

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja y su impacto sobre la salud de los seres humanos

Extremely low frequency electromagnetic fields and their impact on human health

Dra. Moura Revueltas Agüero, MSc. Dra. Ibis Avila Roque, Lic. Raúl Baqués Merino, Téc. Ramona Consuelo Beltrán Reguera

Departamento de Riesgo Físico. Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores (INSAT). La Habana, Cuba.

RESUMEN

Introducción: la intensidad registrada del campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja proveniente del uso de la energía eléctrica en los ambientes laborales y comunales, supera varias veces los valores del fondo natural y se espera que se incrementen en los próximos años. El acercamiento a los CEM y el conocimiento de lo controvertido del tema, motivó la realización de este trabajo.

Objetivo: mostrar la influencia de los mismos en el cuerpo humano y sus posibles implicaciones a la salud.

Métodos: se realizó una revisión temática sobre este tema en revistas especializadas en salud ambiental, publicadas de 1988-1997, entre las que se encuentran: Occupational and Medicine, Scandinavian Journal of Work, Environmental and Health. Se exploraron bases de datos internacionales, otras fuentes y recursos de información.

Resultados: del total de publicaciones referenciadas, solo en 4 no se relaciona la exposición a campo electromagnético con la aparición de afecciones a la salud humana; pero la gran mayoría (55 documentos) si las consideran de una u otra forma; 6 hacen referencias a que los campo electromagnético producen de alguna manera cambios a nivel biológico y fisiológico en humanos, y 49, los asocian a la ocurrencia de enfermedades.

Conclusiones: es indudable que el desarrollo tecno productivo no ha sido inocente con la salud de los seres humanos. Es una necesidad actual el determinar, cuantificar y evaluar el riesgo en aras de precisar su relación con la salud humana,

lo que permitirá tomar medidas en función de la protección y seguridad en el futuro.

Palabras clave: campos electromagnéticos, salud ambiental, exposición ocupacional.

ABSTRACT

Introduction: recorded intensity of the extremely low frequency electromagnetic field (EMF) from the use of electricity at work and in community settings, exceeds several times the natural background values and is expected to increase in the coming years. The approach to the EMF and knowledge of the controversial issue prompted us to prepare this paper.

Objective: to show the influence of the electromagnetic fields on the human body and its possible implications for health.

Methods: occupational and Medicine, Scandinavian Journal of Work, Environmental and Health were among the specialized journals on environmental health published from 1988-1997 and used to make a literature review on this topic. International databases, sources and other information resources were explored.

Results: of the total number of publications, only 4 did not relate exposure to electromagnetic field with onset of human health problems; but the vast majority (55 documents) did so in one way or another. Six made reference to the electromagnetic field causing somehow biological and physiological changes in humans whereas 49 associated it with the occurrence of diseases.

Conclusions: there is no doubt that the productive and technical development has not been unrelated to human health. Therefore, it is required to determine, quantify and assess the risk in order to clarify its relation to human health, which will allow taking actions towards protection and safety in the future.

Keywords: electromagnetic fields, environmental health, occupational exposure.

INTRODUCCIÓN

Durante milenios, el hombre estuvo expuesto a los campos eléctricos y magnéticos naturales existentes en la Tierra. Con la aparición de la electricidad a mediados del siglo XIX, como fuente de energía transformadora dentro de la sociedad, se creó una dependencia cada vez mayor de los hombres, en las actividades cotidianas, a esta fuente. Particularmente en los últimos 50 años con la aparición de generadores cada vez más potentes se ha incrementado a nivel mundial, no sólo el empleo de equipamiento eléctrico, sino la exposición de los seres humanos a los campos que se generan en el ambiente, como consecuencia de la generación, transformación, distribución, transmisión y consumo de energía eléctrica.

La intensidad que hoy se registra en los ambientes laborales y comunales del campo electromagnético (CEM) proveniente del uso de la energía eléctrica, supera varias veces los valores del fondo natural y por el comportamiento visto en las

últimas décadas, se debe esperar que estos valores se sigan incrementando en los próximos años.

Los campos eléctricos (CE) tienen su origen en las cargas que existen en la naturaleza. Los campos magnéticos (CM) en las corrientes eléctricas, o sea, en el movimiento de cargas eléctricas que pueden aparecer cuando se pone en marcha un aparato eléctrico y fluye la corriente; cuanto mayor sea la intensidad de esta, mayor será la del campo magnético.¹

En el cuerpo humano existe actividad eléctrica en el sistema nervioso central, el corazón y en los nervios periféricos. Los campos eléctricos endógenos juegan un rol importante en los complejos mecanismos de control fisiológico tales como la actividad neuromuscular, secreciones glandulares y la funcionabilidad de la membrana celular, así como en el crecimiento, desarrollo y reparación de los tejidos.^{2,3}

El hombre moderno en la industria, los hogares y en todas las áreas de su vida cotidiana, está expuesto de forma creciente a la influencia de CEM, que pueden inducir campos y corrientes eléctricas en su cuerpo.⁴⁻⁷ Si el campo es intenso, las corrientes eléctricas podrían estimular nervios y músculos o afectar a otros procesos biológicos¹ como la velocidad de las reacciones y una gran cantidad de procesos bioquímicos, modificando las actividades celulares.⁸

Adentrarse en el tema requiere conocer y familiarizarse con términos técnicos como: espectro electromagnético, onda electromagnética, radiaciones y sus parámetros.

El espectro electromagnético se divide en dos regiones, la de las radiaciones ionizantes y la de las no ionizantes, la división entre ambas suele establecerse a una longitud de onda de 100 nanómetros aproximadamente. Las primeras son más potentes y de frecuencias más altas, tienen mayor energía y son capaces de ionizar, o sea, poseen energía suficiente para romper enlaces químicos moleculares. Las segundas son todas las radiaciones y los campos del espectro electromagnético de frecuencias más bajas, que no tienen suficiente energía para ionizar la materia, o sea, son insuficientes para romper enlaces químicos moleculares, en esta región se encuentran la radiación ultravioleta, la luz visible, la radiación infrarroja, las radiofrecuencias que incluyen: a las microondas, la radio celular, la televisión, la radio FM-AM y a las ondas cortas utilizadas en calentadores dieléctricos y de inducción; en el extremo inferior del espectro se localizan los CEM de baja frecuencia de la red eléctrica.⁴

Una onda electromagnética tiene una componente eléctrica y otra magnética. Radiación significa simplemente energía transmitida por ondas electromagnéticas, que son ondas de fuerzas eléctricas y magnéticas.⁴

Las radiaciones se caracterizan por parámetros que incluyen:

- Frecuencia (f): se define como el número de cambios completos por segundo del campo eléctrico o magnético en un punto dado y se expresa en Hertz (Hz), kilohertz (KHz), megahertz (MHz), gigahertz (GHz), terahertz (THz).
- Longitud de onda (λ): es la distancia entre dos crestas o dos valles consecutivos de la onda (máximos o mínimos). Se expresa en nanómetro (nm), milímetro (mm), centímetro (cm), metro (m), kilómetro (km).

