

Efectos en la salud pediátrica de la radiación electromagnética de frecuencias extremadamente bajas

J. Ferrís i Tortajada, J.A. Ortega García¹, O.P. Soldin², E.A. Navarro Camba³, J. Garcia i Castell⁴, J.L. Fuster Soler⁵

Unidad de Salud Medioambiental Pediátrica. Unidad de Oncología Pediátrica. Hospital Infantil Universitari La Fe, Valencia. ¹Unidad de Salud Medioambiental Pediátrica. Centro de Investigación Translacional del Cáncer. Hospital Universitario Virgen de la Arrixaca. Murcia.

²Cancer Genetics and Epidemiology, Departments of Oncology and Medicine, Lombardi Comprehensive Cancer Center, Georgetown University Medical Center, Washington D.C. ³Facultad de Física. Universidad de Valencia. ⁴Sección de Anatomía Patológica. Hospital de Sagunto. ⁵Sección de Oncología Pediátrica. Hospital Universitario Virgen de la Arrixaca. Murcia.

RESUMEN

Introducción y objetivos. La radiación electromagnética de frecuencias extremadamente bajas (REM-FEB) procede principalmente de las instalaciones eléctricas; aunque éstas presentan innumerables ventajas, la radiación asociada tiene efectos adversos en la salud humana. Esta publicación tiene dos objetivos: a) divulgar los efectos adversos que las REM-FEB producen en la población infantil; y b) resaltar la especial vulnerabilidad e indefensión de nuestros niños.

Material y métodos. Revisión sistemática de los principales trabajos publicados en MEDLINE, EMBASE, CASCERLIT, LILACS, y SciElo, durante los últimos 25 años, sobre los efectos de la REM-FEB en la salud infantil. El perfil de búsqueda utilizado ha sido la combinación de “pediatric health effects” y “acute childhood leukemia” con “extremely low-frequency fields” y “residential electromagnetic fields”.

Resultados. La población infantil presenta efectos adversos a la exposición de la REM-FEB, aguda o accidental (quemaduras, electrocución, traumatismos, etc.) y crónica. La *International Commission on No-Ionizing Radiation Protection* recomienda como seguras, para la población adulta, exposiciones crónicas inferiores a 100 µT. La exposición residencial infantil a dosis superiores a 0,3-0,4 µT incrementa

el riesgo a desarrollar leucemias agudas (LA). Se desconoce el mecanismo carcinogénico implicado, pero entre las hipótesis más barajadas destacan las de corrientes de contacto y la alteración de la melatonina. La ausencia de un mecanismo biológico conocido y la falta de reproducibilidad en animales de experimentación impiden que la asociación entre la REM-FEB y la LA infantil se considere causal. Actualmente no existen datos estadísticamente significativos para asociar dicha exposición con tumores del sistema nervioso central y otras patologías fetales e infantiles.

Conclusiones. La REM-FEB constituye un contaminante ambiental físico omnipresente en los países industrializados. La población pediátrica es especialmente vulnerable a exposiciones crónicas a la REM-FEB, consideradas como seguras para los adultos. La exposición residencial a campos magnéticos iguales o superiores a 0,4 µT, incrementa un 100% el riesgo a desarrollar LA infantil, respecto a exposiciones menores a 0,1 µT, con resultados estadísticamente significativos. A pesar de no haber encontrado un mecanismo causal, la aplicación del principio de precaución es fundamental para proteger la salud infantil.

Palabras clave: Radiación electromagnética de frecuencias extremadamente bajas; Leucemia aguda; Campos magnéticos; Principio de precaución.

Correspondencia: Dr. Josep Ferrís i Tortajada. Unidad de Salud Medioambiental Pediátrica. Unidad de Oncología Pediátrica. Hospital Infantil Universitari La Fe. Avda de Campanar, 21. 46009 Valencia.

E-mail: ferris_jos@gva.es

Recibido: Noviembre 2009

REV ESP PEDIATR 2010; 66(3): 151-161

ABSTRACT

Introduction and objectives. Electromagnetic fields of extremely low frequencies (EMF-ELF) generated by electric energy, besides its many advantages, produces adverse effects on human health. This article has two objectives: a) to divulge the adverse effects caused by EMF-ELF on pediatric

population; and b) to underscore the special vulnerability and defenselessness of children.

Material and methods. Systematic review of the published articles in Medline, Embase, Cancerlit, Lilacs, and Scielo on the effects of EMF-ELF on paediatric health during the last 25 years. The search profile combined “paediatric health effects” or “acute childhood leukaemia” and “extremely low-frequency fields” or “residential electromagnetic fields”.

Results. The exposure to EMF-ELF causes both acute or accidental (burns, electrocution, traumatism) and chronic adverse effects in children. The International Commission on No-Ionizing Radiation Protection recommends as secure chronic exposure for adult figures under 100 μT . A higher risk of developing acute leukaemia (AL) is associated with home paediatric exposure $> 0.3\text{-}0.4 \mu\text{T}$. Based on these data, the International Agency of Cancer Research (IARC) classifies EMF-ELF as possible carcinogen (2B). Although the implied carcinogen mechanism is still unknown, the most likely hypotheses are the contact current and the melatonin disorder. A causal relationship between EMF-ELF and AL is not still established due to the absence of a sound biological mechanism and the lack of reproducibility in experimental animals. Nowadays, the development of central nervous system tumours and other fetal and infant disorders is not statistically related to EMF-ELF exposure.

Conclusions. EMF-ELF is considered a physical environmental pollutant in industrialized nations. Chronic exposure limits considered safe for adults are deleterious for children. The relative risk of developing AL is increased 100 % in children with chronic home exposure $\geq 0.4 \mu\text{T}$ compared with those with $< 0.1 \mu\text{T}$. In spite of the absence of scientifically proved causal relationship, the application of the precaution principle is necessary to protect paediatric health and wellbeing.

Key words: Electromagnetic fields of extremely low frequencies; Acute leukaemia; Magnetic fields; Precautionary principle.

INTRODUCCIÓN

La Radiación Electromagnética de Frecuencias Extremadamente Bajas (REM-FEB) es omnipresente en los países occidentales. Esta radiación tiene valores no despreciables cerca de las instalaciones que generan, transportan, transforman, distribuyen y consumen energía eléctrica^(1,2). La REM-FEB es un riesgo para la salud humana, siendo la población infantil uno de los segmentos etarios más vulnerables y olvidados⁽³⁻⁵⁾. Los efectos agudos son conocidos desde los primeros usos de la electricidad. Para la exposición crónica de la población en general a los campos asociados se consideran seguros niveles de campo magnéti-

co inferiores a 100 μT ^(2,6). Este nivel de seguridad es el establecido por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* –ICNIRP–)⁽¹⁾. Sin embargo, en los estudios sobre la población infantil se han descrito asociaciones, estadísticamente significativas, con leucemia aguda (LA) en niveles superiores a, tan solo, 0,3-0,4 μT ^(7,8). La normativa vigente en España (R.D. 1066/2001) basada en la Recomendación Europea de Julio de 1999 y en las recomendaciones del ICNIRP acepta como legales y “seguras” las exposiciones inferiores a 100 μT . Estas disparidades de cifras y criterios han creado dudas e interrogantes entre amplios sectores profesionales y sociales⁽⁹⁻¹¹⁾.

