se aplica a campos alternantes. Los componentes eléctrico y magnético de los campos generados por partículas cargadas móviles están formalmente acoplados y matemáticamente descritos en un conjunto de ecuaciones diferenciales denominadas ecuaciones de Maxwell. Los campos electromagnéticos se caracterizan por su longitud de onda - λ - expresada en metros, y por su frecuencia - f - expresada en Hz. $\lambda = c/f$ define la relación entre ambos parámetros (c = velocidad de la luz). El rango de frecuencias o de longitudes de onda de los campos electromagnéticos naturales y antropogénicos se describe como “espectro electromagnético”, que se extiende desde frecuencias extremadamente bajas (ELF) asociadas a la corriente eléctrica residencial (50 Hz en Europa; 60 Hz en EE.UU.), a ondas de radio (10^6 - 10^{10} Hz), a microondas (10^{10} - 10^{12} Hz), a la luz visible (10^{14} Hz) o a luz ultravioleta (10^{15}), hasta las radiaciones de muy altas frecuencias (VHF) y longitudes de onda muy cortas de los rayos X y los rayos gamma ($>10^{17}$ Hz). En este listado, que representa una jerarquía de energías (o de fotones), sólo la radiación $>10^{15}$ Hz es capaz de ionizar átomos y moléculas con los que interactúa. La radiación ionizante (por ej., rayos X o rayos gamma) es una fuente bien estudiada y bien conocida relacionada con daños a los sistemas biológicos; ello, a través de reacciones de los productos de ionización con componentes celulares críticos. Por otro lado, la radiación ELF no es ionizante, no posee la suficiente energía (fotones) cuántica para provocar ionización de la manera que lo hace la radiación VHF, siendo muy inferior a la requerida para romper enlaces moleculares como los del DNA, y el mecanismo de interacción, si es que la hay, de la radiación ELF con moléculas y sistemas biológicos es, hoy, especulativo. La mayoría del equipo utilizado en la generación, transporte y distribución de electricidad en los países industrializados genera campos electromagnéticos ELF (50-60 Hz).

Los componentes del complejo eléctrico que generan tales campos incluyen las plantas productoras (estaciones generadoras) de electricidad; líneas de transporte de alto voltaje, que conducen la electricidad a los grandes núcleos urbanos; subestaciones y sus transformadores, que reducen el voltaje a niveles adecuados para su distribución a los diferentes centros de población; líneas de distribución primarias, que conducen electricidad a través de las vías urbanas; transformadores de distribución, que reducen, de nuevo, el voltaje a niveles adecuados para su uso directo, y transformadores secundarios de servicio doméstico en cada uno de los hogares. Las líneas de transporte y de distribución son conocidas, en términos generales, como líneas de alta tensión; ello, aunque las segundas no son, propiamente, de alta tensión. La electricidad que se utiliza para hacer funcionar los electrodomésticos y diferente aparataje en fábricas y en oficinas, también produce campos electromagnéticos. Un aparato eléctrico conectado a la red eléctrica puede tener un campo eléctrico aun cuando esté apagado; cuando se enciende y está operativo también genera un campo magnético.

El presente informe solo se refiere a campos eléctricos y magnéticos ELF asociados con electricidad residencial. Tales campos, generalmente muy pequeños, se describen en unidades de microteslas (μT) o de miligauss (mG). Por ejemplo, el campo geomagnético terrestre es un campo estático de, aproximadamente, $50 \mu\text{T}$ (0.5 G); un campo cientos de veces mayor que el campo magnético oscilatorio producido por la corriente eléctrica hogareña de 110/220 V (0.01 - $0.05 \mu\text{T}$). Una corriente de 50 amperios (A) en una línea de distribución produce una densidad de flujo magnético (campo magnético) de $100 \mu\text{T}$ a una distancia de 10 cm del cable de conducción, y de 3 - $10 \mu\text{T}$ a la altura de la cabeza de la persona situada inmediatamente debajo de la línea. Por su parte, una maquinilla eléctrica produce un campo magnético de $60 \mu\text{T}$.

Los campos eléctricos de las líneas de alta tensión y de los diferentes aparatos que funcionan con electricidad inducen corrientes eléctricas en la piel de las personas expuestas. Dado que los campos eléctricos son muy sensibles a la conductividad tisular, los campos en el interior corporal son extremadamente débiles. Por el contrario, los campos magnéticos atraviesan sin dificultad el organismo y pueden inducir corrientes eléctricas a través del cuerpo. Los campos magnéticos pasan a través de los materiales habituales de construcción, incluidas láminas delgadas de metal; sin embargo, los materiales magnéticos, como hierro y algunas aleaciones metálicas, pueden servir como canales de conducción de los campos magnéticos y pueden utilizarse como escudos magnéticos en algunos casos. Las personas pueden protegerse fácilmente de la exposición a los campos eléctricos, porque la mayoría de los materiales poseen la suficiente conductividad para atenuar tales campos; ello no es el caso de los campos magnéticos. Aunque los campos eléctricos y magnéticos son bastante diferentes en carácter, los campos alternos se describen conjuntamente como campos electromagnéticos; sin

embargo, en el límite de los campos estables (estáticos), los campos eléctrico y magnético son independientes. En las bajas frecuencias asociadas con la energía eléctrica de uso común, el acoplamiento es muy débil, y los campos eléctrico y magnético pueden considerarse independientes con una excelente aproximación.

Informe.

Sobre la base de la revisión de la bibliografía recogida y, en especial, del informe emitido en el año 1997 por el “*Committee on the possible effects of electromagnetic fields on biological systems*”, del “*Board on radiation effects research*”, de la “*Commission on Life Sciences*”, del “*National Research Council*” de los EE.UU, el presente informe refiere:

Exposición e interacciones físicas.

Los campos magnéticos correspondientes a 50-60 Hz, en los que están inmersos los hogares y la mayoría de los lugares de trabajo, oscilan en el rango de 0.01-0.3 μT (0.1-3 mG). Valores superiores se detectan inmediatamente debajo de las líneas de transporte de alta tensión y en algunos puestos de trabajo. Algunos electrodomésticos producen campos $>100 \mu\text{T}$ (1 G) en su vecindad. La exposición a campos eléctricos puros y a otras características de los campos magnéticos (harmónicos o cambios espacio-temporales) ha recibido poca atención en cuanto a sus posibles efectos biológicos o sobre la salud humana.

Los estudios epidemiológicos realizados utilizan, mayoritariamente, estimaciones indirectas de la exposición humana a los campos magnéticos; en especial, el concepto denominado “código de cableado”. Los códigos o configuraciones de los sistemas de cableado (*wire codes*, *wiring configuration*) fueron utilizados inicialmente por Wertheimer y Leeper; en su estudio de 1979 los hogares de los individuos estudiados se clasificaron en configuraciones de alta (HCC) y de baja (LCC), dependiendo de la proximidad del edificio a diferentes clases de cableado. En un estudio posterior (1982), los mismos autores dividieron cada una de las categorías apuntadas; HCC en “muy alta” (VHCC) y “ordinariamente alta” (OHCC), y la LCC en “ordinariamente baja” (OLCC) y de “poste terminal” o “muy baja” (VLCC). Por su parte, los códigos de cableado establecieron cinco clases de configuraciones; la Clase 1 se refiere al cableado comprendido en las líneas de transporte eléctrica de alta tensión; líneas de distribución con seis o más cables (más de un circuito de distribución), o un único circuito trifásico de distribución con cables gruesos. Si la configuración del cableado de Clase 1 se encuentra a menos de 50 pies de la casa, ese hogar se clasifica como VHCC, y si la casa se encuentra entre 50 y 130 pies, como OHCC. La Clase 5 o configuración de poste final, incluye sistemas que sirven solo a uno o dos hogares y no contactan directamente a los transformadores (**Figura nº 1**). Los códigos de cableado fueron establecidos por Wertheimer y Leeper como una manera no intrusiva para evaluar la exposición en el hogar a los campos magnéticos que serían proporcionales a la corriente en la línea y disminuirían con la distancia, factores que los autores consideraron que estaban en relación con la incidencia cancerosa. Los muros de las edificaciones no sirven de escudos contra los campos magnéticos, con lo que los códigos de cableado reflejarían la

exposición real de los habitantes. Wertheimer y Leeper también creyeron que la exposición relativamente continua a campos bajos es más efectiva que exposiciones ocasionales a campos fuertes, y que los códigos de cableado que se mantenían constantes durante años reflejaban la exposición continua. Además, algunas mediciones de diferentes campos magnéticos señalaron que los códigos se relacionaban con las medidas.