- Intensidad del campo eléctrico (E): corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en volt o kilovolt por metro (V/m o kV/m).^{2,4}
- Intensidad de campo magnético (H): es correspondiente con la fuerza que recibe una carga que se mueve en un entorno próximo a una corriente eléctrica o un campo magnético estático en el vacío. Se puede expresar en amperes por metro (A/m).
- Densidad del flujo magnético o inducción magnética (B): es la intensidad de campo magnético que se genera sobre las cargas que se mueven en un medio no vacío. Se expresa en teslas (T), militeslas (mT), microteslas (μ T) o gauss (G) y miligauss (mG); donde 1 G= 100 μ T y 1 mG= 0,1 μ T.
- Vector de Poynting (S): es equivalente a la transferencia de energía, representa la magnitud y la dirección de la densidad del flujo electromagnético. Se calcula, $S = E \times H$ y se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m²).^{2,4}
- La velocidad (v) de una onda electromagnética: es la velocidad de la luz, su frecuencia (f) y longitud de onda (λ) están relacionadas en la siguiente ecuación: $v = f \cdot \lambda$

Siendo la velocidad de la luz constante, la frecuencia y la longitud de onda son inversamente proporcionales, por lo que a mayor frecuencia, menor longitud de onda y viceversa.^{2,9}

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM FEB) están en el rango de 0-300 Hz. La frecuencia de las líneas de la red de suministro eléctrico es de 50 o 60 Hz; lo que las hace las principales fuentes de CEM FEB unido a todos los equipos eléctricos utilizados en la vida diaria como las pantallas de computadoras, los dispositivos antirrobo, los sistemas de seguridad, entre otros.^{1,4}

El acercamiento a los CEM y el conocimiento de lo controvertido del tema, motivó la realización de este trabajo, en el que se realizó una revisión bibliográfica temática con el objetivo de mostrar la influencia de los mismos en el cuerpo humano y sus posibles implicaciones a la salud.

MÉTODOS

Se realizó una revisión temática de la literatura sobre el contenido para lo cual se trabajó, en principio, con una colección de reprints de revistas especializadas en Salud Ambiental, comprendidos en el período de 1988-1997 en el archivo documental del departamento de riesgos físicos del Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores (INSAT). Se revisó además la colección de revistas Occupational and Environmental Medicine, Scandinavian Journal of Work, Environment and Health existentes en la biblioteca del INSAT. Por otra parte, se exploraron las bases de datos Scielo, Hinari, Ebsco, Pubmed, LiLACS, CUMED así como, otras fuentes y recursos de Información de documentos publicados de los últimos 5 años.

En la elaboración de la estrategia de búsqueda, se utilizó el vocabulario controlado MeSH (Medical Subjects Heading) y DeCS (Descriptor en Ciencias de la Salud), en dependencia de la base de datos a utilizar, estos términos se combinaron con operadores Booleanos, lo que nos permitió establecer una manera uniforme de

recuperar la información. Las palabras claves utilizadas fueron: campos electromagnéticos, salud ambiental, exposición ocupacional.

RESULTADOS

Se referenciaron 59 publicaciones, de ellas 6 son revisiones bibliográficas, lo que representó el 10,2 %, y 18 son estudios epidemiológicos para el 30,5 %. Reprints de artículos científicos publicados en revistas especializadas en Salud Ambiental entre 1988-1997 fueron 12 para el 20,3 %.

Los artículos de revistas científicas publicados entre los años 2000-2011 fueron 16, lo que se correspondió con el 27,1 % y 1 publicada en el año 1979 para el 1,7 %. Los libros revisados fueron 5 para el 8,4 % y sólo 1 folleto que representó el 1,7 %. En las bases de datos revisadas en internet se accedió a 24 documentos para el 40,7 %, de ellos 13 son artículos de revistas y 11 corresponden a otras publicaciones que representan el 22 y el 18,6 % respectivamente del total.

Del total de publicaciones referenciadas, sólo en 4 (6,8 %) no relacionan la exposición a CEM con la aparición de afecciones a la salud humana; pero la gran mayoría, 55 documentos (93,2 %), de una u otra forma si las consideran. Hacen referencias 6 (10,1 %) a que los CEM producen de alguna manera cambios a nivel biológico y fisiológico en humanos y 49 (83 %), los asocian a la ocurrencia de enfermedades. Seguidamente se transitará en la influencia de los CEM en el cuerpo humano, sus efectos biológicos y fisiológicos, así como sus posibles implicaciones a la salud.

IMPLICACIONES BIOLÓGICAS Y FUNCIONALES DE LOS CEM

La exposición a CEM muy intensos puede ser perjudicial para la salud.¹ Así hay autores que plantean que cuando la exposición a un CEM produce alteraciones en algún sistema biológico, como cambios en la concentración o el transporte de alguna sustancia que el cuerpo humano no sea capaz de compensar, pueden aparecer afecciones a la salud.¹⁰ Otros consideran que las alteraciones biológicas inducidas por dichos campos, fuerzan a los sistemas biológicos más allá del rango fisiológico normal, hasta un nivel en el cual no puede ser restaurado el de pre-exposición, ocurriendo una respuesta biológica anormal que puede resultar en cambios permanentes.¹¹

Hoy día existe la dicotomía en cuanto a la relación de la exposición a CEM y las alteraciones a la salud humana, el tema centra la atención de los investigadores, tomadores de decisiones y público en general. Sus implicaciones fundamentales se relacionan con perturbaciones a nivel de: membrana celular, cambios en el ácido desoxirribonucleico (ADN), equilibrio de los iones de calcio, secreción de la Hormona Melatonina y modificación del sistema inmunológico.

MEMBRANA CELULAR

Entre las posibles áreas de interacción biológica de los CEM FEB, que presentan numerosas implicaciones para la salud están los cambios que originan en la membrana celular, la que juega un importante rol en la detección, transformación y

transmisión de señales de la superficie celular al interior. Las moléculas de péptido, que están en ella son claves para las señales de acoples intracelulares.