La población infantil no tiene representantes en ningún organismo científico, ni político, ni legal, ni judicial, y nadie defiende los intereses de los niños en el ICNIRP^(3-5,11). Sin ninguna duda, habitamos en un mundo hecho por y para los adultos, donde los niños son invisibles, excluidos y silenciados⁽¹²⁾. La presente revisión pretende actualizar y divulgar entre los pediatras los efectos adversos que las REM-FEB producen en la población infantil y, al mismo tiempo, concienciar a nuestros compañeros de la especial vulnerabilidad e indefensión de nuestros niños^(7,13).

MATERIAL Y MÉTODOS

Este artículo está basado en la revisión sistemática de los principales artículos y publicaciones científicas obtenidos del MEDLINE, EMBASE, CANCERLIT, LILACS, y Scielo, durante los últimos 25 años sobre los efectos adversos en la salud pediátrica de las REM-FEB. Se han seleccionado los trabajos más interesantes y de sus referencias se han obtenido los más importantes de los años previos a la búsqueda. El perfil de búsqueda utilizado ha sido la combinación de “pediatric health effects” y “acute childhood leukemia” con “extremely low-frequency fields” y “residential electromagnetic fields”.

CONTAMINACIÓN POR LAS REM-FEB

Todos los organismos que pueblan la Tierra viven inmersos en campos electromagnéticos de origen natural. La vida en general, y la especie humana en particular, ha evolucionado bajo la acción de radiaciones de origen natural procedentes de nuestro propio planeta, el sol y el resto de la galaxia. El sistema óptico, tanto orbitario como intracraneal, se ha desarrollado como sensor de la radiación electromagnética de Super Alta Frecuencia, las llamadas frecuencias ópticas o luz que permiten la visión. El denominado espectro electromagnético no es más que la clasificación de las radiaciones electromagnéticas en función de su frecuencia de oscilación (ciclos por segundo o Hz) o de su longitud de onda (metros). Cada segmento del espectro electromagnético (Fig. 1) (radiación ionizante, ultravioleta, luz visible, infrarrojos, microondas, radiofrecuencias

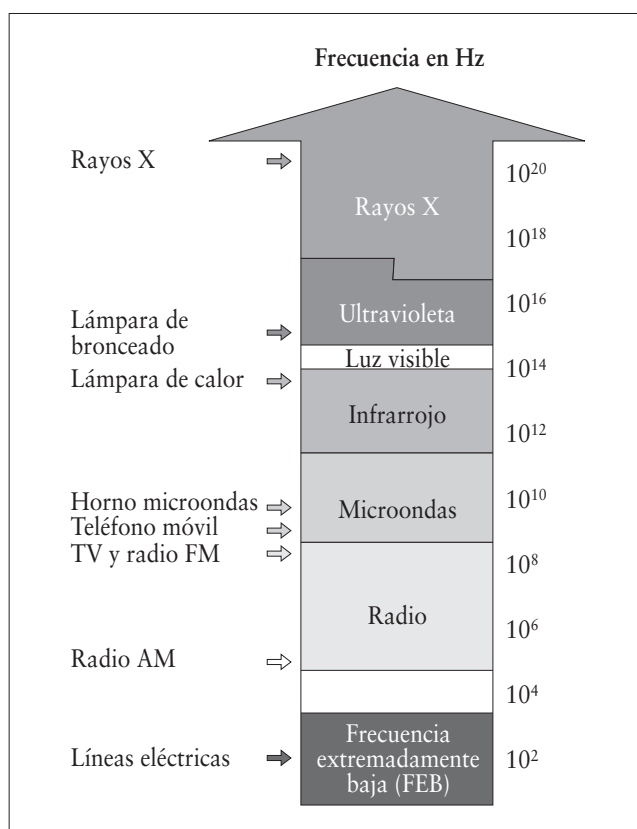


FIGURA 1. Diagrama de las REM

y frecuencias extremadamente bajas), con sus características físicas inherentes, ha tenido su aplicación en el desarrollo de la sociedad moderna y el progreso científico técnico, generalizándose sus aplicaciones desde el final de la segunda guerra mundial. En la actualidad, civilización es sinónimo de electricidad y comunicaciones eléctricas, y los entornos industriales y residenciales de los países desarrollados suelen tener un alto grado de electrificación, existiendo en ellos unos niveles de radiación electromagnética artificiales que en algunos casos interfieren con los de origen natural, y en otros casos simplemente son agentes físicos nuevos, con distintos efectos biológicos, tanto fisiológicos como patológicos^(1,14,15).

La energía eléctrica desarrolla un papel vital en las sociedades modernas. La progresiva demanda y necesidad de la energía eléctrica hace necesaria su generación, transmisión y distribución, siendo frecuentes en nuestros paisajes las líneas eléctricas de alto voltaje (LEAV). El uso de la corriente alterna produce campos eléctricos y magnéticos, que oscilan a 50 Hz con una longitud de onda de 6.000 km en Europa ó 60 Hz y 5.000 km en América. Producen campos electromagnéticos que, a su vez, están constituidos por un campo eléctrico y otro magnético^(1,14).

El campo eléctrico esta relacionado con la tensión o voltaje, y el campo magnético depende de la corriente. Existe

TABLA 1. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)*. Pautas de exposición y algunas fuentes emisoras

Exposición	Pautas de la ICNIRP para la población en general	Algunas fuentes emisoras
50 Hz	100 mT	50 m de líneas de 400 KV de potencia: 0,4-1,5 µT
60 Hz	83 mT	En casa: usualmente < 0,1-0,4 µT 0,5 m de TV: ≈ 0,2 µT 0,03 m del secador de pelo: 6-2.000 µT

un campo eléctrico en el espacio que hay alrededor de dos objetos sometidos a distintos potenciales (voltajes). Se produce un campo eléctrico en el espacio que hay entre una línea eléctrica (220 V) y el suelo (0 V). El campo eléctrico se mide en unidades de voltios por metro (V/m) o kilovoltios por metro (kV/m). Existe un campo magnético alrededor de una línea o cable conductor que transporta corriente eléctrica. El campo magnético depende de la corriente en el cable y de la distancia al cable. El campo magnético se mide y expresa en unidades de Tesla (T) o Gauss (G). Los campos magnéticos asociados a la distribución de energía eléctrica se suelen expresar en microtesla (µT), que es la millonésima parte de 1 T. Los campos eléctrico y magnético son más intensos cuanto más cerca se esté de las fuentes emisoras. De hecho, las REM-FEB ocasionan interferencias en la actividad de algunos equipos electrónicos, como los marcapasos cardíacos o los receptores de radio. Los objetos físicos (vegetación, edificios, vallas, etc.) son capaces de reducir la exposición a los campos eléctricos. Para reducir la exposición a los campos magnéticos hay que recurrir a la distancia, el hecho de enterrar los cables además de ser tremendamente caro no es ningún obstáculo para el campo magnético, que es capaz de penetrar grandes profundidades bajo la superficie terrestre (~200m) y emanar sobre la superficie del terreno^(2,14).

En un entorno residencial de un país desarrollado, cada niño está expuesto a las REM-FEB en sus domicilios, en las escuelas, durante el transporte y en sus actividades sociales. Aproximadamente, el 1% de los niños de los países occidentales residen en estrecha proximidad de las LEAV, que constituye la fuente más potente de exposición. Para la mayoría, las exposiciones a las REM-FEB son de bajas intensidades y están asociadas al cableado eléctrico de distribución y a los electrodomésticos. El promedio de exposición doméstica en la mayoría de los casos oscila entre 0,05 y 0,1 µT^(14,16). Los campos REM-ELF varían según los aparatos emisores y la distancia (Tablas 1 a 4).