Sin embargo, los códigos de cableado, la estimación más frecuentemente empleada de posible exposición a los campos eléctrico y magnético, no son un predictor fuerte de la intensidad del campo magnético en los hogares; aunque dentro de un área geográfica determinada, los códigos tienden a distinguir relativamente bien entre las intensidades de los campos residenciales. Con la finalidad de obviar las limitaciones de los predictores indirectos, diferentes estudios epidemiológicos han incorporado medidas directas de los campos. Sin embargo, dado el carácter retrospectivo de los estudios, las mediciones realizadas en el momento del estudio no pueden ser consideradas indicadores inherentemente válidos de la exposición a los campos magnéticos a los que los habitantes estuvieron expuestos en un momento dado. Tales medidas consisten en determinaciones puntuales en sitios concretos: puerta de la calle y dormitorios de los padres y de los niños; en el centro de las habitaciones y a 1 m por encima del suelo. En contadas ocasiones las medidas se han prolongado, de manera continua, a lo largo de 24 h a efectos de detectar las fluctuaciones de los campos.

La exposición de humanos y animales a campos de 50-60 Hz induce corrientes internas. La densidad de tales corrientes no es uniforme a través del cuerpo. Además, los patrones espaciales de las corrientes inducidas por los campos magnéticos son diferentes a los inducidos por los campos eléctricos. Las intensidades de las corrientes endógenas sobre la superficie corporal (intensidades mayores ocurren interiormente) asociadas a la actividad neuronal (tales como las medidas mediante electroencefalografía) son del orden de 1 mA m^{-2} y pertenecen a actividades <50-60 Hz, normalmente de 5-15 Hz. Para producir una intensidad de corriente equivalente en el organismo es necesario exponerlo a un campo de $100 \text{ } \mu\text{T}$ (1 G). La intensidad de la corriente inducida, causada por un típico campo residencial (aproximadamente 1 mG) es del orden de $1 \text{ } \mu\text{A m}^{-2}$, o 1000 veces menor que las intensidades de las corrientes endógenas. La heterogeneidad microscópica no ha sido considerada en la evaluación (experimental o teórica) de las intensidades de las corrientes locales dentro de los tejidos.

Efectos celulares y moleculares.

La exposición a campos magnéticos de 50-60 Hz de intensidad similar a los medidos en ambiente residencial ($0.01\text{-}1 \text{ } \mu\text{T}$) no produce efecto significativo alguno *in vitro*; tales resultados

han sido replicados en estudios independientes. Aunque algunos estudios han señalado efectos positivos para aquellas intensidades de campo, la mayoría de los estudios muestran resultados negativos. Aquellos pocos estudios que muestran resultados positivos no señalan qué mejores métodos o sistemas celulares, utilizaron en comparación con el resto. Todos los estudios están sujetos a artefactos experimentales que pueden afectar los resultados; sin embargo, el número y calidad de los estudios con resultados negativos son tan abrumadores que, en ausencia de hallazgos convincentes en humanos o animales *in vivo*, no existe justificación alguna para cualquier otra conclusión que no sea que “los campos magnéticos con intensidades desde 0.01 μT a 1.0 μT no ejercen efectos significativos sobre los sistemas celulares en cultivo”.

La exposición a campos magnéticos de, aproximadamente, 100 μT (1 G) produce efectos sobre la actividad ornitina descarboxilasa (ODC), una de las vías de transducción de señales iniciada en la membrana celular, y numerosos informes revisados por pares señalan el efecto de tales campos magnéticos sobre otros componentes de las vías de transducción de señales. Sin embargo, se desconoce el mecanismo a través del que campos magnéticos de esas características producen tales efectos biológicos. Diferentes grupos han observado los efectos sobre el sistema ODC señalado para intensidades de campo magnético entre 50 μT y 500 μT (0.5 G a 5.0 G). Para otros efectos – genotoxicidad, concentración de calcio intracelular y patrón de expresión génica general – no se han observado resultados convincentes y reproducibles.

Campos magnéticos de intensidad superior a 500 μT (5 G) inducen cambios en la concentración intracelular de calcio, en el patrón de expresión génica general y en varios componentes de las vías de transducción intracelular de señales. Sin embargo, no ha sido posible obtener resultados reproducibles respecto a la genotoxicidad. De nuevo, algunos de los efectos publicados son típicos de la manipulación experimental y no indican, *per se*, amenaza para la salud. Respecto a los resultados favorables observados, como en los estudios sobre la reparación ósea, los efectos no pueden extrapolarse para cualquier intensidad de campo; es más, se desconoce si los efectos observados para campos de alta intensidad son inducidos por mecanismos distintos o no, de los que pudieran inducirse en campos residenciales u ocupacionales.

Los diferentes experimentos *in vitro* muestran que los efectos observados en células en cultivo solo aparecen en campos cuyas intensidades superan en un factor de 1000 a 100000 las de los campos residenciales.

Efectos tisulares y animales.

No hay evidencia convincente de que la exposición a campos eléctricos o magnéticos de baja frecuencia cause cáncer en animales. Un número limitado de estudios de laboratorio condujo a dirimir si existe alguna correlación entre la exposición a campos eléctricos o magnéticos y cáncer. Hasta donde se conoce, no hay trabajos publicados que demuestren tal correlación. Sin embargo, algún trabajo sugiere una relación positiva entre la exposición a campos magnéticos de, aproximadamente, 100 μ T (1 G) y la incidencia de cáncer de mama en animales tratados con carcinógenos; una correlación que otros grupos no lograron reproducir.

No hay evidencia convincente de efectos adversos de la exposición a campos eléctricos y magnéticos sobre la reproducción y el desarrollo animal. La reproducción y desarrollo en animales, particularmente en mamíferos, no se afecta por la exposición a campos de baja o de muy baja frecuencia. Sin embargo, Reif *et al* señalaron, en un estudio que incluía animales diagnosticados de linfoma entre 1987 y 1990, que perros que pasaban >25% del tiempo fuera de la casa, en zonas residenciales de configuración VHCC correspondientes a un campo magnético de 2.0 mG, presentaban mayor riesgo de enfermar.

Existe evidencia convincente en animales de respuestas neurobiológicas a campos eléctricos fuertes de 60 Hz; sin embargo, no se han demostrado efectos neurobiológicos adversos de tales campos. Las pruebas de laboratorio muestran con claridad que los animales pueden detectar y responder a campos eléctricos. La respuesta a los campos magnéticos es mucho más tenue. En cualquier caso, no se han comunicado efectos generales adversos sobre el comportamiento.

