

septiembre de 2004

CEM

Campos eléctricos y magnéticos
relacionados con el uso
de la energía eléctrica



Preguntas
&
respuestas



Preparado por:
National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS)
National Institutes of Health (NIH)

EMFRAPID
Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination Program

Patrocinado por:
NIEHS/DOE EMF RAPID Program

Copias electrónicas de este folleto están a disposición en la Internet
(<http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>).

Un número limitado de folletos impresos está a disposición, si llama a:
Central Data Management (NIEHS, P.O. Box 12233, Research Triangle Park, NC
27709; Teléfono: 919-541-3419; Fax: 919-541-3687; cdm@niehs.nih.gov).

Traducción al español por M. Eta Trabing

Este folleto fue impreso originalmente en 1995, como parte del Programa "EMF RAPID". Después de completarse el programa, se actualizó el folleto para incluir los resultados del Programa "EMF RAPID", así como los resultados de otros importantes estudios investigativos y reseñas por varios grupos de expertos. Esperamos que le sea útil e informativo. La actualización de este folleto no se pudiera haber logrado sin la ayuda generosa y los esfuerzos concertados de los contribuidores y revisadores. Mucho agradecemos su participación. También quisieramos agradecer al Departamento de Energía de Estados Unidos por asociarse con nosotros en el Programa "EMF RAPID" y a la industria de las centrales eléctricas por su patrocinio parcial de este programa, que incluye fondos para la revisión de este folleto.

Índice

Introducción	2
1 Principios básicos de los CEM	4
Repasa la terminología básica relacionada con los campos eléctricos y magnéticos.	
2 Evaluación de los posibles efectos de salud	12
Explica la manera en que se realizan los estudios científicos para evaluar los posibles efectos de salud.	
3 Resultados de la investigación de los CEM	18
Resume los resultados de las investigaciones relacionadas con los CEM, incluyendo estudios epidemiológicos, clínicos y de laboratorio.	
4 Los CEM en su entorno	32
Trata con las exposiciones típicas a los campos magnéticos en los hogares y lugares de trabajo, e identifica fuentes comunes de los CEM.	
5 Normas sobre la exposición a los CEM	52
Describe las normas y las directrices establecidas por las organizaciones de seguridad estatales, nacionales e internacionales para algunas de las fuentes de los CEM y la exposición a éstos.	
6 Reseñas nacionales e internacionales sobre los CEM	56
Presenta los hallazgos y las recomendaciones de las principales reseñas investigativas de los CEM, incluyendo el Programa “EMF RAPID”.	
7 Referencias	66
Referencias seleccionadas sobre el tema de los CEM.	
Glosario de siglas y entidades	73

I ntroducción

Desde mediados del siglo XX, la electricidad ha formado parte esencial de nuestras vidas. La electricidad suministra energía para nuestros electrodomésticos, equipos de oficina y un sinnúmero de otros dispositivos que usamos para que la vida sea más segura, más fácil y más interesante. El uso de la potencia eléctrica es algo que damos por sentado. Sin embargo, algunos se han preguntado si los campos eléctricos y magnéticos (los CEM) producidos durante la generación, transmisión y uso de la potencia eléctrica [CEM de frecuencia industrial de 50 ó 60 hercios (Hz)] podrían afectar nuestra salud de modo adverso. Se han realizado numerosos estudios y reseñas científicas para dirigirse a este tema.

Desafortunadamente, los estudios iniciales sobre los efectos de los CEM sobre la salud no proporcionaron respuestas claras. El estudio de los posibles efectos de los CEM sobre la salud ha resultado particularmente complejo y los resultados fueron revisados por varios grupos de científicos expertos, tanto en Estados Unidos como en otros países. Este folleto resume los resultados de estas reseñas. Aunque todavía quedan dudas sin resolver acerca de los posibles efectos de los CEM sobre la salud, las reseñas más recientes han reducido de forma substancial el nivel de inquietud.

La evaluación más exhaustiva hasta la fecha fue realizada por dos entidades del gobierno de Estados Unidos, el NIEHS de los NIH y el DOE, con contribuciones de una amplia gama de dependencias públicas y entidades privadas. Esta evaluación, que se conoce como el Programa para la investigación y diseminación de información pública sobre los CEM o “EMF RAPID”, fue un proyecto de seis años de duración cuya meta fue proporcionar evidencia científica para determinar si la exposición a los CEM de frecuencia industrial representaba un peligro potencial para la salud humana.