TABLA 2. Campo eléctrico (V/m)

Voltaje	Bajo la línea	A 30 m de la línea	A 100 m de la línea
400 KV	6.000	2.000	200
225 KV	4.000	400	40
90 KV	1.000	100	10
20 KV	250	10	–
220 V	1,2	–	–

TABLA 4. Valores de campos magnéticos de aparatos domésticos según la distancia (μT).

	3 cm	30 cm	1 m
Máquina de afeitar	15-1.500	0,08-9	<0,1-0,3
Ordenador	0,5-3,0	0,01	<0,01
Máquina perforadora	400-800	2-3,5	0,1
Microondas	73-200	4-8	0,25-0,6
Proyector diapositivas	240	4,5	<0,15

Exposición media en el domicilio: 0,005-0,1 μT

EFFECTOS EN LA SALUD PEDIÁTRICA POR LA EXPOSICIÓN A REM-FEB

Desde los primeros descubrimientos de la energía eléctrica, son muy conocidos los efectos de las descargas en las personas. A principios del siglo XIX se intentaron terapias basadas en descargas (en aquella época la electricidad era un fenómeno curioso y anecdótico sin ninguna aplicación doméstica o industrial). Hoy en día, después de muchas décadas de utilización, todavía desconocemos realmente muchos de los efectos a largo plazo, especialmente en las épocas fetales e infantiles^(1,14,16). A continuación enumeramos una breve clasificación de los efectos.

Efectos agudos

Cuando la relación temporal causa-efecto es inmediata, los efectos adversos en la salud son muy conocidos. Los más importantes son los siguientes:

- *Directos:*
 - Quemaduras
 - Electrocutión o choque eléctrico
 - Fibrilación ventricular
 - Tetanización muscular generalizada
 - Asfixia
 - Paralización bulbar
 - . Cardiovascular
 - . Respiratoria
- *Indirectos:*
 - Traumatismos por golpes, caídas
 - Incendios

TABLA 3. Campo magnético (μT)

Voltaje	Bajo la línea	A 30 m de la línea	A 100 m de la línea
400 KV	30	12	1
225 KV	20	3	0,3
90 KV	10	1	0,1
20 KV	6	0,2	–
220 V	1,3	–	–

Efectos crónicos

Ocurren ante exposiciones a bajas dosis y mantenidas durante meses, años y décadas. El más estudiado y documentado, en la época pediátrica, es la asociación con la LA infantil⁽¹⁴⁻¹⁶⁾.

Desde que en 1979 Nancy Wertheimer y Ed Leeper⁽¹⁷⁾ encontraron un mayor riesgo de cáncer pediátrico (CP) y especialmente LA infantil asociados a las REM-FEB, usando como medida un código de corriente, numerosos estudios epidemiológicos han examinado la asociación potencial utilizando diversos métodos de medida de la exposición. Para resumir y destacar los principales, comentaremos inicialmente las principales revisiones de los comités de expertos y, posteriormente, los resultados obtenidos mediante metaanálisis.

Revisiones de Comités de Expertos

El *Working Group del National Institute of Environmental Health Sciences* (NIEHS) de EE.UU.⁽¹⁸⁾, en 1998, afirma que hay una evidencia limitada de que la exposición residencial a REM-FEB sea cancerígena para los niños.

El *National Radiological Protection Board* (NRPB) de Gran Bretaña⁽¹⁹⁾, en el 2001, establece que exposiciones medias, selectivamente altas, a las REM-FEB (mayores o iguales a 0,4 μT) duplican el riesgo de LA infantil.

La *International Agency for Research on Cancer* (IARC)⁽⁴⁾, en junio del 2002, clasificó a las REM-FEB como agente posiblemente cancerígeno, por el riesgo de incrementar las LA infantiles.

La *International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) *Standing Committee on Epidemiology*⁽²⁰⁾, en el 2001 concluyó que, entre todos los efectos adversos evaluados en los estudios epidemiológicos de REM-FEB, la evidencia más fuerte es la asociación entre la LA infantil y la exposición postnatal a campos electromagnéticos iguales o superiores a 0,4 μT.

El *ELF Working Group* de Canadá⁽²¹⁾, en enero de 2005, concluye que existe un riesgo significativamente incrementado de LA en la población infantil a niveles muy elevados (>0,3-0,4 μT) de REM-FEB.

Así pues, todas las revisiones de expertos concluyen que existe una asociación entre el desarrollo de la LA infantil y la exposición crónica a dosis altas de REM-FEB.

Metaanálisis

Entre los diversos estudios epidemiológicos (ecológicos, casos-control, cohortes), realizados con resultados dispares, respecto a la significación estadística, queremos destacar los principales analizados mediante la modalidad del metaanálisis.

Greenland S. y cols.⁽²²⁾ analizaron los datos de 15 estudios epidemiológicos de REM-FEB y LA infantil, 12 de los cuales incluían datos medidos o calculados de los campos magnéticos. Basándose en estos 12 estudios, no encontraron ninguna asociación entre LA y campos magnéticos inferiores a 0,3 μ T, pero, comparando las exposiciones inferiores a 0,1 μ T y las superiores a 0,3 μ T, encontraron una OR = 1,7 (IC 95 % de 1,2-2,3). Así mismo, los resultados de los estudios individuales fueron consistentes con los resultados globales.

Ahlbom A. y cols.⁽²³⁾ analizaron 9 estudios epidemiológicos de REM-FEB y LA infantil. En 5 de ellos medían los campos durante 24 y 48 horas, y en 4 calculaban los campos magnéticos. No encontraron asociación aparente entre campos magnéticos y LA infantil por debajo de exposiciones a 0,4 μ T. Pero, en las superiores a 0,4 μ T, el RR = 2,00 (IC 95% de 1,27-3,13).

Angelillo I.F. y cols.⁽²⁴⁾ evaluaron 14 estudios de casos-control y 1 de cohortes. Considerando aquellos estudios donde se medían los códigos de configuración de la corriente, encontraron un mayor riesgo estadísticamente significativo con RR = 1,46 (IC 95% de 1,05-2,04) y, analizando los estudios basados en medidas de exposiciones en 24 horas, también documentaron un riesgo incrementado, estadísticamente significativo, con RR = 1,59 (IC 95% de 1,14-2,22).

A pesar de los hallazgos epidemiológicos consistentes, aún queda por aclarar si la asociación es o no de naturaleza causal. Lógicamente, una relación potencialmente causal entre las exposiciones a las características físicas de la REM-FEB y la LA es una de las posibles explicaciones de la asociación entre los campos magnéticos y la LA. Sin embargo, el mayor argumento contra la hipótesis causal es la ausencia de evidencia experimental en animales o cultivos celulares, diseñados para examinar los efectos biológicos de la exposición a REM-FEB y el desarrollo del cáncer. Entre las explicaciones alternativas, la influencia de los factores confundidores ha sido examinada exhaustivamente sin encontrar o identificar ningún factor o combinación de factores que puedan explicar la asociación epidemiológica observada. Aunque la ausencia de un confundidor identificado no puede ser utilizado como un reforzador de la causalidad, sí se utiliza como un argumento a favor de la relación causal entre la REM-FEB y la LA infantil⁽²⁵⁻²⁹⁾.