Existen pruebas de cambios neuroendocrinos asociados con la exposición a campos magnéticos de 60 Hz; sin embargo, tales modificaciones en las funciones neuroendocrinas no han sido causa de efectos adversos para la salud. La mayoría de los estudios que se han ocupado de los efectos de los campos magnéticos sobre la función de la glándula pineal sugieren que tales campos pueden inhibir el ciclo circadiano pineal y de las concentraciones de melatonina en sangre; en tales estudios los campos efectivos variaron entre 10 μ T (0.1 G) y 5.2 mT (52 G). Los estudios que apoyan un efecto de los campos eléctricos sinusoidales sobre la producción de melatonina no son concluyentes. A parte de la incidencia sobre la función pineal, los pocos estudios publicados sobre el efecto de la exposición a campos magnéticos sobre otras funciones neuroendocrinas o endocrinas no son concluyentes. A pesar de la reducción observada en la concentración de melatonina en la glándula pineal y en la sangre de animales como consecuencia de la exposición a campos magnéticos, no existe prueba alguna de que la respuesta en humanos se afecte de manera similar. En los animales en los que se ha

detectado los cambios en las concentraciones de melatonina no se han señalado efectos adversos sobre su salud. Por otro lado, existen datos reproducibles que indican que la exposición de animales a campos magnéticos pulsados >0.5 mT (5 G) provoca una respuesta de reparación ósea favorable. Recientemente se ha propuesto la participación de mastocitos e histamina.

Epidemiología.

La potencial asociación entre leucemia infantil y la presencia de líneas de alta tensión, publicada a raíz de estudios epidemiológicos, ha desencadenado preocupación pública, en particular entre los padres. El estudio, hasta donde es posible, de una gran parte de la literatura epidemiológica señala que el contexto eléctrico residencial próximo a líneas de alta tensión (código de cableado: VHCC) se asocia con un riesgo potencial de leucemia infantil superior a los controles; incidencia que es estadísticamente significativa. Utilizados en el contexto epidemiológico, un código de cableado es una herramienta útil – aunque con limitaciones señaladas - a efectos de clasificar los hogares por su relación con los campos magnéticos.

Los estudios epidemiológicos han encontrado una aparente asociación débil entre leucemia infantil con el código de cableado, un índice que describe los sistemas de distribución eléctrica en la vecindad de los hogares. El código de cableado se ha utilizado sobre la base de que se considera un índice de exposición a largo plazo a los campos eléctrico y magnético. Los intentos de reemplazar las estimaciones basadas en el código de cableado por mediciones directas de los campos eléctrico y magnético a los que se exponen los pacientes una vez realizado el diagnóstico de leucemia infantil, debilitaron en vez de fortalecer la asociación.

En 1991, London *et al* publicaron los resultados de un estudio de un registro de tumores de 1980 a 1987, correspondiente a la ciudad de Los Angeles (California), dirigido a relacionar la exposición a campos magnéticos y eléctricos residencial y leucemia infantil. Concluyeron que no habían encontrado asociaciones claras; ello, porque aunque existía una asociación entre riesgo y código de cableado, tal asociación se desvanecía cuando se relacionaba leucemia y medidas directas del campo. El estudio fue posteriormente ampliado para estudiar una posible correlación con tumores cerebrales infantiles; los resultados fueron negativos. En 1999, Thomas *et al* revisaron el estudio de SJ London, concluyendo que el riesgo de leucemia en niños expuestos a campos magnéticos residenciales parece que se asocian mejor con los códigos de cableado (VHCC) que con las mediciones directas durante 24 h y para intensidades de campo >1.25 mG. También señalaron que no está completamente explicado por qué los códigos de cableado se asocian con leucemia infantil. La explicación más plausible, indican los

autores, es que el factor causal corresponde a otra métrica de la exposición al campo magnético que se correlaciona tanto con el código de cableado como con la magnitud del campo. Por su parte, el *Childhood Leukemia-EMF Study Group* (Greeland *et al*, 2000), del Dept Epidemiología de UCLA, realizó un análisis global de los resultados obtenidos en 15 estudios epidemiológicos diferentes. Los autores señalan que la asociación de los códigos de cableado con leucemia infantil varía considerablemente, y que la asociación encontrada con los códigos de cableado no se explica por los campos medidos. Unos resultados similares fueron presentados por JH Olsen *et al* estudiando una población infantil danesa.

En octubre de 1996, PK Verkasalo *et al* publicaron un estudio de cohorte nacional, cuyo objetivo fue la investigación del riesgo de cáncer en asociación con los campos magnéticos, en adultos fineses que vivían en la vecindad de líneas de alta tensión. Estudiaron 383700 personas que vivieron durante los años 1970-89 en un radio de 500 m de líneas de alta tensión de 110-400 kV que generaban campos magnéticos calculados de, aproximadamente, poco más de 0.01 μ T. La conclusión del trabajo fue que los campos magnéticos residenciales típicos, generados por líneas de alta tensión no parecen relacionarse con un incremento del riesgo de cáncer en adultos. Las asociaciones previamente sugeridas entre campos magnéticos de extremadamente baja frecuencia y tumores de sistema nervioso, linfoma y leucemia en adultos de ambos sexos y cáncer de mama en mujeres, no se confirmó. El artículo incluye cinco “mensajes claves”: * Aunque se ha observado un mínimo incremento en el riesgo de cáncer en niños que viven cerca de líneas de alta tensión y en adultos expuestos a campos magnéticos ocupacionales, los estudios realizados para relacionar las exposiciones residenciales y la incidencia de cáncer en adultos, no han sido concluyentes. * El estudio de cohorte realizado en adultos fineses y en el que se encontraron 8415 casos de cáncer, no mostró incremento en el riesgo de padecer cáncer en adultos expuestos a los campos magnéticos generados por líneas de alta tensión. * No se confirmó la asociación sugerida entre campos magnéticos y tumores del sistema nervioso central, linfoma, leucemia, y cáncer de mama en mujeres. * Los resultados del estudio sugieren firmemente que los campos magnéticos residenciales típicos no se relacionan con cáncer en los adultos. * Finalmente, la posibilidad de un incremento en el riesgo canceroso en campos magnéticos mayores o en subtipos muy específicos de cáncer, no pueden excluirse sobre la base del estudio.

En 1997, MS Linet *et al*, de la División de Genética y Epidemiología Oncológica de los Institutos Nacionales de la Salud de EE.UU, publicaron un trabajo sobre la posible relación entre la exposición residencial a campos magnéticos y la incidencia de leucemia linfoblástica aguda (ALL) en niños. El artículo de Linet pasa por ser el estudio mejor realizado hasta la fecha. Su punto de partida era que estudios previos habían encontrado asociación entre leucemia infantil e indicadores indirectos de exposición a campos magnéticos, pero no entre leucemia infantil y

la medición directa de campos residenciales magnéticos de 60 Hz. Incluyeron 638 niños con ALL, menores de quince años y 620 controles. Todos vivían expuestos a campos magnéticos residenciales generados por líneas de alta tensión en la vecindad. Midiéron, directamente, los campos magnéticos durante 24 h en el dormitorio de los niños, y durante periodos más cortos en las otras habitaciones de la casa y en la vecindad inmediata. Se estimó la categoría del código de cableado en el domicilio en los que habitó la madre durante el embarazo en 230 casos de niños con ALL y en 230 controles. La tasas de ALL fue 1.24 en exposiciones $\geq 0.200 \mu\text{T}$ frente a exposiciones $<0.065 \mu\text{T}$. El riesgo de ALL no incrementó entre los niños cuya residencia principal estuvo en código de cableado de la categoría superior, ni tuvo relación con los campos magnéticos residenciales o el código de cableado de los hogares maternos durante el embarazo. Los autores concluyeron que los resultados aportados proporcionan poca evidencia de que la cuantía del campo magnético residencial ($<0.300 \mu\text{T}$) o las características del entorno eléctrico influyan en el riesgo de padecer ALL infantil.