En 1999, al completarse el Programa “EMF RAPID”, el NIEHS le informó al Congreso de Estados Unidos que la evidencia científica en general era débil con respecto al peligro para el ser humano si quedaba expuesto a los CEM. De los estudios de laboratorio en animales o en células, no se ha detectado ningún patrón coherente de efectos biológicos por la exposición a los CEM. No obstante, los estudios epidemiológicos (estudios de la incidencia de enfermedades en las poblaciones humanas) habían demostrado un patrón bastante coherente que asoció la posible exposición a los CEM con un pequeño aumento en el riesgo de leucemia infantil en niños y leucemia linfocítica crónica en adultos. Desde 1999, se han completado varias evaluaciones más que muestran un débil apoyo científico para la asociación entre la leucemia infantil y la exposición a los CEM de frecuencia industrial. Sin embargo, estas reseñas más recientes no apoyan una asociación entre la exposición a los CEM y las leucemias en adultos. La interpretación de los hallazgos epidemiológicos, tanto para la leucemia infantil como las leucemias en adultos, ha sido difícil debido a la falta de evidencia de laboratorio que la apoyara o una explicación científica que relacionara las exposiciones a los CEM con la leucemia.

Las exposiciones a los CEM son complejas y existen en el hogar y en el lugar de trabajo como resultado de todos los tipos de equipos eléctricos y del alambrado de los edificios, así como de las líneas de energía eléctrica que se encuentran cercanas. Este folleto explica los principios básicos de los campos eléctricos y magnéticos, proporciona una reseña de los resultados de los principales estudios investigativos, y resume las conclusiones de los grupos de científicos expertos que realizaron las reseñas, para ayudarle a usted sacar sus propias conclusiones acerca de los problemas de salud relacionados con los CEM.

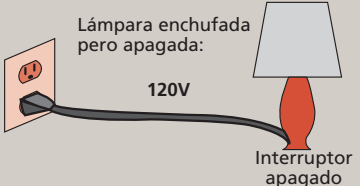
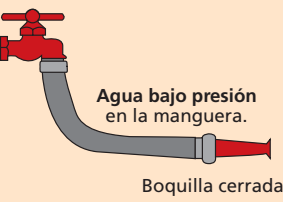
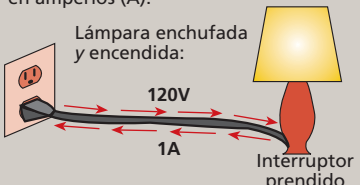
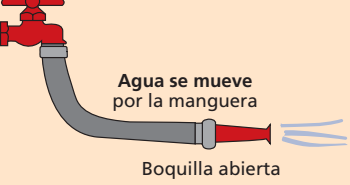
1

Principios básicos de los CEM

En este capítulo se repasa la terminología que usted necesita saber para tener una comprensión básica de los campos eléctricos y magnéticos (los CEM); además, se comparan los CEM con otras formas de energía electromagnética y se habla brevemente de la manera en que dichos campos nos podrían afectar.

P ¿Qué son los campos eléctricos y magnéticos?

R Los campos eléctricos y magnéticos (los CEM) son las líneas invisibles de energía que rodean a todo dispositivo o aparato eléctrico. Las líneas de energía eléctrica, el

Terminología eléctrica	Comparaciones comunes
<p>Voltaje. La presión eléctrica, el potencial de conducir electricidad. Se mide en voltios (V) o en kilovoltios (kV) (1 kV = 1000 voltios).</p>  <p>Lámpara enchufada pero apagada: 120V Interruptor apagado</p>	<p>Manguera conectada a una llave abierta, pero con boquilla cerrada.</p>  <p>Agua bajo presión en la manguera. Boquilla cerrada</p>
<p>Corriente. El movimiento de una carga eléctrica (p.ej., electrones). Se mide en amperios (A).</p>  <p>Lámpara enchufada y encendida: 120V 1A Interruptor prendido</p>	<p>Manguera conectada a una llave abierta y con boquilla abierta.</p>  <p>Agua se mueve por la manguera Boquilla abierta</p>

El voltaje produce un campo eléctrico y la corriente produce un campo magnético.

alámbrado eléctrico y los equipos eléctricos todos producen CEM. También existen muchas otras fuentes de CEM (véanse las páginas 38–40). En este folleto, se enfatizarán los CEM de frecuencia industrial – es decir, los CEM relacionados con la generación, transmisión y uso de la potencia eléctrica.