Los errores en las medidas de los campos magnéticos y en la clasificación de las enfermedades o en la densidad de los campos, se han de considerar como unas fuentes poten-

ciales de errores en los estudios epidemiológicos. Los expertos consideran muy improbable la existencia de estos errores y mayoritariamente creen que su existencia hipotética no diferenciará los resultados obtenidos. La posibilidad de errores en el sesgo de los participantes relativos a la selección de los casos y controles, referentes al estatus socioeconómico y cultural y de la movilidad residencial, deberán ser analizados en futuros estudios^(26,29).

Estudios recientes

En el 2005, Gerald Draper y cols.⁽³⁰⁾ publicaron un estudio epidemiológico de casos y controles sobre la relación entre CP y la distancia de las residencias en el nacimiento con las LEAV. Está realizado englobando a 29.081 niños de 0-14 años nacidos y diagnosticados de CP entre 1962 y 1995, incluyendo 9.700 LA. Se trata del mayor estudio epidemiológico realizado hasta la fecha, con aproximadamente el doble de niños viviendo cerca de LEAV que en los realizados previamente. Los 29.081 casos de CP se compararon con el mismo número de controles sanos, similares en sexo, fechas de nacimiento (\pm 6 meses) y con registros del distrito de nacimiento. Distribuye los casos y controles en tres grupos, dependiendo de las distancias de las residencias y las LEAV: más de 600 m, entre 200-600 m, y menos de 200 m. Encuentran una asociación estadísticamente significativa entre la LA infantil y la proximidad de las residencias en el nacimiento con las LEAV. Comparando los tres grupos, los que viven a menos de 200 m respecto a los que viven a más de 600 m tienen un RR = 1,69 (IC 95% de 1,13-2,53) de LA; también los que viven entre 200-600 m respecto a los que viven a más de 600 m tienen un RR = 1,23 (IC 95% de 1,02-1,49). No se encontró un mayor riesgo para ningún otro tipo de CP. También destaca que el mayor riesgo se extiende a mayores distancias de las esperadas según estudios previos. Calculando las densidades de los campos magnéticos residenciales respecto a la distancia de las LEAV, el mayor riesgo de LA se extendía a exposiciones inferiores a 0,1 μ T e incluso menores a 0,01 μ T, valores muy inferiores a los promedios domésticos habituales generados por los electrodomésticos.

En enero del 2006, se publicó el primer estudio en que evalúan la influencia de la exposición a los campos magnéticos de las REM-FEB sobre la supervivencia de los niños diagnosticados de LA. Foliart DE y cols.⁽³¹⁾ examinan la hipótesis de si la exposición a las REM-FEB influencia las células leucémicas residuales después de su diagnóstico. Han hecho un seguimiento medio de 5 años sobre 482 niños diagnosticados de LA del *Pediatric Oncology Group* entre los años 1996 y 2001, a quienes se han medido las exposiciones de 24 horas a las REM-FEB. Han observado que, independientemente de los factores que intervienen en la supervivencia, los expuestos a medias superiores a 0,3 μ T tienen peores resultados que los expuestos a 0,1 μ T. A pesar

de las limitaciones propias, los resultados sugieren que las exposiciones superiores a 0,3 μ T de las REM-FEB se asocian a mayores recidivas, segundas neoplasias y mayor mortalidad en los niños diagnosticados de LA.

También, en febrero del 2006, otro estudio de casos-control realizado por Kabuto M y cols.⁽³²⁾ (*National Institute for Environmental Studies*, Ibariki, Japan), analiza a 312 niños diagnosticados de LA linfoblásticas y mieloblásticas (casos) y 603 controles comparables respecto a la edad, sexo y residencia. Miden los campos magnéticos en los dormitorios de los niños. Comparando los grupos de exposición igual o superior a 0,4 μ T, respecto a la menor de 0,1 μ T, encuentran un mayor riesgo de LA con OR = 2,6 (IC 95% de 0,76-8,6) para las LA mieloblásticas + LA linfoblásticas, y OR = 4,7 (IC 95% de 1,15-19,0) cuando sólo analizan las LA linfoblásticas.

Exposición prenatal a REM-FEB y LA infantil

Existe poca información referente a la posible relación entre exposición prenatal a REM-FEB y LA infantil. Los escasos trabajos publicados generan resultados contradictorios. Aquellos que han encontrado un mayor riesgo asociado a la ocupación laboral materna gestacional han utilizado matrices exclusivas para las profesiones maternas. El estudio con la metodología epidemiológica más adecuada, realizado por Infante-Rivard C y cols.⁽³³⁾, encuentra un incremento del riesgo estadísticamente significativo de desarrollar LA infantil tras exposiciones transplacentarias superiores o iguales a 0,4 μ T, con OR = 2,5 (IC 95% de 1,2-5,0). Las ocupaciones con mayores dosis de exposición correspondían a trabajadoras electrónicas en plantas de acoplamiento (0,7 μ T), operadoras de máquinas eléctricas en factorías textiles (0,68 μ T) y en factorías de calzado (0,66 μ T). Otras profesiones maternas de riesgo a REM-FEB son las cajeras y las trabajadoras en cocinas, hornos y maquinaria textil. La plausibilidad de la asociación descrita está basada en: a) proximidad de los aparatos eléctricos al abdomen de las mujeres gestantes; b) la especial vulnerabilidad del periodo fetal a los contaminantes ambientales; y c) el considerable tiempo medio de exposición desde la fase preconcepcional hasta el final del embarazo.

Tumores del SNC pediátricos y REM-FEB

También Wertheimer y Leeper⁽¹⁷⁾ describieron por primera vez que los niños que residían en domicilios con elevados códigos de corrientes eléctricas tenían 2,4 veces mayor riesgo de morir de cáncer del SNC. Sin embargo, a diferencia de las LA, posteriormente no se han efectuado los trabajos necesarios para analizar mejor dicha asociación^(34,35). Diversos trabajos y autores han descrito los tumores del SNC separadamente como grupo diagnóstico junto con otros tumores, incluyendo las LA, mientras que otros han investigado únicamente los tumores del SNC^(18,19). Sin embar-

go, ninguno de los estudios tiene una casuística suficiente para subdividir los tumores del SNC en sus variedades histológicas. Las metodologías utilizadas han sido diferentes y, por todo ello, el informe del *National Radiological Protection Board* de Gran Bretaña⁽¹⁹⁾, en el 2001, concluye que no existe evidencia de una asociación entre tumores del SNC y REM-FEB.

Finalmente diremos que, al ser tumores menos frecuentes que las LA, no se ha podido realizar ningún metanálisis y que, por los datos y conocimientos actuales, los resultados son inadecuados, y que la base para avanzar en la evidencia científica debe ser ampliada^(18,34,35).

SITUACIÓN ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA SOBRE LA HIPOTÉTICA CAUSALIDAD ENTRE REM-FEB Y LA

La ausencia de un mecanismo biológico claramente dilucidado, consistente y reproducible de la interacción de los campos magnéticos de las REM-FEB con los sistemas orgánicos experimentales, impide focalizar sobre unos determinados efectos celulares, dificultando la interpretación de los resultados epidemiológicos. Basados en principios físicos y en modelos biológicos elementales, se argumenta que las magnitudes de los campos magnéticos de 0,3-0,4 μ T son inferiores a los niveles que pueden interactuar con las células y los tejidos orgánicos siendo, por tanto, biológicamente poco convincentes^(28,36-38).