Un tercer estudio de referencia – “Cáncer infantil y proximidad residencial a líneas eléctricas” - apareció en diciembre de 2000; la autoría corresponde al Grupo de Estudio de Cáncer Infantil del Reino Unido de Gran Bretaña. Para estudiar el riesgo asociado con la proximidad residencial a líneas de alta tensión, cables soterrados, subestaciones y circuitos de distribución, se incluyeron 3380 enfermos y 3390 controles. El estudio, que cubrió Inglaterra, Escocia y Gales, no encontró asociación alguna entre los campos magnéticos residenciales y el riesgo de cáncer infantil, no solo respecto a ALL sino también para otros tipos de leucemia, cáncer cerebral y cáncer en general.

Un estudio sobre el registro de cáncer de Nueva Zelanda (Dockerty *et al*, 1998) finalizaba: “los hallazgos positivos (categorías superiores: $>0.2 \mu\text{T}$) deben interpretarse con cautela. Otro estudio, realizado en la Ciudad de México (Fajardo-Gutiérrez *et al*, 1993) concluía que “la exposición a campos electromagnéticos fue positiva; sin embargo no es muy precisa”. Y un tercero, en Taiwan (Li *et al*, 1997) aceptaba el riesgo de leucemia entre niños expuestos a campos magnéticos residenciales $>0.2 \mu\text{T}$).

Aunque la literatura no es completamente consistente, los resultados combinados de los estudios que han examinado el contexto eléctrico y los marcadores relacionados de exposición – la proximidad a líneas de alta tensión (código de cableado VHCC) y los campos magnéticos ($>0.300 \mu\text{T}$) calculados correspondientes a tales líneas – indican que existe una asociación. La selección tendenciosa de controles puede haber influido en algunos de los estudios, pero ellos no alteran el patrón global de asociación identificado.

Sin embargo, la medición de campos magnéticos medios en los hogares de niños no ha mostrado asociación alguna con incremento significativo alguno de leucemia u otros cánceres infantiles. Los estudios que han examinado las mediciones de los campos magnéticos medios en los hogares tras un diagnóstico de leucemia infantil, están marcadamente limitados por la ausencia de datos y no arrojan conclusiones firmes. Los datos generados no apoyan una asociación entre leucemia infantil y campos magnéticos, al contrario de los datos generados a partir del código de cableado. Los factores que expliquen la asociación entre código de cableado y leucemia infantil no han sido identificados.

El interés por el código de cableado deriva de su relación presumida con campos magnéticos medios a largo plazo en los hogares. Sin embargo, los estudios epidemiológicos han generado escasas pruebas sobre lo que los campos magnéticos medios significan para la asociación observada entre el código de cableado y la leucemia mieloide aguda infantil. El código de cableado no es un predictor fiable de la intensidad de los campos magnéticos en los hogares, aunque distingue con bastante fiabilidad la intensidad de los campos exteriores. Otros factores explicativos como las características del vecindario, otras mediciones de la exposición a campos eléctricos y magnéticos (“métricas alternativas”, la presencia concomitante de campo estáticos o la contaminación ambiental, han recibido menos atención. Todo ello deja abierta la pregunta de cual es la explicación a la asociación observada. Una revisión del estudio realizado en la ciudad de Los Angeles, California, hipotetizó que el riesgo se relaciona con la exposición a una combinación específica de campos magnéticos estático y de extrema baja frecuencia (Bowman *et al*, 1995).

Desde un punto de vista epidemiológico, no existe evidencia epidemiológica de una asociación entre los campos magnéticos y otros cánceres (a parte de la leucemia) infantiles, cánceres en los adultos, interrupción del embarazo o trastornos neurológicos o del comportamiento.

Evaluación de riesgo.

El conjunto de estudios que han investigado la relación entre la leucemia infantil y la proximidad residencial a configuraciones particulares del cableado eléctrico exterior ha captado el interés y la preocupación de público, científicos y políticos. La valoración del riesgo es un método diseñado para evaluar el riesgo para la salud humana. Debe señalarse que la evidencia o las conclusiones derivadas de estudios epidemiológicos es la clase más importante de datos a la hora de realizar una estimación de riesgo. Los estudios que involucran humanos y los resultados de tales estudios, pueden aplicarse directamente. En otros tipos de estudios, aun

cuando los resultados sean favorables, los hallazgos se relacionan indirectamente con los humanos y deben extrapolarse desde el sistema biológico estudiado a los humanos.

Aunque se ha demostrado que la exposición a campos eléctricos y magnéticos de 50-60 Hz induce cambios en células en cultivo en condiciones que exceden la exposición residencial humana en factores $\times 1000$ – $\times 100000$, no hay evidencia consistente o convincente de efectos de la exposición a campos eléctricos y magnéticos de la cuantía y características de los residenciales sobre el DNA bacteriano ni sobre sistemas celulares de mamíferos en cultivo, que puedan sugerir un efecto de aquellos sobre la salud humana.

No hay evidencia consistente o convincente de efectos de la exposición a campos eléctricos o magnéticos sobre animales que pueda indicar un efecto sobre la salud humana a los niveles típicos de exposición residencial ($<0.300 \mu\text{T}$). Los animales de laboratorio han mostrado cambios de comportamiento y neuroendocrinos en respuesta a campos eléctricos y magnéticos. Sin embargo, tales respuestas no representan una evidencia convincente de efectos adversos para los humanos, ya que los efectos demostrados en animales de laboratorio ocurren en condiciones de exposición muy superiores a la experiencia humana.

Existe una asociación estadísticamente significativa aunque moderadamente consistente entre el código de cableado, como una medida indirecta de la exposición a campos eléctricos y magnéticos y leucemia infantil. Sin embargo, la medición de los campos magnéticos en los hogares, tras el diagnóstico de la enfermedad no muestra asociación con un incremento de cáncer infantil. No se han identificado los factores que explican la asociación entre el código de cableado y la leucemia infantil. Las características del cableado extrarresidencial no son predictores fuertes de la intensidad de los campos magnéticos residenciales, aunque si distinguen bastante bien los campos magnéticos fuertes de los débiles.

En general, las sustancias dañinas ejercen su efecto en proporción a la cantidad de exposición recibida. De la revisión de los datos disponibles no se percibe una clara identificación de que las exposiciones a campos eléctricos y magnéticos de magnitudes diferentes puedan relacionarse con variaciones en las respuestas de los diferentes sistemas estudiados en el laboratorio. Sin embargo, los datos epidemiológicos ofrecen varias interpretaciones, aunque aquellos datos que apoyan una relación dosis-respuesta son escasos y la naturaleza de los estudios y los datos publicados no aportan análisis rigurosos.