El voltaje produce los campos eléctricos y éstos aumentan en intensidad a medida que aumenta el voltaje. La intensidad del campo eléctrico se mide en unidades de voltios por metro (V/m). Los campos magnéticos son el resultado del flujo de la corriente por

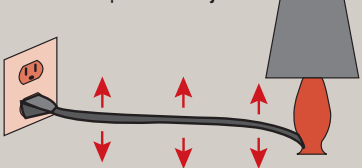
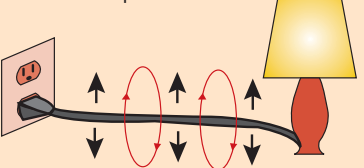
los alambres o dispositivos eléctricos y éstos aumentan en intensidad a medida que aumenta la corriente. Los campos magnéticos se miden en unidades de gaussio (G) o tesla (T).

La mayoría de los equipos eléctricos se tienen que encender, es decir, la corriente tiene que fluir para que se produzca un campo magnético. Por otra parte, los campos eléctricos están presentes aun cuando el equipo está apagado, con tal que siga conectado a la fuente de electricidad. También pueden ocurrir incrementos repentinos y breves de CEM (a veces se llama “corriente transitoria”) cuando se enciende o apaga un dispositivo eléctrico.

Los campos eléctricos son bloqueados o debilitados por materiales que conducen la electricidad – aun por materiales que tienen una conducción pobre, como los árboles, los edificios y la piel humana. Pero los campos magnéticos pasan a través de casi todo material y por lo tanto, es más difícil bloquearlos. Tanto los campos eléctricos como los magnéticos disminuyen rápidamente cuando aumenta la distancia de la fuente.

Aunque los equipos y aparatos eléctricos, así como las líneas de energía eléctrica, producen campos eléctricos y campos magnéticos, las investigaciones más recientes se han concentrado en los efectos potenciales que la exposición a los campos magnéticos podría tener sobre la salud humana. Esto se debe a que algunos estudios epidemiológicos han indicado un mayor riesgo de cáncer relacionado con las estimaciones de la exposición a los campos magnéticos (véanse las páginas 21 y 23 para un resumen de estos estudios). No se ha mencionado ninguna relación similar con los campos eléctricos; los resultados de muchos de los estudios que examinaron los efectos biológicos de los campos eléctricos fueron esencialmente negativos.

Una comparación de los campos eléctricos y magnéticos

Los campos eléctricos	Los campos magnéticos
<ul style="list-style-type: none"> Producidos por el voltaje.  <p style="text-align: center; font-size: small;">Lámpara enchufada pero apagada. El voltaje produce un campo eléctrico.</p> <ul style="list-style-type: none"> Se miden en voltios por metro (V/m) o en kilovoltios por metro (kV/m). Son fácilmente bloqueados (debilitados) por objetos conductores como árboles y edificios. Pierden fuerza rápidamente al aumentar la distancia de la fuente. 	<ul style="list-style-type: none"> Producidos por la corriente.  <p style="text-align: center; font-size: small;">Lámpara enchufada y encendida. La corriente ahora también produce un campo magnético.</p> <ul style="list-style-type: none"> Se miden en gausios (G) o teslas (T). No son fácilmente bloqueados (debilitados) por la mayoría de los materiales. Pierden fuerza rápidamente al aumentar la distancia de la fuente.

Un electrodoméstico enchufado y por lo tanto, conectado a la fuente de electricidad tiene un campo eléctrico aun cuando se apaga el electrodoméstico. Para producir un campo magnético, el electrodoméstico tiene que estar enchufado y encendido de modo que fluya la corriente.



No se puede ver el campo magnético, pero esta ilustración representa la manera en que la intensidad del campo magnético puede disminuir a solamente 30 a 60 centímetros de la fuente. Este campo magnético es un campo de frecuencia industrial de 60 Hz.