Recientemente, diversos autores postulan la hipótesis basada en la exposición a corrientes de contacto como un mecanismo para superar el argumento de la escasa plausibilidad biológica^(8,27,39,40). Las corrientes de contacto se producen cuando dos partes del cuerpo tocan dos objetos entre los cuales existe una diferencia de potencial. Esta diferencia de potencial se traslada a las dos partes del cuerpo y genera dichas corrientes. Por esa razón, se establece el nombre de tensiones de contacto y corrientes de contacto. Existe una diferencia de potencial entre estructuras metálicas independientes de una misma vivienda. Esta diferencia de potencial existe entre los grifos y otros apliques metálicos y con las partes metálicas de los desagües. Cuando con una mano se abre un grifo y la otra se sumerge en el agua, el cuerpo esta recibiendo una diferencia de potencial de contacto que genera una corriente de contacto entre ambas manos. La práctica de conectar la toma de tierra de los electrodomésticos a las tuberías hace que haya una pequeña diferencia de potencial de menos de 1 voltio entre las tuberías de agua y el suelo. El origen de esta diferencia de potencial se puede deber a diversas fugas de corriente, pero también se puede deber a las diferencias de potencial inducidas en los circuitos constituidos por las tuberías y las distintas estructuras metálicas de la casa^(39,40).

La interacción física de la corriente eléctrica con la médula ósea de las extremidades es de suficiente importancia como para considerar esta interacción como explicación a

su asociación con la LA infantil. La médula roja, muy activa al nacimiento en los huesos de las extremidades, retrocede durante el crecimiento infantil, siendo escasa a partir de los cinco años de edad. Las corrientes de contacto circulan por las manos y dedos, las zonas de poca sección transversal de los miembros de los niños, muñecas y brazos, afectando a la médula ósea. Esta corriente es más reducida sobre el esternón y caderas donde se concentra la médula ósea en los adultos^(27,39).

Existe exposición a las corrientes y tensiones de contacto cuando bañamos a los niños, y éstos tocan o juegan con los grifos, el chorro del agua u otra estructura metálica presente. Además, el baño disminuye la resistencia de la piel y aumenta dichas corrientes. Estas tensiones de contacto también dependen de las características y tipo de suelo que existe bajo la vivienda que, a su vez, está relacionado con la resistencia de toma a tierra⁽²⁷⁾.

Esta hipótesis está basada en: a) los cálculos que demuestran una alta correlación entre los campos residenciales magnéticos y los voltaje medidos y modelados; b) los modelos dosimétricos sugieren que corrientes de contacto muy pequeñas producen dosis de voltaje en la médula ósea de los niños muy superiores a la producida por exposición residencial a campos magnéticos altos; c) las características anatómico-morfológicas y fisiológicas peculiares de la médula ósea de la época pediátrica permiten exposiciones del tejido hematopoyético centenares de veces superiores al mínimo necesario para desarrollar efectos biológicos convincentes; y d) los hábitos higiénicos, y especialmente de la frecuencia de contactos con el agua del baño en los primeros años de vida, refuerzan las posibilidades reales de exposición^(8,27,40,41).

Otra hipótesis que busca un mecanismo biológico subyacente a la asociación entre REM-FEB y LA infantil es la desregulación de los niveles normales de melatonina⁽⁴²⁾. Está basada en la observación de que, en algunos estudios en adultos, la exposición crónica a REM-FEB reduce y/o altera la producción nocturna de melatonina. En un estudio poblacional de casos y controles efectuado en Alemania⁽⁴³⁾ se documenta una asociación estadísticamente significativa (OR = 3,21, IC 95% de 1,33-7,80) entre LA infantil y exposición a REM-FEB nocturnas superiores o iguales a 0,2 μ T. La melatonina, hormona segregada por la glándula pituitaria, además de intervenir en la regulación del sueño/vigilia, actúa como eliminador de los radicales libres y antioxidante. Teóricamente, estos efectos protegen el sistema hematopoyético humano del daño oxidativo celular, dificultando la teórica transformación leucémica.

Aunque algunos autores documentan algunos efectos mutagénicos en cultivos celulares sometidos a REM-FEB, la mayoría de estudios descartan dichos efectos. Por esta razón, y en base a los conocimientos científicos actuales, probablemente la REM-FEB no actúa como iniciadora tumo-

ral, pero no se descarta el efecto promotor tumoral. Para ser considerada como un iniciador tumoral debería producir mutaciones en la estructura del ADN cromosómico de forma irreversible y ser reproducidas en cultivos celulares y en animales de experimentación. Pero los agentes considerados como promotores tumorales, generalmente, no son mutagénicos, ni únicamente carcinógenos y, a menudo, generan sus efectos biológicos sin necesitar alteración morfológica. Los promotores tumorales se caracterizan por su capacidad de reducir los periodos de latencia para la formación tumoral después de la exposición tisular a un agente iniciador tumoral o cancerígeno⁽⁴⁴⁻⁴⁶⁾.

La probable iniciación intrauterina está en consonancia con la mayor vulnerabilidad fetal a los agentes cancerígenos y a la teoría de la doble acción o secuenciación, en la cual, para el desarrollo de la LA, es necesaria la acción de dos pasos o secuencias⁽⁴⁶⁻⁴⁹⁾. La primera puede ocurrir intraútero o en los primeros meses de vida, generando mutaciones cromosómicas típicas en algunas variedades de LA infantil, ya presente en el momento del nacimiento. Estos casos serían niños genéticamente susceptibles a la LA y que precisarían de la actuación de un segundo suceso, hipotéticamente los efectos de la REM-FEB, para desarrollar la LA. El segundo paso puede ocurrir también intraútero y explicar los casos de LA presentes en el nacimiento, pero en la mayoría de los casos actuaría en los primeros meses/años de vida postnatal. En la Tabla V están enumerados los principales factores de riesgo de las LA infantiles⁽⁴⁹⁾.

EFFECTOS NO TUMORALES

Además de la asociación entre REM-FEB y CP, otro foco de atención ha sido la relación con el desarrollo infantil centrado en el periodo prenatal, o sea, durante la gestación o fase fetal. Se han analizado los hipotéticos efectos sobre el aborto espontáneo, malformaciones congénitas, retardo del crecimiento intrauterino, bajo peso en el nacimiento, muerte fetal y frecuencia del género sexual en el nacimiento. Los estudios más antiguos se centraron en la exposición a pantallas o monitores y los más recientes a mantas y otros aplicadores eléctricos para calentar las camas y otros tipos de exposiciones residenciales⁽⁵⁰⁻⁵⁴⁾.

Respecto al uso de pantallas o monitores, un estudio efectuado en EE.UU.⁽⁵¹⁾ no encontró un mayor riesgo de aborto espontáneo en mujeres expuestas, mientras que, en otro realizado en Finlandia⁽⁵²⁾, sí se demostró un mayor riesgo estadísticamente significativo con un OR = 3,4 (IC 95% de 1,4-8,6) con exposiciones basales superiores a 0,24 μ T, y puntuales superiores a 0,9 μ T. Las exposiciones a mantas eléctricas y calentadores de camas acuáticos no parecen incrementar el riesgo de abortos ni otros problemas en el feto.