Es esencial en la valoración del riesgo conocer si los humanos o las especies estudiadas han estado expuestas al agente causal supuesto y medir la cuantía de la exposición. No hay duda de que los humanos están expuestos a campos eléctricos y magnéticos durante su actividad

diaria. En efecto, la exposición es tan universal e inevitable que incluso el más mínimo efecto adverso probado de la exposición a los campos citados debe considerarse desde la perspectiva de salud pública: un pequeño efecto adverso sobre prácticamente la totalidad de una población, significaría que mucha gente estará afectada. Gran cantidad de datos establecen que la humanidad, en los países industrializados, está expuesta a campos magnéticos de 50-60 Hz y, en menor extensión, a campos eléctricos en diferentes ambientes, que incluyen los hogares. Indicadores indirectos de la exposición a campos magnéticos, como el código de cableado, se han utilizado en los estudios epidemiológicos. Es crítico para comprender la valoración del riesgo reconocer que los estudios epidemiológicos que muestran una asociación entre código de cableado y leucemia infantil que no establecen una asociación entre los campos eléctrico y magnético directamente medidos y la enfermedad; ello, porque el código de cableado no ha sido validado como una medida indirecta apropiada de los campos.

Los datos disponibles indican que la exposición de los sistemas biológicos a los campos eléctricos y magnéticos es negativa o tan incierta, que hacer una estimación de sus efectos es un ejercicio poco juicioso y engañoso, aunque una evaluación teórica de riesgo debe plantearse.

El informe, consecuencia de la revisión de la bibliografía aportada, favorece el juicio de que la exposición a campos eléctricos y magnéticos asociados al contexto eléctrico residencial (VHCC, $<0.300 \mu\text{T}$) no es un peligro ni una amenaza para la salud humana. Sin embargo, algunos datos epidemiológicos apoyan una asociación entre aproximaciones indirectas de los campos magnéticos y un riesgo incrementado de leucemia infantil. Es necesario mayor y más rigurosa investigación para definir los diferentes modos de medir la exposición y estudiar su posible asociación con efectos adversos para la salud humanos, con el fin de resolver la incertidumbre.

El informe se basa en la revisión y análisis de los datos biológicos a los niveles molecular, celular y orgánico considerados relevantes para evaluar la posibilidad de que la exposición a campos eléctricos y magnéticos ambientales cause cáncer en humanos. Primero, estudios *in vitro* observaron efectos biológicos a intensidades de campo 1000 o más veces superiores a los experimentados en situaciones residenciales. Aún en esos casos, los resultados son, la mayoría de las veces, inconsistentes e irreproducibles. La demostración de efectos *in vitro* no implica, necesariamente, riesgo de potenciales efectos adversos para la salud humana. Aunque los estudios experimentales han demostrado que muchos animales pueden detectar campos de 1-5 kV,. No hay evidencia alguna de que tal efecto suponga un peligro para su salud.

La exposición a campos eléctricos y magnéticos no es genotóxica. Tras considerar los efectos de la exposición de animales de laboratorio a campos eléctricos y magnéticos, puede concluirse que los efectos de tales campos no responden a un patrón consistente de carcinógenos directos. Resultados, no consistentemente reproducidos, muestran que la exposición a campos eléctricos y magnéticos intensos combinada con la exposición a altas concentraciones de carcinógenos conocidos, incrementa el número de tumores y celera su aparición en animales. Tales estudios no identifican a los campos eléctricos y magnéticos como probables carcinógenos.

Por último, el análisis de los datos epidemiológicos indica que la asociación entre la exposición a campos eléctricos y magnéticos no es convincente, aunque el código de cableado residencial se haya asociado con cáncer. Además de tales datos, no se han identificado mecanismos biofísicos plausibles que sugieran que la acción de los campos eléctricos y magnéticos sea carcinogénica.

Los datos obtenidos en diferentes complejidades biológicas, tomados en su conjunto, no proporcionan evidencia convincente de que los campos eléctricos y magnéticos experimentados en ambientes residenciales sean carcinogénicos. Ningún test ni estudio puede probar que un agente no es carcinogénico a alguna dosis en combinación con otros agentes biológicos o en alguna población humana sensible. Todo lo que puede afirmarse es que, bajo las condiciones experimentales llevadas a cabo en un gran número de experimentos, la exposición a campos eléctricos y magnéticos similares a los residenciales no producen patrones de respuesta equiparables a los etiquetados para otros agentes que se ha demostrado, incuestionablemente, que son carcinogénicos. Posiblemente, puede sugerirse que tales campos pueden actuar como cocarcinógenos no genotóxicos o que actúan a través de vías hormonales suprimiendo moléculas protectoras como la melatonina. Aunque tales hipótesis deben ser cuidadosamente comprobadas cuando la justificación científica lo requiera, la conclusión general que debe arrojarse de los datos correspondientes a estudios celulares, en animales inferiores y humanos es que los datos son negativos o no concluyentes. Los campos eléctricos y magnéticos ni son genotóxicos en células en cultivo, ni carcinógenos directos en animales, ni se asocian concluyentemente con cáncer en humanos expuestos.

La asociación entre proximidad a configuraciones eléctricas intensas y tasas incrementadas de leucemia infantil permanece sin explicación, de igual manera que la asociación entre exposición en el puesto de trabajo y leucemia y cáncer cerebral. Los datos epidemiológicos positivos en humanos son la evidencia más fuerte en la evaluación de cualquier riesgo para la salud humana. La asociación con leucemia infantil se ha mostrado estadísticamente fiable por lo que tales hallazgos deben considerarse con extremo cuidado a la hora de arrojar

conclusiones sobre el riesgo global. La incertidumbre se introduce porque las asociaciones encontradas con las configuraciones eléctricas no se encuentran con los campos directamente medidos, lo que provoca serias dudas sobre la interpretación de los hallazgos positivos y su modelización cuantitativa. Los estudios epidemiológicos solo apuntan posibles efectos adversos para la salud, y tales resultados por si mismos indican pequeños riesgos en relación con otras exposiciones adversas que consideran los epidemiólogos.

En relación con otros posibles efectos adversos de la exposición residencial a campos eléctricos y magnéticos y sobre la base de estudios con animales y de estudios epidemiológicos humanos, puede indicarse que no existe evidencia convincente de asociación alguna con efectos reproductivos, del desarrollo o neurobiológicos; sin embargo, debe mantenerse el esfuerzo investigador para resolver ciertas incertidumbres surgidas de hallazgos epidemiológicos y experimentales.

Conclusiones.

Sobre la base de lo informado y de lo recogido en la RECOMENDACIÓN DEL CONSEJO de la Comunidad Europea de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) (1999/519/CE) – Diario Oficial de las Comunidades Europeas 30.7.1999, L199/59-70 –, puede concluirse, en concordancia con el considerando (5) - “Es absolutamente necesaria la protección de los ciudadanos de la Comunidad contra los efectos nocivos para la salud que se sabe pueden resultar de la exposición a campos electromagnéticos” -, que las recomendaciones (I – VII) formuladas, cuyas especificaciones técnicas se recogen en Anexos (I – IV), corresponden a los criterios expuestos en el informe. Por todo ello, la observancia de las restricciones básicas que recoge la Recomendación referida garantiza, hasta donde hoy se conoce, la protección de la salud.

Por su parte, el *Internacional EMF Project*, establecido por la WHO en 1996, busca cualquier evidencia científica sobre posibles efectos sobre la salud de los EMFs en el rango de frecuencias entre 0 y 300 GHz. El Proyecto, que está abierto a todos los gobiernos de los Estados miembros de la WHO, ha celebrado su última reunión el pasado mes de julio de 2005, en Ottawa, Canada: “*Workshop on guiding public health policy in areas of scientific uncertainty*”. La conclusión: “*There have been no adverse health consequences established from exposure to RF fields at levels below the internacional guidelines on exposure limits Publisher by the Internacional Comisión on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP, 1998)*”; y respecto al tema “*Children and mobile phones: Clarification statement*”: “*Present scientific evidence does not indicate the need for any special precautions for the use of mobile phones. If individuals are concerned, they might choose to limit their own or their children’s exposure by limiting the length of calls, or by using hands-free devices to keep mobile phones away from the head and body*”.