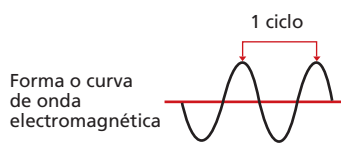
Características de los campos eléctricos y magnéticos

Los campos eléctricos y los campos magnéticos se pueden caracterizar por la longitud de ondas, la frecuencia y la amplitud (intensidad). La gráfica a continuación muestra la curva o forma de las ondas de un campo magnético o eléctrico de corriente alterna (CA). La dirección del campo alterna o cambia de una polaridad a la polaridad opuesta y luego vuelve a la primera en un período de tiempo específico que se llama un ciclo. La longitud de onda describe la distancia entre el pico de una onda y el próximo pico de la misma polaridad. La frecuencia del campo, que se mide en hercios (Hz), describe el número de ciclos que ocurre en un segundo. La electricidad en Norteamérica alterna a 60 ciclos por segundo o 60 Hz. En muchas otras partes del mundo, la frecuencia de la potencia eléctrica es de 50 Hz.

Frecuencia y longitud de onda

La frecuencia se mide en hercios (Hz).

1 Hz = 1 ciclo por segundo.



Ejemplos:

Fuente	Frecuencia	Longitud de onda
Línea de energía eléctrica (Norteamérica)	60 Hz	3100 millas (5000 km)
Línea de energía eléctrica (Europa y la mayoría de los demás países)	50 Hz	3750 millas (6000 km)

¿Cómo se usa el término CEM en este folleto?

El término “CEM” generalmente se refiere a los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia extraordinariamente baja (FEB) como la que se relaciona con el uso de la potencia eléctrica. El término CEM también se puede usar con un significado mucho más amplio, que incluye los campos electromagnéticos de frecuencias altas o bajas (véase la página 9).

Cuando usamos el término CEM en este folleto, nos referimos a campos eléctricos y magnéticos de frecuencia extraordinariamente baja, entre 3 y 3,000 Hz (véase la página 9). Esta gama incluye los campos de frecuencia industrial (50 ó 60 Hz). En

La medición de los CEM: terminología común

Campos eléctricos

La intensidad de los campos eléctricos se mide en voltios por metro (V/m) o en kilovoltios por metro (kV/m).
1 kV = 1000 V

Campos magnéticos

Los campos magnéticos se miden en unidades gaussio (G) o tesla (T). El gaussio es la unidad que más se usa en Estados Unidos. Tesla es la palabra científica de aceptación internacional. 1 T = 10,000 G

Desde que la mayoría de las exposiciones a los CEM tratan con campos magnéticos que son sólo una fracción de un tesla o un gaussio, se miden normalmente en unidades de microtesla (μT) o miligaussio (mG). Un miligaussio es 1 milésimo (1/1,000) de un gaussio. Un microtesla es 1 millonésimo (1/1,000,000) de un tesla. 1 G = 1,000 mG; 1 T = 1,000,000 μT

Para convertir una medida de microteslas (μT) a miligaussios (mG), multiplique por 10.
1 μT = 10 mG; 0.1 μT = 1 mG

la gama de la frecuencia extraordinariamente baja, los campos eléctricos y magnéticos no se acoplan ni interrelacionan de la misma manera que lo hacen en las frecuencias más altas. Por lo tanto, es más útil hablar de ellos como los “campos eléctricos y magnéticos” que de los “campos electromagnéticos”. En la prensa popular, sin embargo, verá que se usan las dos versiones con la abreviatura CEM.