Los CEM actúan sobre las membranas distorsionando las señales del exterior, que se dirigen a los organelos del interior de la célula, incluido el núcleo,¹² además, pueden modificar el equilibrio electroquímico de ellas, afectando la síntesis de proteína, lo que puede provocar alteraciones en el sistema inmunológico, distorsión de las funciones bioeléctricas del organismo y cambios en la transmisión genética;¹³ lo que sugiere su posible relación con el desarrollo del cáncer.¹²

ÁCIDO DESOXIRRIBONUCLEICO

Los CEM producen alteraciones en la transcripción y traducción en el ADN,¹⁴ las síntesis de ácido ribonucleico (ARN) y proteínas, por otra parte, influyen en la producción de hormonas, la respuesta inmune y el grado de crecimiento y diferenciación celular.⁸

Algunos investigadores tienen la hipótesis, no confirmada, de que la radiación electromagnética puede afectar la capacidad y eficacia del proceso de reparación del ADN, bajo el criterio del incremento de células modificadas.²

Se considera que el efecto genotóxico, obedece a una combinación de los CEM FEB con otros agentes y con los efectos nocivos de los radicales libres.¹⁵ Se sugiere que la exposición a campos magnéticos incrementa la producción, la prolongación de la vida media y la toxicidad de los radicales libres que dañan el ADN.¹⁶

EQUILIBRIO DE LOS IONES DE CALCIO

Los iones de calcio son esenciales en los primeros pasos del acoplamiento transductivo de las señales físicas exógenas a la membrana celular, y por otra parte los pasos subsiguientes de la señalización de los sistemas enzimáticos intracelulares son a su vez, calcio dependiente. Se sugiere que la modulación temprana de esta señalización por los CEM, sea responsable de la activación de una serie de reacciones bioquímicas como la transmisión de señales de las proteínas de la membrana hacia al interior, celular y el acople de los CEM con el citoesqueleto y otros constituyentes intracelulares.¹⁷

Se considera que los CEM producen desequilibrio en los iones de calcio de las células, los que originan alteraciones biológicas que pueden tener implicaciones a nivel enzimático y facilitan la activación de los procesos de oncogénesis y el incremento del estrés oxidativo. En particular se afecta la proteína C quinasa que es importante para la activación y proliferación linfocitaria.¹⁴

Existe evidencia de que, como respuesta a CEM muy débiles se produce alteración de la movilidad de los iones de calcio en el tejido cerebral, cambios en los patrones de activación neuronal y alteraciones del comportamiento.^{4,8}

HORMONA MELATONINA

La melatonina, hormona producida en la glándula pineal, es un eliminador muy potente de radicales libres y por tanto, inhibe considerablemente el daño que ellos pueden causar al ADN, se cree que actúa como un poderoso antioxidante, con

propiedades anticancerígenas y antifatiga.^{13,16,18} Su producción es normalmente controlada por la luz, alta en la noche y baja en el día.¹⁹

Se considera que los CEM artificiales producen el mismo efecto sobre la glándula pineal que la luz, por lo que inhiben la secreción nocturna de melatonina, la disminución de sus niveles^{14,16,20} explica los cambios en la capacidad del sistema inmunológico e introduce alteraciones en la función de los órganos endocrinos que ella modula. Lo anterior pudiera ser una de las claves para comprender el aumento del riesgo de contraer cáncer en las personas expuestas a estos campos.^{4,21} Su disminución incrementa el riesgo de los cánceres hormono-dependientes y de cerebro.¹⁴

SISTEMA INMUNOLÓGICO

Los CEM FEB pueden causar cambios en las funciones inmunes normales.²² El *Dr. Roger Santini* plantea que ante la exposición a CME se observa una perturbación del sistema inmunológico con pérdida del 25 % de capacidad de destrucción de las células cancerígenas, así como efectos promotores y copromotores de carcinogénesis.²³

EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE LA RELACIÓN CEM-SALUD

Un estudio realizado en linfocitos de sangre periférica de trabajadores expuestos a CEM FEB, encontró un incremento significativo en el porcentaje de células aberrantes, respecto al grupo control no expuesto.²⁴

Los experimentos de laboratorio llevados a cabo por el Proyecto Reflex de la Comunidad Europea en el año 2005, han apuntado hacia la potencial capacidad de los CEM FEB de alterar los genes, provocando enfermedades como cáncer y alteraciones neurológicas.

Después de la exposición de cultivos celulares de fibroblastos a CEM de 50 Hz de frecuencia, se encontraron cambios celulares indicadores de genotoxicidad como: aberraciones en los cromosomas con presencia de ADN dañado, micronúcleos y fragmentos de cromosomas fuera de los núcleos durante la división celular.

Observaron una proporción directa entre la intensidad y duración de la exposición con el número de ADN dañado con micronúcleos. Evidenciaron por el análisis del genoma en su microestructura, que en estos cultivos celulares sometidos a CEM FEB puede afectarse la expresión de genes y proteínas involucradas en la división, proliferación y diferenciación celular.²⁵

Estudios recientes publicados en 2011 financiados por la fundación Mapfre basados en que la exposición a CEM generados por los aparatos informáticos y por equipos eléctricos en mesas de despachos y oficinas ha sido propuesta como cofactor potencial en la etiología de la lipoatrofia semicircular. En muestras de tejido adiposo humano expuestas a CM, se presentaron descensos significativos en las síntesis de ácidos grasos, así como alteraciones en los mecanismos celulares implicados en la diferenciación adipocítica, lo que constituye una evidencia experimental de que campos magnéticos débiles, son capaces de afectar la fisiología celular hasta el punto de producir cambios metabólicos en intervalos temporales cortos. En las muestras no expuestas, no se observaron alteraciones.²⁶

Existe consenso en que los CEM en las frecuencias de 50 o 60 Hz pueden modular una serie de procesos biológicos y bioquímicos involucrados en la producción de tumores y otras afecciones.⁷ La exposición prolongada se asocia a algunas afecciones endocrinas, malformaciones congénitas y cáncer,¹⁰ además, existen indicios de su relación con la aparición de la leucemia infantil y el Alzheimer.¹⁵ Por otra parte los CEM son causa de interferencia en los marcapasos y otros dispositivos eléctricos implantados.⁸

RELACIÓN CEM-SALUD DE LOS TRABAJADORES

Anderson hace referencia que en la década del 60 del pasado siglo, en la antigua Unión Soviética, fue reportada por *Asanova* y *Rakov* la aparición de síntomas neurológicos en trabajadores expuestos, dados por: cefalea, fatiga, dificultades con la concentración, incremento de la excitabilidad, trastornos del sueño, entre otros.