Bibliografía.

Adey WR (1981) Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields. *Physiol Rev* **61**, 435-514.

Ahlbom A (2001) Neurodegenerative diseases, suicide and depressive symptoms in relation to EMF. *Bioelectromagnetics Suppl* **5** (4), S132-43.

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T y Verkasalo PK (2000) A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* **83**, 692-8.

Angelillo IF y Villari P (1999) Residential exposure to electromagnetic fields and childhood leukaemia: a meta-analysis. *Bull World Health Organ* **77**, 906-15.

Auvinen A, Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Kaune WT, Misakian M, Niwa S, Wacholder S y Tarone RE (2000) Extremely low-frequency magnetic fields and children acute lymphoblastic leukaemia: an exploratory analysis of alternative exposure metrics. *Am J Epidemiol* **152**, 20-31.

Barnes F, Wachtel H, Savitz D y Fuller J (1989) Use of wiring configuration and wiring codes for estimating externally generated electric and magnetic fields. *Bioelectromagnetics* **10**, 13-21.

Bates MN (1991) Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: the epidemiologic evidence. *Environ Health Perspect* **95**, 147-56.

Beers GJ (1989) Biological effects of weak electromagnetic fields from 0 Hz to 200 Hz: a survey of the literature with special emphasis on possible magnetic resonance effects. *Mag Reson Imaging* **7**, 309-31.

Bennett WR (1994) *Health and Low Frequency Electromagnetic Fields*. Yale University Press, New Haven.

Bennett WR (1995) Electromagnetic fields and power lines. *Sci Amer/Sci Med* 68-77.

Bianchi N, Crosignani P, Rovelli A, Tittarelli A, Carnelli CA, Rossitto F, Vanelli U, Porro E y Berrino F (2000) Overhead electricity power lines and childhood leukaemia: a registry-based, case-control study. *Tumori* **86**, 195-8.

Blank M y Goodman R (1989) New and missing proteins in the electromagnetic and thermal stimulation of biosynthesis. *Bioelectrochem Bioenerget* **21**, 307-17.

Blank M y Goodman R (1997) Do electromagnetic fields interact directly with DNA? *Bioelectromagnetics* **18**, 111-5.

Blank M, Khorkova O y Goodman R (1993) Similarities in the proteins synthesized by *Sciaria* salivary gland cells in response to electromagnetic fields and to heat shock. *Bioelectrochem Bioenerget* **31**, 27-38.

Blank M, Khorkova O y Goodman R (1994) Changes in polypeptide distribution stimulated by different levels of electromagnetic and thermal stress. *Bioelectrochem Bioenerget* **33**, 109-14.

Blank M, Soo L, Lin H, Henderson AS y Goodman R (1992) Changes in transcription in HL-60 cells following exposure to alternating currents from electric fields. *Bioelectrochem Bioenerget* **28**, 301-9.

- Boorman GA, McCormick DL, Ward JM, Haseman JK y Sills RC (2000) Magnetic fields and mammary cancer in rodents: a critical review and evaluation of published literature. *Radiat Res* **253**, 617-26.
- Boorman GA, Owen RD, Lotz WG y Galvin MJ (2000) Evaluation in vitro effects of 50 and 60 Hz magnetic fields in regional EMF exposure facilities. *Radiat Res* **153**, 648-57.
- Boorman GA, Rafferty CN, Ward JM y Sills RC (2000) Leukemia and lymphoma incidence in rodents exposed to low-frequency magnetic fields. *Radiat Res* **153**, 627-36.
- Bowman JD, Thomas DC, Jiang L, Jiang F y Peters JM (1999) Residential magnetic fields predicted from wiring configurations: I. Exposure model. *Bioelectromagnetics* **20**, 399-413.
- Bowman JD, Thomas DC, London SJ F y Peters JM (1995) Hypothesis: the risk of childhood leukaemia is related to combinations of power-frequency and static magnetic fields. *Bioelectromagnetics* **16**, 48-59.
- Brodeur P (1989) Annals of radiation: the hazards of electromagnetic fields. I. Power lines. *The New Yorker* **12 junio**, 51-88.
- Brodeur P (1989) Annals of radiation: the hazards of electromagnetic fields. II. Something is happening. *The New Yorker* **19 junio**, 47-73.
- Brodeur P (1989) Annals of radiation: the hazards of electromagnetic fields. III. Video-display terminals. *The New Yorker* **26 junio**, 39-68.
- Campion EW (1997) Power lines, cancer, and fear. *N Engl J Med* **337**, 44-6.
- CIEMAT. Ver Maganto Fernández G.
- Committee on the Possible Effects of Electromagnetic Fields on Biological Systems - BRER, CLS, NRC (1997) *Possible Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields*. National Academy Press, Washington DC.
- Coste D, Moutet JP y Bernard JL (1996) Champs magnetiques residuels et cancer de l'enfant: l'état de la recherche en épidémiologie. *Rev Epidemiol Sante Publique* **44**, 80-92.
- Dockerty JD, Elwood JM, Skegg DC y Herbison GP (1998) Electromagnetic field exposures and childhood cancers in New Zealand. *Cancer Causes Control* **9**, 299-309.
- Fajardo-Gutiérrez A, Garduno-Espinosa J, Yamamoto-Kimura L, Hernández-Hernández DM, Gómez-Delgado A, Mejía-Arangure M, Cartagena-Sandoval A y Martínez-García MC (1993) Residencia cercana a fuentes eléctricas de alta tensión y su asociación con leucemia en niños. *Bol Med Hosp. Infant Mex* **50**, 32-8.
- Feychting M y Ahlbon A (1993) Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *Am J Epidemiol* **138**, 467-81.
- Feychting M, Schulgen G, Olsen JH y Ahlbon A (1995) Magnetic fields and childhood cancer – a pooled analysis of two Scandinavian studies. *Eur J Cancer* **31A**, 2035-9.
- Florig HK (1992) Containing the cost of the EMF problem. *Science* **257**, 468-9, 88, 90, 92.
- Galloni P y Marino C (2000) Effects of 50 Hz magnetic field exposure on tumor experimental models. *Bioelectromagnetics* **21**, 608-14.