Entre las exposiciones residenciales, dos estudios^(53,54) que utilizaban medidas personales de exposición a REM-ELF de 24 horas encontraron un riesgo de aborto espon-

TABLA V. Principales factores de riesgo para las LA infantiles⁽⁴⁹⁾.

1. Constitucionales

- a) Sexo: 30% mayor en hombres que en mujeres
- b) Edad: máxima frecuencia entre los 25 años
- c) Raza: la blanca duplica la negra
- d) Estado socioeconómico: mayor riesgo en capas socioeconómicas más altas
- e) Peso nacimiento: mayor riesgo en peso nacimiento (PN) ≥ 4.000 g
- f) Abortos: mayor riesgo en antecedentes maternos de abortos previos
- g) Edad materna: mayor riesgo en madres ≥ 35 años
- h) síndromes genéticos: s. Down, neurofibromatosis, S. Shwachman, S. Bloom, anemia de Fanconi, S. Klinefelter, S. Kostmann, S. Wiskott-Aldrich, S. Poland, S. Turner, S. Li-Fraumeni, S. Werner, S. retinoblastoma familiar, S. trisomía G, S. Blackfan-Diamond, agammaglobulinemia congénita ligada al cromosoma X, inmunodeficiencia variable y deficiencia d'IgA)

2. Medioambientales

- a) Radiación ionizante pre i postnatal
- b) Radiación electromagnética de frecuencia extremadamente baja
- c) Tabaquismo prenatal
- d) Dieta materna prenatal
- e) Alcohol materno gestacional
- f) Cloranfenicol postnatal
- g) Infecciones víricas postnatales
- h) Ocupaciones parentales: emisiones vehículos de motor, pesticidas, industria caucho, hidrocarburos policíclicos aromáticos, pinturas y solventes
- i) Drogas quimioterápicas: epipodofilotoxinas y antraciclinas

3. Factores preventivos

- a) Lactancia materna exclusiva prolongada

táneo 2 veces mayor en exposiciones superiores a $1,6 \mu\text{T}$ y a $2,3 \mu\text{T}$, respectivamente. Otros estudios que utilizaban distancias de las LEAV y códigos de corriente no obtuvieron ningún incremento de aborto espontáneo entre las mujeres expuestas.

Resumiendo podemos decir que, por los datos y conocimientos actuales, es imposible concluir que la exposición a REM-FEB no produzca ningún efecto en el resultado del embarazo.

Diferentes tipos de síntomas, especialmente neurológicos en relación a las REM-FEB, han sido descritos en adultos (hipersensibilidad eléctrica)⁽⁵⁵⁾, pero los estudios científicos no han confirmado que estos síntomas sean causados por los campos electromagnéticos. Además, se han realizado en adultos estudios de la función neurocognitiva en

relación con estas exposiciones con resultados variables. En la población pediátrica no se han descrito síntomas similares ni alteraciones funcionales cognitivas.

Tampoco conocemos nada de los potenciales efectos adversos que aparecerán en la época adulta y que están relacionados o asociados a las exposiciones pediátricas a las REM-FEB. Teóricamente, además de la mayor vulnerabilidad infantil, las exposiciones en las primeras épocas de vida incrementan los periodos de actuación, y los efectos a largo plazo son difíciles de detectar, sobre todo en enfermedades prevalentes en la época adulta, como las enfermedades cancerosas y las neurodegenerativas⁽⁵⁶⁻⁵⁸⁾.

LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL Y SALUD PEDIÁTRICA

La exposición humana a la REM-FEB genera corrientes con campos eléctricos y magnéticos dentro del organismo. Las normas de protección a la exposición se basan en evitar los riesgos para la salud que resultan de las interferencias o interacciones con los tejidos nerviosos eléctricamente excitables, particularmente el SNC. Las recomendaciones actuales en exposiciones ocupacionales están basadas en no superar, en el SNC, corrientes inducidas de $10 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$, que se aproximan a campos eléctricos tisulares en el SNC de aproximadamente $100 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$. Las normas de exposición pública incorporan un factor de seguridad adicional, reduciendo por un factor de 5 y resultando una cifras de $2 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$ ($20 \text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$). Estas restricciones están ligadas a cálculos dosimétricos, basados en modelos anatómicos humanos reales, y a medidas de las propiedades bioeléctricas en tejidos humanos. Por todo ello, la exposición al público general, que corresponde a los niveles de referencia comentados para los campos eléctricos y magnéticos de la REM-FEB, es de 5 KV/m y de $100 \mu\text{T}$, respectivamente^(2,14,16,20,59).

Cabe destacar que todos los estudios pormenorizados de cálculo y medidas de seguridad se han realizado en adultos, pero no en niños ni en mujeres embarazadas. Los adultos expuestos a la REM-FEB tienen, respecto a los niños, diferentes intensidades y distribuciones internas de campos eléctricos y de densidad de corriente que los niños, debido a los tamaños y formas de los órganos y tejidos corporales. Durante el embarazo, la magnitud y distribución de los campos eléctricos inducidos y las corrientes de la madre son diferentes por los cambios fisiológicos y anatómicos, y no han sido estudiados en el feto. Todos estos factores, junto con las diferencias en las propiedades bioeléctricas, así como la vulnerabilidad y desarrollo madurativo funcional y anatómico de los periodos fetales e infantiles, deben ser conocidos para que las normas de protección sean efectivas, reales y convincentes^(7,8,60).

La adopción de decisiones políticas y jurídicas para defender la salud ante las exposiciones ambientales a bajas dosis en general, y a la protección de la población infantil de

las REM-FEB en particular, no son fáciles. Comportan una gran complejidad y dificultad y, al mismo tiempo, una enorme responsabilidad y valentía. La inmensa mayoría de los poderes públicos adoptan la legalidad vigente, basada normalmente en las recomendaciones de los organismos científicos consultivos, emanadas de evidencias científicas muy contrastadas para la población adulta, pero no en la infantil^(58,60).

Los científicos están instruidos, formados y capacitados para analizar y estudiar la consistencia y el grado de evidencia entre una exposición ambiental y un efecto adverso en la salud, pero están incómodos y fuera de lugar en las decisiones de las opciones a seguir. La valoración de la evidencia científica es insuficiente, siendo necesario combinarla con criterios emanados de otros conceptos sociales, como la relación coste-beneficio, la aceptación o no del riesgo, así como las preferencias y costumbres culturales. En cada nivel existe una gran diversidad de opiniones y de intereses que generan coacciones y conflictos^(46,61).

Tradicionalmente, la evaluación del riesgo era considerada el puente entre la ciencia y la adopción de políticas concretas a seguir. Está formada por una metodología consolidada, donde se combina la fuerza de asociación causal entre exposición-enfermedad con la información de la frecuencia e intensidad de la exposición, para determinar el riesgo individual en una población diana. Pero cuando: a) los resultados en la salud son difíciles de evaluar y cuantificar; b) las actuaciones afectan, no sólo a niveles directos de exposición, sino que se deben controlar actividades complejas que generan múltiples exposiciones, además del riesgo concreto; c) la evaluación del riesgo es sólo un efecto adverso en la salud, mientras que los factores protectores o beneficiosos son muy amplios, parcialmente desconocidos y de difícil estudio; y d) cuando los periodos de latencia, entre el riesgo y los efectos adversos, son a largo plazo (años y décadas más tarde), los beneficios para la salud, generados por la reducción y/o eliminación del riesgo, están muy diluidos.