Se sugirió que la exposición a CEM, se relacionaba con perturbaciones en la actividad eléctrica del sistema nervioso central.²⁰ Hoy se sabe que los CEM ambientales pueden desencadenar síntomas clínicos. La Hipersensibilidad Electromagnética, caracterizada por síntomas como dolor de cabeza, alteraciones visuales y del ritmo cardíaco y malestar músculo esquelético, mediado por un proceso neural subconsciente, puede ser un nuevo síndrome neurológico inducido por la exposición ambiental a CEM.²⁷

Existen otros reportes de síntomas en trabajadores expuestos como alteraciones cardiovasculares, de la función digestiva, hematológicos y neurasténicos.²⁸ Así como, algunas pruebas de carcinogénesis relacionadas con exposición a radiación de muy baja frecuencia (menos de 200 Hz). Hay informes respecto a un aumento de frecuencia de tumores cerebrales, cáncer de mama en hombres y leucemia en trabajadores expuestos a radiaciones electromagnéticas de muy bajas frecuencias. De modo similar, se ha cuestionado la teratogenicidad sobre la base de hallazgos de roturas cromosómicas en trabajadores de estaciones de generación eléctrica, el aumento en la frecuencia de neuroblastomas que se han encontrado en hijos de padres expuestos a radiaciones electromagnéticas y elevación de la frecuencia de anomalías que se han observado en hijos de fisioterapeutas varones.²⁹

También se ha visto un incremento en la frecuencia de malformaciones congénitas en niños cuyos padres trabajaban en fuentes generadoras de alta tensión lo que puede indicar efectos a nivel genético.^{8,28} Un estudio realizado por *Blaasaas* y colaboradores indicó, asociación entre hijos que nacieron con afecciones selectivas del sistema nervioso central y la exposición ocupacional de los padres a CM de 50 Hz.³⁰

Mención especial merece la industria eléctrica, donde existe exposición profesional a CEM en el proceso de generación, producción, distribución y reparación, en todos, se reporta la incidencia de leucemia y tumores cerebrales, se sospecha como causales los campos magnéticos de muy baja frecuencia, pero la valoración del riesgo cancerígeno no es concluyente.³¹

No obstante, existen estudios que encuentran incremento del riesgo de cáncer cerebral, asociado al incremento de exposición ocupacional a CEM³² y otros encontraron asociación entre esta exposición y la leucemia, el cáncer cerebral y la esclerosis lateral amiotrófica^{2,18,28} y el riesgo de aparición de la enfermedad de Alzheimer.²

Por su parte *Kheifets* y colaboradores en análisis realizado concluyeron que la exposición ocupacional no indica asociaciones fuertes con estas enfermedades.³³ En

trabajadores expuestos largamente a CEM, se vio aumento del riesgo de esclerosis lateral amiotrófica y este se incrementó con el del nivel de exposición.³⁴

Los CEM FEB se consideran un contaminante ambiental físico omnipresente, bajo las líneas de transmisión del tendido eléctrico aéreo, los campos eléctricos y magnéticos pueden llegar al alcanzar los 12 Kv/m y los 30 μ T respectivamente; en las inmediaciones de las estaciones y subestaciones generadoras estos valores pueden ser de 16 Kv/m y 270 μ T; en las estaciones y subestaciones generadoras pueden ser superiores a los 25 Kv/m y a los 2 μ T.

Los técnicos que mantienen las líneas de transmisión y de distribución pueden estar expuestos a campos electromagnéticos muy intensos.⁶ Los trabajadores de la industria eléctrica en general están entre los más expuestos ocupacionalmente. En ellos se han reportado efectos carcinogénicos.²⁸

La intensidad de los CE y CM se reduce aumentando la distancia a las líneas eléctricas. De los CE pueden proteger los materiales de la construcción, pero la mayoría de los materiales no atenúan los CM, siendo costosos los que no son atravesados fácilmente por ellos, y su aislamiento presenta complejos problemas técnicos.^{2,6,28,35,36}

El valor guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para exposición permanente es de 8 mG= 0,8 μ T, el cual fue utilizado en el trabajo de valoración del componente magnético en la ciudad de Cienfuegos por Barceló y colaboradores.³⁷

ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS

Se han realizado numerosos estudios epidemiológicos sobre la exposición a campos electromagnéticos y sus efectos sobre la salud. El primero fue realizado en 1979 por *Nancy Wertheimer* y *Ed Leeper* de la Universidad del Colorado, ellos estudiaron casos de cáncer en niños en Denver y observaron relación entre el riesgo de aparición de cáncer, incluida la leucemia, en ellos y el hecho de vivir cerca de las líneas de alta tensión.³⁸

Posteriormente se han realizado múltiples estudios, los más significativos son:

1. El estudio en Suecia en 1993, de *Feychting* y *Alhborn*, de 142 niños con cáncer que vivían a 300 metros o menos de las líneas de alta tensión suecas, con mediciones de CM, concluyó que el riesgo de leucemia fue mayor para intensidades mayores de CM, no observó asociación en el resto de los tumores.³⁹
2. Otro estudio en Suecia en 1994, por *Feychting* y *Alhborn*, fue publicado caso-control y realizado en adultos residentes hasta 300 metros de las líneas de alta tensión y portadores de leucemia 325 casos y de tumores del sistema nervioso central 223 casos, se calcularon los CM y encontraron asociación entre la exposición a los mismos y la aparición de leucemia mielóide en adultos, no se manifestó esta relación con la aparición de leucemia linfocítica y de los tumores del sistema nervioso central.⁴⁰
3. En el estudio realizado por *Savitz* y *Loomis* en EE. UU. en 1995, de 138 905 fallecidos que fueron trabajadores de empresas eléctricas y con exposición a CM se asoció la mortalidad de cáncer de cerebro con índices mayores de exposición a CM e incremento de la mortalidad con el incremento de la exposición.⁴¹