- Gangi S, Johansson O (2000) A theoretical model based upon mast cells and histamine to explain the recently proclaimed sensitivity to electric and/or magnetic fields in humans. *Med Hypotheses* **54**, 663-71.
- Goodman EM, Bumann J, Wei L-X y Shirley-Henderson A (1992) Exposure of human cells to electromagnetic fields: effect of time and field strength on transcript levels. *Electro Magnetobiol* **11**, 19-28.
- Goodman EM, Chizmadzhev Y y Shirley-Henderson A (1993) Electromagnetic fields and cells. *J Cell Biochem* **51**, 436-41.
- Goodman EM, Greenbaum B y Marron MT (1995) Effects of electromagnetic fields on molecules and cells. *Intern Rev Cytol* **158**, 279-338.
- Goodman EM, Weisbrot D, Uluc A y Henderson A (1992) Transcription in *Drosophila melanogaster* salivary gland cells is altered following exposure to low-frequency electromagnetic fields: analysis of chromosome 3R. *Bioelectromagnetics* **13**, 111-8.
- Green LM, Miller AB, Agnew DA, Greenberg ML, Li J, Villeneuve PJ y Tibshirani R (1999) Childhood leukaemia and personal monitoring of residential exposures to electric and magnetic fields in Ontario, Canada. *Cancer Causes Control* **10**, 233-43.
- Green LM, Miller AB, Villeneuve PJ, Agnew DA, Greenberg ML, Li J, y Donnelly KE (1999) A case-control study of childhood leukaemia in southern Ontario, Canada, and exposure to magnetic fields in residences. *Int J Cancer* **82**, 161-70.
- Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C y Kelsh MA (2000) A pooled analysis of magnetic fields, código de cableado, and childhood leukaemia. Childhood leukaemia-EMF Study Group. *Epidemiology* **11**, 624-34.
- Hatch EE, Kleinerman RA, Linet MS, Tarone RE, Kaune WT, Auvinen A, Baris D, Robison LL y Wacholder S (2000) Do confounding or selection factors of residential wiring codes and magnetic fields distort finding of electromagnetic fields studies?. *Epidemiology* **11**, 189-98.
- Hileman B (1993) Health effects of electromagnetic fields remain unresolved. *Chem Engen News* 15-29. 8 nov.
- Holohan T (1999) Non-ionizing electromagnetic radiation and public health. *Ir Med J* **92**, 421-2.
- Jackson JD (1992) Are the stray 60-Hz electromagnetic fields associated with the distribution and use of electric power a significant cause of cancer?. *Proc Natl Acad Sci USA* **89**, 3508-10.
- Jahn O (2000) Electromagnetic fields: low dose exposure, current update. *Int Arch Occup Environ Health* **73** (suppl 1), S1-3.
- Kaiser J (1996) Panel finds EMFs pose no threat. *Science* **274**, 910.
- Kaune WT (1993) Assessing human exposure to power-frequency electric and magnetic fields. *Environ Health Perspect* **101**, suppl 4, 121-33.
- Kavet R, Zaffanella LE, Daigle JP y Ebi KI (2000) The possible role of contact current in cancer risk associated with residential magnetic fields. *Bioelectromagnetics* **21**, 538-53.
- Kheifets L (2001) Electric and magnetic field exposure and brain cancer: a review. *Bioelectromagnetics* **Suppl 5** (1-2), S120-31.

Kleinerman RA, Kaune WT, Hatch EE, Wacholder S, Linet MS, Robison LL, Niwa S y Tarone RE (2000) *Am J Epidemiol* **151**, 512-5.

Kleinerman RA, Linet MS, Hatch EE, Wacholder S, Tarone RE, Severson RK, Kaune WT, Friedman DR, Haines CM, Muirhead CR, Boice JD y Robinson LL (1997) Magnetic field exposure assessment in a case-control study of childhood leukaemia. *Epidemiology* **8**, 575-83.

Kobayashi AK, Kirschvink JL y Nesson MH (1995) Ferromagnetism and EMFs. *Nature* **374**, 123.

Krewski D, Byus CV, Glickman BW, Lotz WG, Mandeville R, McBride ML, Prato FS y Weaver DF (2001) Potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* **4**, 1-143.

Krewski D, Byus CV, Glickman BW, Lotz WG, Mandeville R, McBride ML, Prato FS y Weaver DF (2001) Recent advances in research on radiofrequency fields and health. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* **4**, 145-59.

Lacy-Hulbert A, Metcalfe JC y Hesketh R (1998) Biological responses to electromagnetic fields. *FASEB J* **12**, 395-420.

Langholz B (2001) Factors that explain the power line configuration wiring code-childhood leukaemia association: What would they look like?. *Bioelectromagnetics Suppl* **5**, S19-31.

Levallois P (1995) Do power frequency magnetic fields cause leukaemia in children?. *Am J Prev Med* **11**, 263-70.

Li CY, Theriault G y Lin RS (1997) Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. *Epidemiology* **8**, 25-30.

Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robinson LL, Kaune WT, Friedman DR, Severson RK, Haines CM, Hartsock CT, Niwa S, Wacholder S y Tarone RE (1997) Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukaemia in children. *N Engl J Med* **337**, 1-7.

Loberg LI, Engdahl WR, Gauger JR y McCormick DI (2000) Expression of cancer-related genes in human cells exposed to 60 Hz magnetic fields. *Radiat Res* **153**, 679-84.

London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng TC y Peters JM (1991) Exposure of residential electric- magnetic fields and risk of childhood leukaemia. *Am J Epidemiol* **134**, 923-37.

Luben RA (1991) Effects of low-energy electromagnetic fields (pulsed and DC) membrane signal transduction processes in biological systems. *Health Phys* **61**, 15-28.

Maganto Fernández G (Coordinador) (1997) Posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente de los campos electromagnéticos producidos por las líneas eléctricas de alta tensión. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat), Madrid.

Mangiaccasale R, Tritarelli A, Sciamanna I, Cannone M, Lavia P, Barbaeris MC, Lorenzini R y Cundari E (2001) Normal and cancer-prone human cells respond differently to extremely low frequency magnetic fields. *FEBS Lett* **487**, 397-403.

Mantiply ED, Pohl KR, Poppell SW y Murphy JA (1997) Summary of measured radiofrequency electric and magnetic fields (10 kHz to 30 GHz) in the general and work environment. *Bioelectromagnetics* **18**, 563-77.

- McBride (1999) Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukaemia in Canada. *Am J Epidemiol* **149**, 831-42.
- McLeod BR, Liboff AR y Smith SD (1992) Biological systems in transition: sensitivity to extremely low-frequency fields. *Electro Magnetobiol* **11**, 29-42.
- Michaelis J, Schuz J, Meinert R, Zemann E, Grigat JP, Kaatsch P, Kaletsch U, Miesner A, Brinkmann K, Kalkner W y Karner H (1998) Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukaemia. *Epidemiology* **9**, 92-4.
- Michaelson SM y Lin JC (1987) *Biological Effects and Health Implications of Radiofrequency Radiation*. Plenum Press, New York.
- Ministerio de Sanidad y Consumo. Campos electromagnéticos y Salud pública. Ministerio de Sanidad y Consumo (España). www.msc.es/salud/ambiental/ondas/camposelectromag.htm.
- Morehouse CA y Owen RD (2000) Exposure to low-frequency electromagnetic fields does not alter HSP70 expression or HSF-HSE binding in HL60 cells. *Radiat Res* **153**, 658-62.
- Moulder JE (2000) The electric and magnetic fields research and public information dissemination (EMF-RAPID) program. *Radiat Res* **153**, 613-6.
- Moulder JE y Foster KR (1995) Biological effects of power-frequency fields as they relate to carcinogenesis. *Proc Soc Exp Biol Med* **209**, 309-24.
- Mundt KA (1992) Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukaemia. *Am J Epidemiol* **135**, 1070-5.
- Nair I, Morgan G y Floring HK (1989) *Biological Effects of Power Frequency Electric and Magnetic Fields*. Office of Technology Assessment, Washington DC.
- Neutra R (2001) Panel exploring pro and con arguments as to whether EMFs cause childhood brain cancer. *Bioelectromagnetics Suppl* **5** (3), S144-9.
- Oak Ridge Associated Universities Panel (1992) *Health Effects of Low-frequency Electric and Magnetic Fields*. Government Printing Office, Washington DC (Pbl nº 029-000-00443-9).
- Olsen JH, Nielsen A, chulgen G (1993) Residence near high-voltage facilities and the risk of cancer children. *Br Med J* **307**, 891-5.
- Petridou E, Trichopoulos D, Kravaritis A, Pourtsidis A, Dessypris N, Skalkidis Y, Kogevinas M, Kalmanti M, Koliouskas D, Kosmidis H, Panagiotou JP, Piperopoulou F, Tzortzatos F y Kalapothaki V (1997) Electrical power lines and childhood leukaemia: a study from Greece. *Int J Cancer* **73**, 345-8.
- Pool R (1990) Is there an EMF-cancer connection? *Science* **249**, 1096-7.
- Pool R (1990) Electromagnetic fields: the biological evidence. *Science* **249**, 1378-81.
- Pool R (1990) Flying blind: the making of EMF policy. *Science* **250**, 23-5.
- Poole C y Trichopoulos D (1991) Extremely low-frequency electric and magnetic fields and cancer. *Cancer Causes Control* **2**, 267-76.
- Preece AW, Hand JW, Clarke RN y Stewrat A (2000) Power frequency electromagnetic fields and health. Where's the evidence?. *Phys Med Biol* **45**, R139-54.