Las decisiones basadas en la evaluación del riesgo son parciales y poco significativas. Por tanto, hay que ir más allá de la típica política habitual basada en la evaluación del riesgo, sobre todo si tenemos en cuenta a subgrupos poblacionales especialmente vulnerables que padecen una cuota desproporcionada en la carga de enfermedad asociada a una exposición ambiental concreta^(62,63).

Con la intención de ir más allá de la típica evaluación del riesgo, cabe destacar la política comunitaria de la UE, en la cual, el artículo 152 del Tratado de Amsterdam recomienda políticas, en todos los sectores, orientadas a conseguir el mayor nivel de protección de la salud humana y a estar integradas en los niveles y esferas más superiores. En el caso concreto de las REM-FEB y la LA infantil, insta a ultrapasar los aspectos contenidos en los determinantes am-

bientales en la salud (radiaciones, aire, etc.), y alcanzar sectores más globales de las actividades humanas y sociales como la energía, las comunicaciones, el transporte, la industria, etc.^(57,61).

Esta forma de entender los problemas sanitarios refleja la necesidad de considerar la enorme complejidad subyacente. Se trata de hacer el mejor uso posible de la evidencia científica disponible mientras se integra y se reconoce el importante papel de los valores sociales y culturales de las percepciones y preferencias de la gente. Permite que estas consideraciones tengan un peso evidente en la toma de decisiones, en lugar de despreciarlas por considerarlas de importancia secundaria, o desestimarlas como no científicas^(64,65).

También conviene destacar que con estas premisas, la Región Europea de la OMS está construyendo un proceso de consenso en las últimas dos décadas. Cada cinco años organiza una Conferencia Ministerial de Medio Ambiente y Sanidad, con la participación de los ministros y delegaciones de Sanidad y Medio Ambiente de los 52 países miembros. La última conferencia realizada en Budapest, en junio del 2004, se denominó "El futuro de nuestros niños". Uno de los resultados más importantes fue la aprobación y constitución de un Plan de Acción para Europa de Salud Medioambiental Pediátrica [(*Children Environment and Health Action Plan for Europe* (CEHAPE))]. En uno de sus puntos específicos insta a reducir la exposición a los campos electromagnéticos. La Declaración Ministerial Final reconoce la necesidad de combinar las acciones preventivas con medidas precautorias en áreas donde la evidencia actual es escasa y las inseguridades enormes, y donde las consecuencias de las exposiciones, hoy imprevisibles, pueden ser graves, e incluso, irreversibles^(57,64,65).

CONCLUSIONES

La REM-FEB, generada por las instalaciones que producen, transportan, transforman, almacenan y consumen la energía eléctrica, es omnipresente en el mundo industrializado.

La gran mayoría de las residencias de los países industrializados están expuestas a campos magnéticos medios menores o cercanos a 0,1 µT.

La exposición media residencial a densidades de campo magnético superiores o iguales 0,3-0,4 µT están asociadas a un incremento del riesgo de desarrollar LA infantil.

A pesar de las limitaciones de los estudios epidemiológicos, el aumento del riesgo oscila entre el 70%-100% respecto al esperado con exposiciones menores de 0,1 µT.

El desconocimiento de los mecanismos biológicos exactos y la falta de reproducibilidad en animales de experimentación constituyen las principales barreras para que la asociación entre la exposición crónica a densidades superiores o iguales a 0,3-0,4 µT y el incremento de LA infantil se acepte como causal.

La IARC cataloga las REM-FEB como posible cancerígeno humano, limitado a las LA infantiles.

La ONU, la OMS y la UE, recomiendan la incorporación de todos los procesos tecnológico-industriales dentro del marco preventivo del Principio de Precaución o Cautela.

BIBLIOGRAFÍA

1. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). General approach to protection against non-ionizing radiation. *Health Phys.* 2002; 82: 540-548.
2. International Agency for Research on Cancer. Non-Ionizing Radiation. Part I: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. Lyon: IARC, Vol 80, 2002.
3. Wigle DT. *Child Health and Environment*. Oxford: Oxford University Press; 2003.
4. Satterthwalte D, Hart R, Levy C, Mitlin D, Ross D, Smith J, Stephens C. *The Environment for Children*. UNICEF. London: Earthscan Publ.; 1996.
5. Bellamy C. *Child Health*. In: Detels R, Holland WW, Mc Ewen J, Omenn GS, eds. *Oxford Textbook of Public Health*. 4th edition. Oxford: Oxford University Press; 2004. p. 1603-1622.
6. Lippman M, Cohen BS, Schlesinger RB. *Environmental Health Science. Recognition, Evaluation and Control of Chemicals and Physical Health Hazards*. Oxford: Oxford University Press; 2003.
7. Etzel RA, Balk SJ. *Pediatric Environmental Health*. 2nd edition. American Academy of Pediatrics. Elk Grow Village: AAP; 2003.
8. Kheifets L, Repacholi M, Saunders R, van Deventer E. The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics*. 2005; 116: 303-313.
9. Yassi A, Kjellström T, de Kok T, Guidotti T, eds. *Basic Environmental Health*. Oxford: Oxford University Press; 2001.
10. World Health Organization. *Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies*. Geneve: Document WHO/SDE/OEH/99.10; 1999.
11. United Nations Report. *Children in the New Millenium: Environmental Impact on Health*. Geneve: UN Publications; 2002.
12. UNICEF and United Nations Report. *The 2006 State of the World's Children. Excluded and Invisible*. New York: UNICEF-UN Publications; 2006.
13. Ferrís i Tortajada J, Ortega García JA, Aliaga Vera J, Ortí Martín A, García i Castell J. Introducción: El niño y el medio ambiente. *An Esp Pediatr*. 2002; 56(Supl 6): 353-359.
14. Carpenter D, Ayrapetyan S, eds. *Biological effects of electric and magnetic fields*. New York: Academic Press; 1994.
15. Ferrís i Tortajada J, García i Castell J, López Andreu JA. Radiaciones electromagnéticas y cáncer. Conceptos básicos. *Rev Esp Pediatr*. 1998; 54: 37-46.
16. Feychting M, Alhbom A, Kheifets L. EMF and Health. *Annu Rev Public Health*. 2005; 26: 165-189.
17. Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configuration and childhood cancer. *Am J Epidemiol*. 1979; 109: 273-284.
18. National Institute of Environmental Health Sciences Working Group. Publ N° 98-3981. U.S. National Institutes of Health. Research Triangle Park: INH; 1998.
19. National Radiologic Protection Board. *ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer: Report of an Advisory Group on Non-Ionizing Radiation*. London, (U.K.): NRPB; 2001.
20. ICNIRP. Review of the epidemiologic literature on EMF and health. *Environ Health Perspect*. 2001; 109(Suppl 9): 911-933.
21. The ELF Working Group. Canada. Health effects and exposure guidelines related to extremely low frequency electric and magnetic fields – An overview. Canada, 2005.
22. Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology*. 2000; 11: 624-634.
23. Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. *British J Cancer*. 2000; 83: 692-698.
24. Angelillo IF, Villari P. Residential exposure to electromagnetic fields and childhood leukaemia: a meta-analysis. *Bull World Health Organization*. 1999; 77: 906-915.
25. Tuitou Y. Evaluation des effets des champs électromagnétiques sur la santé chez l'homme. *Ann Pharm Fr*. 2004; 62: 219-232.
26. Habash RWY, Brodsky LM, Leiss W, Krewski D, Repacholi M. Health risks of electromagnetic fields. Part I: Evaluation and assessment of electric and magnetic fields. *Crit Rev Biomed Engin*. 2003; 31: 141-195.
27. Kheifets L, Shimkhada R. Childhood leukemia and EMF: Review of the epidemiologic evidence. *Bioelectromagnetics*. 2005 (Suppl 7): 51-59.
28. Rothman KJ. Causation and causal inference. In: *Oxford Textbook of Public Health*. 4th edition. Oxford: Oxford University Press; 2004. p. 641-653.
29. Preece AW, Hand JW, Clarke RN, Stewart A. Power frequency electromagnetic fields and health. Where's the evidence?. *Phys Med Biol*. 2000; 45:139-54
30. Draper G, Vincent T, Kroll ME, Swanson J. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *British Med J*. 2005; 330: 1290-1293.
31. Foliart DE, Pollock BH, Mezei G, Iriye R, Silva JM, Ebi KL, Kheifets L, et al. Magnetic field exposure and long-term survival among children with leukemia. *British J Cancer*. 2006; 94:161-164.
32. Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, et al. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: A case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. *Int J Cancer*. 2006; 119(3): 643-50.
33. Infante-Rivard C, Deadman JE. Maternal occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields during pregnancy and childhood leukemia. *Epidemiology*. 2003; 14: 437-441.
34. Mc Kinney PA. Central nervous system tumors in children: Epidemiology and risk factors. *Bioelectromagnetics*. 2005; (Suppl 7): 60-68.
35. Kheifets LI. Childhood brain tumors and residential electromagnetic fields (EMF). *Rev Environ Contam Toxicol*. 1999; 159: 111-29.