4. En el año 2000 fue realizado por *Ahlbom* y colaboradores un análisis conjunto sobre la base de 9 estudios de caso-control sobre leucemia infantil y exposición a CEM, se encontró aumento del riesgo de padecer leucemia en los niños con exposiciones iguales o mayores a 0,4 μ T (Riesgo relativo= 2). No se observó aumento del riesgo para los niños con exposiciones menores de 0,4 μ .⁴²
5. Estudio realizado por *Villeneuve* y colaboradores en Canadá en el 2000, de 51 trabajadores eléctricos con linfoma no Hodgkin, se analizó la exposición a campos eléctrico-magnéticos. Concluyó que la exposición a campo eléctrico con intensidades por encima de 10 y 40 volt/metro son importantes predictores de linfoma no Hodgkin, apoyando la hipótesis de que los campos eléctricos pueden jugar un papel promotor en la etiología de este cáncer.⁴³
6. Estudio de cohorte realizado por *Harrington* y colaboradores en el Reino Unido en el 2001, de 83 997 trabajadores de centrales generadoras de electricidad, teniendo en cuenta el tiempo de exposición a campos magnéticos y su magnitud, no se encontró relación entre el riesgo de morir por leucemia y la exposición ocupacional a CEM de los trabajadores eléctricos, en comparación con la mortalidad nacional por esa causa.⁴⁴
7. Otro estudio realizado en el Reino Unido por *Willett* y colaboradores De 2003, en 764 pacientes con leucemia, encontró poca evidencia para apoyar la asociación entre la exposición ocupacional a CEM y la aparición de leucemia aguda.⁴⁵
8. Estudio realizado por *Draper* y otros en Inglaterra y Gales en el 2005; de 29 081 niños con cáncer, incluidos 9 700 con leucemia, se tuvo en cuenta la distancia entre las casa donde vivieron el primer año de vida y las líneas de alta tensión, se encontró asociación entre la leucemia infantil y la proximidad de las líneas de alta tensión, siendo el riesgo relativo de los que vivían a menos de 200 metros de 1, 69 estadísticamente significativo.⁴⁶
9. En el año 2005 se publicó en Cuba un estudio de casos-control realizado por *Barceló* y colaboradores sobre la leucemia infantil en Ciudad Habana, y la relación con la exposición a campos magnéticos de baja frecuencia. Se realizaron mediciones de campos magnéticos en las viviendas de los niños enfermos y de los sanos, encontrándose más alta intensidad de los campos magnéticos en las viviendas de los niños enfermos. Se encontró que el riesgo se incrementa con la intensidad del campo magnético en la vivienda y el componente magnético del campo explicaría alrededor del 16 % de la incidencia de los niños con leucemia.⁴⁷
10. En revisión realizada por *Mcnally* y *Parker*, publicada el año 2006, se hace un análisis de varios estudios realizados, incluyendo un metaanálisis, sobre leucemia infantil y ambiente teniendo en cuenta la exposición ambiental a CEM. Los estudios ecológicos mostraron una asociación entre leucemia infantil y la proximidad residencial de los niños enfermos a las líneas de alta tensión y los estudios caso-control y de cohorte incluyen como factor de riesgo de leucemia infantil los CM mayores de 0,4 μ T.⁴⁶
11. En estudios publicados en 2006 y 2007 en La Habana, Cuba sobre factores de riesgo de leucemia infantil se concluyó que los CEM actúan como factor de riesgo de leucemia. Se asoció la incidencia de leucemia infantil en Ciudad de La Habana con los índices de electrificación y la densidad territorial de las líneas de alta tensión.^{49,50}
12. Un estudio realizado en Australia por *Karipidis* y colaboradores, publicado en 2007, con 694 casos expuestos profesionalmente a CM de 50/60 Hz se encontró una débil asociación positiva entre esta y la aparición de linfoma no Hodgkin, particularmente a niveles altos de exposición.⁵¹

13. El estudio de mortalidad retrospectivo en los miembros de la Asociación Nacional de Jubilados Eléctricos de Cuba en la Ciudad de la Habana, realizado por *Ruqiere Suárez* y colaboradores en 2007, analizó la exposición ocupacional a CEM FEB y la causa de fallecimiento. Concluyó en que las causas más frecuentes de fallecimiento existieron los tumores malignos y dentro de ellos, los que presentaron exposición alta, fueron el mayor número; lo que no se corresponde con el cuadro de mortalidad de la provincia y el país, que muestran como causas más frecuentes de fallecimiento las enfermedades del corazón por amplio margen sobre los tumores malignos.⁵²
14. *Yang* y colaboradores en 2008 publicaron un estudio de casos realizado en Shanghai, China con 123 niños portadores de leucemia aguda, residentes a 500 metros o menos de transformadores eléctricos y líneas de alta tensión. Se realizaron estudios genéticos y los niños presentaron una versión defectuosa de genes para la reparación del ADN dañado. Se mostró una posible asociación entre la proximidad de esas fuentes de CEM y la presencia del defecto genético con padecer leucemia aguda infantil. Además, concluyen que puede considerarse factor de riesgo para el desarrollo de esta enfermedad en niños con este genotipo, el residir cerca a una distancia menor o igual a 100 metros de los transformadores eléctricos y las líneas de alta tensión y con CM mayores de 0,14 μT .⁵³
15. *Kroll* y colaboradores en el 2010, en un estudio realizado en el Reino Unido, en 28 968 niños diagnosticados con cáncer, donde se realizaron mediciones de CEM en las viviendas donde residieron el primer año de vida, consideraron como improbable que la exposición a ellos durante ese período, sea la única causa de la asociación entre la distancia de las líneas eléctricas y la leucemia.⁵⁴
16. Un importante estudio publicado en 2011, realizado en Sao Paulo Brasil, por *Marcilio* y colaboradores, en 1857 casos de leucemia, encontró mayor riesgo de mortalidad, por esa causa en los adultos que vivían cerca de las líneas de transmisión de la corriente eléctrica, en comparación con los que vivían a más de 400 metros y el mayor riesgo fue para los que lo hacían a 50 metros de las mismas. Se encontró pequeño aumento de la mortalidad por leucemia en las personas que vivían en casas expuestas al más alto CM calculado (superior a 0,3 μT).⁵⁵

DISCUSIÓN

Hasta aquí hemos apreciado que en los estudios de laboratorio y de campo de tipo epidemiológicos a nivel internacional y nacional muestran resultados diferentes sobre la acción en la salud humana de los CEM FEB. De los trabajos revisados, mención especial merecen las revisiones bibliográficas. *Heredia Rojas* y colaboradores concluyen que los CM son capaces de modificar actividades celulares y que deben considerarse en la estimación del riesgo potencial que representa una exposición ambiental o laboral a estos agentes físicos.

Por su parte, *Reiter* revisó las publicaciones sobre los cambios neuroendocrinos y neuroquímicos asociados con la exposición a CEM de FEB en la década de los 80 y primeros años de la del 90, señalando que los efectos más sustanciales son sobre la función de la glándula pineal y la secreción de melatonina.

El trabajo de *Kheifets*, aglutinó estudios epidemiológicos a cerca de la exposición ocupacional a CEM y su correlación con diferentes cánceres, la enfermedad cardiovascular, la depresión, el suicidio, enfermedades neurodegenerativas como el

Alzheimer y la esclerosis lateral amiotrófica; en el mismo no fueron evidenciadas asociaciones fuertes o coherentes entre las variables.

Otra revisión de artículos de los últimos 25 años realizada por *Ferris I Tortajada* y colaboradores, sobre los efectos adversos de los CEM FEB en los niños concluyó que la exposición a los mismos incrementa el riesgo de leucemia con densidades iguales o superiores a 0.3-0.4 μ T.

La revisión realizada por la Asociación Toxicológica Argentina concluyó que hay evidencia limitada en humanos para la carcinogenicidad de CM-FEB en relación a la leucemia infantil; pero concuerda en que son posibles carcinógenos para los humanos. Otra de las revisiones fue efectuada por *McNally y Parker*, realizaron un meta análisis sobre relación Leucemia infantil y Ambiente, dentro de este la exposición ambiental a CEM, concluyendo en que los campos magnéticos mayor de 0,4 μ T constituyen un factor de riesgo para la leucemia infantil. *Ahlbom* y colaboradores realizaron un análisis conjunto sobre la base de 9 estudios sobre CEM y su asociación con Leucemia infantil; encontraron aumento del riesgo de leucemia para los niños con exposiciones mayores o iguales a 0,4 μ T.