- Preston-Martin S, Navidi W, Thomas D, Lee PJ, Bowman J y Pogoda J (1996) Los Angeles study of residential magnetic fields and childhood brain tumors. *Am J Epidemiol* **143**, 105-19.
- Pui C-H (1995) Childhood leukemias. *N Engl J Med* **332**, 1618-30.
- Reif JS, Lower KS y Ogilvie GK (1995) Residential exposure to magnetic fields and risk of canine lymphoma. *Am J Epidemiol* **141**, 352-9.
- Reynolds P, Elkin E, Scalf R, Von Behren J y Neutra R (2001) A case-control pilot study of traffic exposures and early childhood leukaemia using a geographic information system. *Bioelectromagnetics* **Suppl 5**, S58-68.
- Saffer JD y Thurston SJ (1995) Cancer risk and electromagnetic fields. *Nature* **375**, 22.
- Savitz DA, Pearce NE y Poole C (1989) Methodological issues in the epidemiology of electromagnetic fields and cancer. *Epidemiol Rev* **11**, 59-78.
- Schuz J, Grigat JP, Brinkmann K y Michaelis J (2001) Childhood acute leukaemia and residential 16.7 Hz magnetic fields in Germany. *Br J Cancer* **84**, 697-9.
- Sheikh K (1986) Exposure to electromagnetic fields and risk of leukaemia. *Arch Environ Health* **41**, 56-63.
- Smith O (1996) Cells, stress and EMFs. *Nature Med* **2**, 23-4.
- Stone R (1992) Polarized debate: EMFs and cancer. *Science* **258**, 1724-5.
- Taubes G (1995) Another blow weakens EMF-cancer link. *Science* **269**, 1816-7.
- Thériault G, Goldberg M, Miller AB, Armstrong B, Guénel P, Deadman J, Imbernon E, To T, Chevalier A, Cyr D y Wall C (1994) Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970-1989. *Am J Epidemiol* **139**, 550-72.
- Thomas DC, Bowman JD, Jiang L, Jiang F y Peters JM (1999) Residential magnetic fields predicted from wiring configurations: II. Relationships to childhood leukaemia. *Bioelectromagnetics* **20**, 414-22.
- Trosko JE (2000) Human health consequences of environmentally-modulated gene expression: potential roles of ELF-EMF induced epigenetic versus mutagenic mechanisms of disease. *Bioelectromagnetics* **21**, 402-6.
- Tuschl H, Naubauer G, Schmid G, Weber E y Winker N (2000) Occupational exposure to static, ELF, VF and VLF magnetic fields and immune parameters. *Int J Occup Med Environ Health* **13**, 39-50.
- Tynes T y Haldorsen T (1997) Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. *Am J Epidemiol* **145**, 219-26.
- Tynes T, Jynge H y Vistnes AI (1994) Leukemia and brain tumors in Norwegian railway workers, a nested case-control study. *Am J Epidemiol* **139**, 645-53.
- UK Childhood Cancer Study Investigators (1999) Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. *Lancet* **354**, 1925-31.

- UK Childhood Cancer Study Investigators (2000) The United Kingdom Childhood Cancer Study: objectives, materials and methods. *Br J Cancer* **82**, 1073-102.
- UK Childhood Cancer Study Investigators (2000) Childhood cancer and residential proximity to power lines. *Br J Cancer* **83**, 1573-80.
- Verkasalo PK (1996) Magnetic fields and leukaemia – risk for adults living close to power lines. *Scand J Work Environ Health* **22** Suppl 2, 1-56.
- Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Järvinen PJ, Heikkilä KV, Koskenvuo M (1993) Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *Br Med J* **307**, 895-9.
- Verkasalo PK, Pukkala E, Kaprio J, Heikkilä KV y Koskenvuo M (1996) Magnetic fields of high voltaje power lines and risk of cancer in Finnish adults: nationwide cohort study. *Br Med J* **313**, 1047-51.
- Wartenberg D (1998) Residential magnetic fields and childhood leukaemia: a meta-analysis. *Am J Public Health* **88**, 1787-94.
- Wartenberg D (2001) The potential impact of bias in studies of residential exposure to magnetic fields and childhood leukaemia. *Bioelectromagnetics Suppl* **5**, S32-47.
- Washburn EP, Orza MJ, Berlin JA, Nicholson WJ, Todd AC, Frumkin H y Chalmers TC (1994) residential proximity to electricity transmission and distribution equipment and risk of childhood leukaemia, childhood lymphoma, and childhood nervous system tumors: systematic review, evaluation, and meta-analysis. *Cancer Causes Control* **5**, 299-309.
- Weisbrot DR, Khorkova O, Lin H, Henderson AS y Goodman R (1993) The effect of low frequency electric and magnetic fields on gene expression in *Sacharomyces cerevisiae*. *Bioelectrochem Bioenerget* **31**, 167-77.
- Weisbrot DR, Uluc A, Henderson AS y Goodman R (1993) Transcription in *Drosophila melanogaster* salivary gland cells is altered following exposure to low frequency electromagnetic fields: analysis of chromosomes 2R and 2L. *Bioelectrochem Bioenerget* **31**, 39-47.
- Wertheimer N y Leeper E (1979) Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* **109**, 273-84.
- Wertheimer N y Leeper E (1980) Electrical wiring configurations and childhood cancer in Rhode Island [letter]. *Am J Epidemiol* **111**, 461-2.
- Wertheimer N y Leeper E (1982) Adult cancer related to electrical wires near the home. *Int J Epidemiol* **11**, 345-55.
- Wertheimer N y Leeper E (1986) Possible effects of Electric blankets and heated waterbeds on fetal development. *Bioelectromagnetics* **7**, 13-22.
- Wertheimer N y Leeper E (1989) Fetal loss associated with two seasonal sources of electromagnetic field exposure. *Am J Epidemiol* **129**, 220-4.
- World Health Organization (1996) International EMF Project. En: <http://www.who.int/peh-emf/en/>.
- World Health Organization (2005) Workshop on guiding public health policy in areas of scientific uncertainty. 11-13 July, Ottawa, Canada. En: http://www.who.int/peh-emf/meetings/ottawa_june05/en/index.html.

Zhadin MN (2001) Review of Russian literature on biological action of DC and low-frequency AC magnetic fields. *Bioelectromagnetics* **22**, 27-45.

Pedro García Barreno
Madrid, octubre de 2001 (revisado: noviembre de 2005).