36. Schüz J. Implications from epidemiologic studies on magnetic fields and the risk of childhood leukemia on protection guidelines. *Health Phys.* 2007; 92(6): 642-8.
37. Roy CR, Martin LJ. A comparison of important international and national standards for limiting exposure to EMF including the scientific rationale. *Health Phys.* 2007; 92(6): 635-41.
38. Leitgeb N, Schröttner J, Cech R. Perception of ELF electromagnetic fields: excitation thresholds and inter-individual variability. *Health Phys.* 2007; 92(6): 591-5.
39. Brain JD, Kavel R, McCormick DL, Poole C, Silverman LB, Smith TJ. Childhood leukemia: electric and magnetic fields as possible risk factor. *Environ Health Perspec.* 2005; 111: 962-970.
40. Kavet R. Contact current hypothesis: summary of results to date. *Bioelectromagnetics.* 2005; (Suppl 7): 75-85.
41. Deadman SE, et al. Individual estimation of exposure to extremely low frequency magnetic fields in jobs commonly held for women. *Am J Epidemiol.* 2002; 155: 368-378.
42. Henshaw DL, Reiter RJ. Do magnetic fields cause increased risk of childhood leukemia via melatonin disruption? *Bioelectromagnetics.* 2005; (Suppl 7): 86-97.
43. Schüz J, Grigat JP, Brinkmann K, Michaelis J. Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukemia: results from a German population-based case-control study. *Int J Cancer.* 2001; 91:728-735.
44. Santini MT, Ferrante A, Rainaldi G, Indovina P, Indovina PL. Extremely low frequency (ELF) magnetic fields and apoptosis: a review. *Int J Radiat Biol.* 2005; 81: 1-11.
45. Trosko JE. Human health consequences of environmentally-modulated gene expression: potential roles of ELF-EMF induced epigenetic versus mutagenic mechanisms of disease. *Bioelectromagnetics.* 2000; 21: 402-406.
46. U.S. Environmental Protection Agency. Supplemental Guidance for Assessing Cancer Susceptibility from Early-Life Exposure to carcinogens. EPA/630/R-03/003. Washington, DC, 2003.
47. Preston RJ. Children as a sensitive subpopulation for the risk assessment process. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2004; 199: 132-141.
48. Ferris i Tortajada J, y cols. La etiología del cáncer infanto-juvenil. En: Sierrasesúmada L, y cols, eds. 2ª edición. Madrid: Pearson Educación; 2006. p. 17-45.
49. Buffler PA, Kwan ML, Reynolds P, Urayama KY. Environmental and genetics risks factors for childhood leukemia: appraising the evidence. *Cancer Investigation.* 2005; 1: 60-75.
50. Feychting M. Non-cancer EMF effects related to children. *Bioelectromagnetics.* 2005(Suppl 7): 69-74.
51. Schnort TM, Grajewski BA, Hornung RW, Thun MJ, Egeland GM, Murray WE, Conover DL, Halperin WE. Video display terminals and the risk of spontaneous abortion. *N Engl J Med.* 1991; 324: 727-733.
52. Lindbohm ML, Hietanen M, Kyyrönen P, Sallmén M, von Nandelstadh P, Taskinen H, et al. Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion. *Am J Epidemiol.* 1992; 136: 1041-1051.
53. Lee GM, Neutra RR, Hristova L, Yost M, Hiatt RA. A nested case-control study of residential and personal magnetic fields measures and miscarriages. *Epidemiology.* 2002; 13: 21-31.
54. Li DK, Odouli R, Wi S, Janevic T, Golditch I, Bracken TD, et al.. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. *Epidemiology.* 2002; 13: 9-20.
55. Rubin GJ, Das Munshi J, Wessely S. Electromagnetic hypersensitivity: A systematic review of provocation studies. *Psychosomatic Med.* 2005; 67: 224-232.
56. Ferris i Tortajada J, Ortega García JA, Marco Macián A, García Castell J. Medio ambiente y cáncer pediátrico. *An Pediatr (Barc).* 2004; 61: 42-50.
57. World Health Organization Europe. The European Health Report 2005: Public Health Action for Healthier Children and Populations. Copenhagen, Denmark: WHO-Europe; 2005.
58. Tamborlini G, von Ehrenstein, OS, Bertollini R, eds. Children's Health and Environment: A Review of Evidence. World Health Organization Europe and European Environment Agency. Copenhagen, Denmark: WHO-Europe. 2002.
59. Vecchia P. Exposure of humans to electromagnetic fields. Standards and regulations. *Ann Ist Super Sanità* 2007; 43(3): 260-267.
60. Vecchia P. The approach of ICNIRP to protection of children. *Bioelectromagnetics.* 2005; (Suppl 7): 157-160.
61. Martuzzi M. Science, policy, and the protection of human health: A European perspective. *Bioelectromagnetics.* 2005; (Suppl 7): 151-156
62. Genuis SJ. Fielding a current idea: exploring the public health impact of electromagnetic radiation. *Public Health.* 2008; 122(2): 113-24.
63. Otto M, von Muhlendahl KE. Electromagnetic fields (EMF): Do they play a role in children's environmental health (CEH)? *Int J Hyg Environ Health.* 2007; 210: 635-644.
64. Tickner JA, Hoppin P. Children's environmental health: A case study in implementing the precautionary principle. *Int J Occup Environ Health.* 2000; 6: 281-288.
65. Martuzzi M, Tickner JA, eds. The Precautionary principle: Protection Public Health, the Environment and the Future of Our Children's. Copenhagen, Denmark: WHO-Europe; 2004.