La preocupación mundial por este tema ha generado proyecciones tanto de la OMS como de otras instituciones y gobiernos. El Proyecto Internacional de CEM de la OMS, nació para tratar de dar una respuesta a las cuestiones sanitarias que plantea la exposición a los mismos.^{5,6}

En el año 2007 se determinó por expertos, que evaluaron sus riesgos para la salud, que los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja a corto plazo, originan en el cuerpo corrientes y campos eléctricos, que si la intensidad es muy elevada, causan estimulación neural y muscular, así como cambios en la actividad neuronal del sistema nervioso central.³⁵

La Agencia Europea de Medio Ambiente dio a conocer en un informe como conclusiones que hay pocas dudas sobre que la exposición CEM FEB causa leucemia infantil y hay algunas evidencias de otros cánceres infantiles, es un factor de riesgo para el cáncer de mama, la enfermedad de Alzheimer, se pueden considerar genotóxicos, causar reacciones inflamatorias y alérgicas.²² La población pediátrica es especialmente vulnerable a la exposición de los CEM FEB, incrementándose con la misma, el riesgo de leucemia.^{6,34,56,57}

En junio del 2001 un panel de científicos de la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) evaluó la posible carcinogenicidad de la exposición a campos electromagnéticos de muy baja frecuencia. La conclusión a la que arribaron fue considerar los campos magnéticos de muy baja frecuencia como posibles carcinógenos humanos.^{5,58}

El Instituto Nacional de Salud y de la Investigación Francés encontró riesgo aumentado por la exposición a los CEM para la leucemia, cánceres de cerebro y de mama, considerando la actividad de estos como promotora.²³

La Asamblea Parlamentaria del Consejo de Europa en el 2011, aprobó una resolución recomendando que se tomen todas las medidas razonables para reducir la exposición a CEM, como la planificación de las líneas de energía eléctrica y otras instalaciones a distancias seguras de las viviendas, aplicar normas estrictas de seguridad para sistemas de tendido eléctrico de las nuevas construcciones, proteger a las personas electrosensibles y en sentido general cumplir con el principio de "niveles tan bajos como sea razonablemente posible".⁵⁹

Cuba no es ajena a la preocupación mundial, los esfuerzos han estado encaminados a la ejecución de estudios epidemiológicos y ambientales, liderados por el Dr. *Carlos Barceló*.

Evidentemente la relación CEM–Salud, es tema de controversia en la actualidad, todos coinciden en que se necesitan nuevas investigaciones, esto constituye una motivación para profundizar en el mismo.

CONSIDERACIONES FINALES

Es indudable que el desarrollo tecno productivo no ha sido inocente con la salud de los seres humanos. Hoy existe preocupación por los posibles efectos que los CEM FEB pueden ocasionar en el hombre.

En la literatura consultada, se hace referencia a múltiples afecciones a la salud relacionadas con la exposición a los mismos. Las más significativas son: leucemia infantil y en adultos, tumores cerebrales, cáncer de mama en hombres, linfoma no Hodgkin, esclerosis lateral amiotrófica, enfermedad de Alzheimer e incremento en la frecuencia de malformaciones congénitas, en niños cuyos padres trabajaban en fuentes generadoras de alta tensión.

En el presente artículo se revisaron 18 estudios epidemiológicos, de los cuales 11 relacionaron la exposición a CEM con la aparición de leucemias, 2 con el linfoma no Hogkin, 1 con el cáncer cerebral, 1 con tumores malignos de otras localizaciones, 1 con leucemia y otros cánceres y en 2 de ellos, no se encontró asociación con ninguna de las afecciones anteriores.

Los 3 estudios de laboratorio revisados, que fueron realizados con células humanas, evidenciaron que la exposición a CEM FEB tiene la potencial capacidad de provocar cambios celulares indicadores de genotoxicidad.

La mayoría de los estudios coinciden en mostrar la relación de la exposición a CEM y la aparición de leucemias; lo que debe guardar relación con que el tejido hematopoyético es uno de los más radiosensibles, por poseer un recambio celular más rápido, que lo hace más vulnerable a las radiaciones ionizantes y según lo revisado, parece que a las no ionizantes también, como es el caso de los CEM FEB, cuya energía teóricamente, es insuficiente para dañar el ADN.

Los estudios consultados reflejan la influencia de los campos magnéticos sobre la salud de las personas expuestas a los mismos, lo que justifica emprender nuevos estudios acerca del tema en Cuba. Es una necesidad actual el determinar, cuantificar y evaluar el riesgo en aras de precisar su relación con la salud humana, lo que permitirá tomar medidas en función de la protección y seguridad en el futuro.

Agradecimientos

Agradecemos la ayuda valiosa del *Dr. Carlos Barceló* y de la *Dra. Marisol Torrientes*, también, a las gestoras de información de las bibliotecas del Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología (INHEM), del Instituto Nacional de Salud de los trabajadores (INSAT) y del Instituto Nacional de Higiene de los Alimentos (INHA), que con paciencia, amor, entrega a su trabajo y cooperación desinteresada hicieron posible este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Mundial de Salud. Campos electromagnéticos (CEM). Programas y proyecciones [Internet]. Ginebra: OMS; 2012 [citado 14 Ago 2012]. Disponible en: <http://www.who.int/peh-mf/about/WhatIsEMF/es/index.html>
2. García SI. La Salud Humana y los Campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM-FEB) [Internet]. Washington: PAHO; 2005 [citado 6 Feb 2012]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd50/humana.pdf>
3. Szabé D. Standards and guidelines on protection against non-ionizing radiation. Central European J of Occup and Environ Med. 1995;1(3):281.
4. Knave B. Radiation, non-ionizing. En: Stellman JM, editor. Encyclopaedia of Occupational Health and Safety. VII.4th ed. Geneva: International Labour Office; 1998; (2):p. 49. 1-49.31.
5. Organización Mundial de Salud. CEM y Salud Pública. International EMF Project Hoja informativa No.263 [Internet]. Ginebra: OMS; 2001 [citado 12 Jul 2012]. Disponible en: <http://www.who.int/peh-emp>
6. Organización Mundial de Salud. Los campos electromagnéticos y la salud pública: las frecuencias extremadamente bajas (ELF) [Internet]. Ginebra: OMS; 2008 [citado 31 May 2012]. Disponible en: <http://www.who.int/emf/>
7. Koifman S, Echnique Matos I. Campos electromagnéticos de frequência extremadamente baixa (50-60Hz) e câncer: Revisao comentada da literatura. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública; 1996.
8. Heredia Rojas JA, Rodríguez Flores L, Santoyo Stephano M, Castañeda Garza E, Rodríguez De la Fuente A. Los campos electromagnéticos: ¿un problema de salud pública? Respyn [Internet] 2003 [citado 6 Feb 2012]; 4(1): [aprox. 25 p.]. Disponible en: <http://www.respyn.vanl.mx/iv/1/ensayos/campos.html>
9. Halliday D, Resnick R. Física. 3ra ed. La Habana: Pueblo y Educación; 1975.
10. Skvarca J, Aguirre A. Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición. Rev Panam Salud Pública [Internet]. 2006 [citado 7 Ago 2012]; 20(2-3): [aprox. 25 p.]. Disponible en: http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892006000800017&lng=es&nrm=iso&tlng=es
11. Blackman CF. ELF Effects on Calcium Homeostasis. En: Extremely low frequency electromagnetic fields: the question of cancer. Columbus, OH: Battelle Press; 1990.
12. Adey WR. Cell Membranes: The Electromagnetic Environmental and Cancer Promotion. Neurochemical Research. 1988;13(7):671-7.
13. Ecotecnic Wordpress. Efectos de las líneas de alta tensión para la salud [Internet]. Ecotecnic; 2010 [citado 2 Feb 2012]. Disponible en: http://ecotecnic.wordpress.com/salud_y_campos-electromagneticos-2/salud_y_campos-electromagneticos

14. Stevens RG. Biologically Based Epidemiological Studies of Electric Power and Cancer. *Environmental Health Perspectives Supplements*. 1993;101(4):93-100.
15. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Health Effects of Exposure to EMF [Internet]. SCENIHR; 2009 [citado 31 May 2012]. Disponible en: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_022.pdf
16. Reiter RJ. Melatonina, free radicals and electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1995;(125):1-3.
17. Markov MS, Pilla AA. Weak static magnetic field modulation of myosin phosphorylation in a cell free preparation: calcium dependence. *Bioelectrochemistry and Bionergetics*. 1997;(43):233-8.
18. Davanipour Z, Sobel E. Magnetic Field Exposure: Melatonin Production; Alzheimer's Disease; Breast Cancer [Internet]. 2007. [citado 6 Feb 2012]. Disponible en: <http://www.bioinitiative.org/freeaccess/report/does/section>
19. Reiter RJ. A review of Neuroendocrine and Neurochemical Changes Associated with Static and Extremely Low Frequency Electromagnetic Field Exposure. *Integrative Physiological and Behavioral Science*. 1993;28(1):57-75.
20. Anderson LE. Biological effects of extremely low frequency electromagnetic fields: *In vivo* studies. In: Bierbaum PJ, Peters JM, eds. *Proceedings of the Scientific Workshop on the Health Effects of Electric and Magnetic Fields on Workers*. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health; 1991. p. 47-89.
21. Pérez Alejo, JL. Campo electromagnético, melatonina y cáncer. *Rev Cubana Med Mil* [Internet] 2006 [citado 31 May 2012]; 35(1): [aprox. 2 p.]. Disponible en: http://www.bus.sld.cu/revistas/mil/vol35_1_06/mil0106.pdf
22. Agencia Europea de Medio Ambiente. Influencia de los CEM en la salud. Informe Bioinitiative [Internet]. 2007 [citado 2 Feb 2012]. Disponible en: http://www.next-up.org/pdf./Eea_Europa_Radiation_RiskFromEverydayDevices_Assessed/709_2007.pdf
23. Pourrier G, Nuñez P. Niños, líneas de alta tensión y cáncer. *The Ecologist para España y Latinoamérica* [Internet]. 2005 [citado 6 Feb 2012]; [aprox. 5 p.]. Disponible en: http://www.theecologist.net/files/articulos/21_art4.asp
24. Khail AM, Qassem W, Amoura F. Cytogenetic changes in human lymphocytes from workers occupationally exposed to high-voltage electromagnetic fields. *Electro and magnetobiology*. 1993;12(1):17-26.
25. European research of environment and health. Risk evaluation of potential environmental hazards from low energy electromagnetic fields (EMF) exposure using sensitive in vitro methods [Internet] 2005 [citado 31 Oct 2012]. Disponible en: http://www.ec.europa.eu/research/environment/pdf/env_health_projects/electromagnetic_fields/e-reflex.pdf
26. Úbeda Maeso A, Martínez Pascual MA, Cid Torres MA, Trillo Ruiz MA, Paíno Belarrinosa CL. Campos ambientales débiles y lipoatrofia semicircular. *Mapfre. Seguridad y Medio Ambiente*. 2011;(123):10-21.

27. McCarty DE, Carrubba S, Chesson AL, Frilot C, González-Toledo E, Marino AA. Electromagnetic hypersensitivity: Evidence for a novel neurological Syndrome. *Int J Neurosci Bristol* [Internet]. 2011 [citado 2 Sep 2012]; [aprox. 26 p.]. Disponible en: <http://www.aipro.info/drive/File/Electromagnetic%20hypersensitivity%20evidenbce%20for%20a%20novel%20neurological%20syndrome%20-%20di%20D.E.%20McCarty%20et%20al.,%2002%2008%2011.pdf>
28. Knave B, Niland J, Zenz C. Nonionizing Radiation. En: Zenz C, Dickerson OB, Horvath EP [Editors Occupational Medicine]. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. 3ra. ed. St. Louis: Mosby; 1994. p. 384-92.
29. LaDou J. *Medicina Laboral*. 2da ed. México DF: El Manual Moderno; 1999. p. 171.
30. Blaasaas KG, Tynes T, Irgens A, Lie RT. Risk of birth defects by parental occupational exposure to 50 Hz electromagnetic fields: a population based study. *Occup Environ Med*. 2002;59(2):92-7.
31. Boffetta P. Cancer. En: Stellman JM, editor. *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. 4th ed. Vol.I. Geneva: International Labour Office; 1998. p. 2-13.
32. Savitz DA. Occupational exposure to magnetic fields and brain cancer. *Occup Environ Med*. 2001;58(10):617-8.
33. Khelfets L, Bowman JD, Checkoway H, Feychting M, Harrington JM, Kavet R. Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations. *Occup Environ Med*. 2009;66(2):72-80.
34. Johansen C. Electromagnetic fields and health effects – epidemiologic studies of cancer and arrhythmia-related heart disease. *Scand J Work Environ Health*. 2004;30(Suppl1):1-80.
35. Organización Mundial de Salud. Campos electromagnéticos y salud pública. Exposición a campos de frecuencia extremadamente baja. Nota descriptiva No. 322 [Internet]. Ginebra: OMS; 2007 [citado 4 Jul 2012]. Disponible en: <http://www.who.int/entity/mediacentre/es/>
36. Habermann M, Marcílio I, Lopes M, Prado R, Souza M, Gouveia N. Desigualdad social y exposición a campos magnéticos en la región de Sao Paulo. *Rev Saúde Pública* [Internet]. Ago 2010 [citado 14 Ago 2012];44(4): [aprox. 18 p.]. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.pdp?script=sci_arttext&pid=S0034-89102010000400014
37. Barceló Pérez C, González Sánchez Y, Calderón Baró J, Ramírez Sotolongo JC. Componente magnético del campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (elf) en áreas de la ciudad de Cienfuegos. *Boletín InfoHEM* [CD-Rom]. 2010 Jul-Sep;8(3):0-0.
38. Wertheimer N, Leeper E. Electrical Wiring Configurations and Childhood Cancer. *Am J Epidemiol*. 1979;109(3):273-84.
39. Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near swedish high-voltage power lines. *Am J Epidemiol*. 1993;138(7):467-81.

40. Feychting M, Ahlbom A. Magnetic Fields, Leukemia, and Central Nervous System Tumor in Swedish Adults Residing near High-Voltage Power Lines. *Epidemiology*. 1994;5(5):501-9.
41. Davitz DA, Loomis PP. Magnetic field exposure in relation to leukaemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol*. 1995;141(2):123-34.
42. Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH, Tynes T, Verkasalo PK. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer*. 2000 Sep;83(5):692-8.
43. Villeneuve PJ, Agnew DA, Miller AB, Corey PN. No-Hodgkin's lymphoma among electric utility workers in Ontario: the evaluation of alternate indices of exposure to 60 Hz electric and magnetic fields. *Occup Environ Med*. 2000;57(7):249-57.
44. Harrington JM, Nichols L, Sorahan T, Tongeren M. Leukaemia mortality in relation to magnetic field exposure: findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-97. *Occup Environ Med*. 2001;58(5):307-14.
45. Willett EV, McKinney PA, Fear NT, Cartwright RA, Roman E. Occupational exposure to electromagnetic fields and acute leukaemia: analysis of a case-control study. *Occup Environ Med*. 2003;60(8):577-83.
46. Draper G, Vincent T, Kroll M, Swanson J. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *Br Med J* [Internet]. 2005 June 4 [citado 2 Feb 2012];330(7503):[aprox. 6 p.]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/issues/18603/>
47. Barceló Pérez C, Guzmán Piñero R, Taureau Díaz N. Campos electromagnéticos de baja frecuencia y leucemia infantil en Ciudad de la Habana. *Rev Cubana Hig Epidemiol* [Internet]. 2005 [citado 7 Ago 2012];43(3):[aprox. 20 p.]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=50864-03001997000100006&script=sci_arttext&lng=pt
48. McNally R, Parker L. Environmental factors and childhood acute leukemias and lymphomas. *Leukemia & Lymphoma* [Internet]. 2006 [cited 2012 Oct 9];47(4). Available from: <http://hinari-gw.who.int/whalecominformahealthcare.com/whalecom0/doi/pdf/10.1080/10428190500420973>
49. Guzmán Piñero R, Barceló Pérez C, Taureau Díaz N, Reyes Secades G, Moncada Rodríguez I. Estudio caso-control sobre factores de riesgo de la leucemia infantil en Ciudad de la Habana. *Rev Cubana Hig Epidemiol* [Internet]. Abr 2007 [citado 14 Ago 2012];45(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032007000100006&lng=es
50. Reyes Secades G, Barceló Pérez C, Moncada Rodríguez I. Leucemia infantil aguda y campos electromagnéticos en municipios de Ciudad de La Habana: Estudio de casos y controles. *Rev Cubana Hig Epidemiol* [Internet]. Abr 2006 [citado 14 Ago 2012];44(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000100002&lng=es
51. Karipidis K, Benke G, Sim M, Fritschi L, Yost M, Armstrong B, Hughes AM, Grulich A, Vajdic CM, Kaldor JM, Kricker A. Occupational exposure to power

frequency magnetic fields and risk of non-Hodgkin lymphoma. *Occup Environ Med.* 2007; 64(1): 25-9.

52. Suárez Cabrera R, López Pumar GM, Sarduy Vega O. Estudio de mortalidad entre miembros de la Asociación Nacional de Jubilados Eléctricos de Cuba. Ciudad de la Habana. 1990-2003. *Rev Cubana Salud Trabajo.* 2007; 8(1): 22-7.

53. Yang Y, Jin X, Yan Ch, Tian Y, Tang J, Shen X. Case-only study of interactions between DNA repair genes (hMLH1, APEX1, MGMT, XRCC1 and XPD) and low-frequency electromagnetic fields in childhood acute leukemia. *Leukemia & Lymphoma* [Internet]. Dec 2008 [citado 9 Oct 2012]; 49(12): [aprox. 17 p.]. Disponible en: <http://hinari-gw.who.int/whalecominformahealthcare.com/whalecom0/doi/pdf/10.1080/10428190802441347>

54. Kroll ME, Swanson J, Vincent JJ, Draper GT. Childhood cancer and magnetic fields from high-voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *Br J Cancer.* 2010; 103(7): 1122-7.

55. Marcilio I, Gouveia N, Pereira Filho ML, Kheifets L. Adult mortality from leukemia, brain cancer, amyotrophic lateral sclerosis and magnetic fields from power lines: a case-control study in Brazil. *Rev bras epidemiol* [Internet]. 2011 [citado 2 Sep 2012]; 14(4): [aprox. 12 p.]. Disponible en: http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141

56. Ferris I, Tortajada J, Ortega García JA, Soldin OP, Navarro Camba EA, García I. Efectos en la salud pediátrica de la radiación electromagnética de frecuencias extremadamente bajas. *Rev Esp Peditr.* 2010; 66(3): 151-61.

57. Mezei G, Kavet R. Power frequency Magnetic Field Exposure and Childhood Leukemia- Epidemiologic Evidence and Research Perspectives. *Centr Eur J Occup Environ Med.* 2004; 10(2): 115-26.

58. Hietanen M. Book reviews. Non-ionizing radiation, part 1: static and extremely low-frequency (elf) electric and magnetic fields. *Scand J Work Environ Health.* 2002; 28(4): 285.

59. Asamblea Parlamentaria del Consejo de Europa. Consejo de Europa pide que se tomen medidas frente a la radiación [Internet]: APCE; 2011. [citado 12 Jul 2012]. Disponible en: http://www.next_up.org/NewsOfTheWorld/2011.pdf

Recibido: 5 de febrero de 2013.

Aprobado: 15 de septiembre de 2013.

Dra. *Moura Revueltas Agüero*. Departamento de Riesgo Físico. Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores (INSAT). La Habana, Cuba. Correo electrónico: vhtrab@infomed.sld.cu