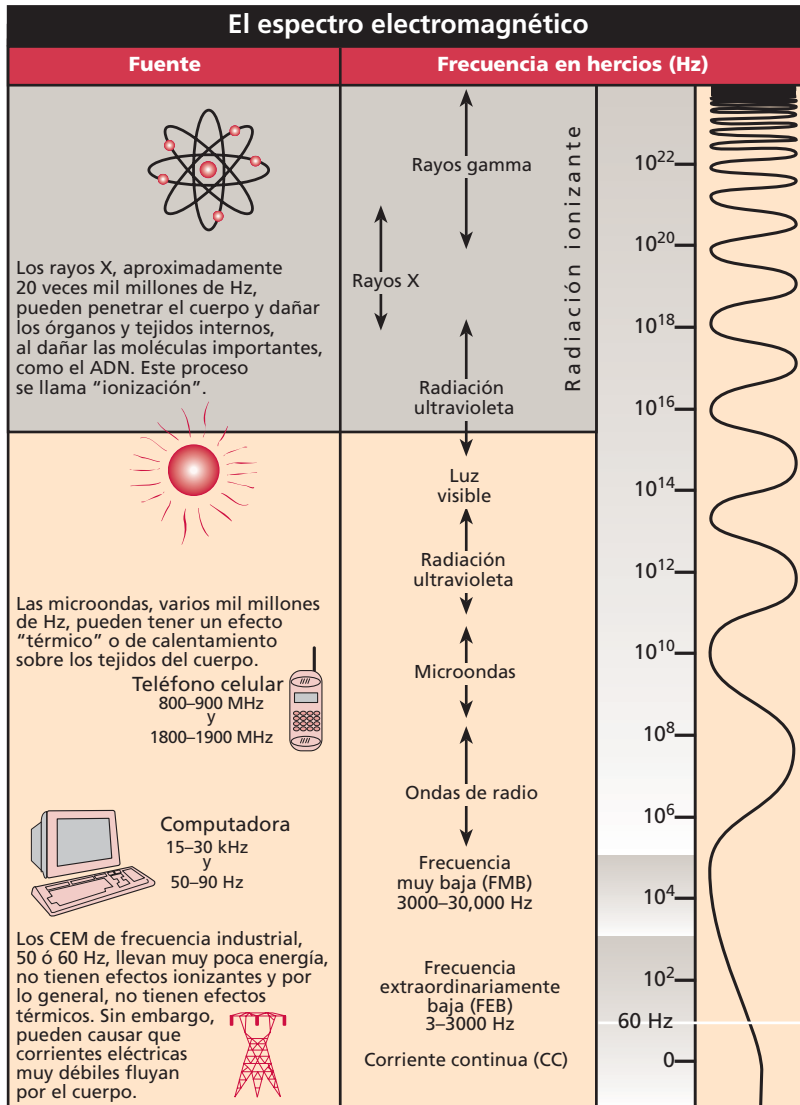
Este folleto se concentrará en los CEM de frecuencia extraordinariamente baja, principalmente los campos de frecuencia industrial de 50 ó 60 Hz, producidos por la generación, transmisión y uso de la electricidad.

P ¿Cuál es la diferencia entre los CEM de frecuencia industrial y los demás tipos de energía electromagnética?

R Los rayos X, la luz visible, las microondas, las ondas de radio y los CEM son todas formas de energía electromagnética. Una propiedad que distingue a las diferentes formas de energía electromagnética es la frecuencia, expresada en hercios (Hz). Los CEM de frecuencia industrial, 50 ó 60 Hz, llevan muy poca energía, no tienen efectos ionizantes y por lo general, no tienen efectos térmicos (véase la página 9). Así como las diferentes sustancias químicas pueden afectar el cuerpo humano de manera diferente, las diversas formas de energía electromagnética pueden tener efectos biológicos muy diferentes (véase “Resultados de la investigación de los CEM” en la página 18).

Algunos equipos u operaciones pueden producir energía electromagnética de diferentes frecuencias simultáneamente. Por ejemplo, las operaciones de soldadura, pueden producir energía electromagnética en el ultravioleta, en luz visible, en el infrarrojo y en la radiofrecuencia, aparte de los CEM de frecuencia industrial. Los hornos microondas producen campos de 60 Hz a varios centenares de miligaussios, pero también crean energía de microondas dentro del horno a una frecuencia mucho más alta (unos 2.45 mil millones de Hz). Estamos protegidos de esos campos de alta frecuencia dentro del horno por su envoltura blindada, pero no estamos protegidos contra los campos de 60 Hz.

Los teléfonos celulares se comunican al emitir campos eléctricos de alta frecuencia y campos magnéticos similares a los que se usan para transmisiones de radio y televisión. Estos campos de radiofrecuencia y de microondas son muy diferentes a los CEM de frecuencia extraordinariamente baja producidos por las líneas de energía eléctrica y la mayoría de los electrodomésticos.



La línea ondulada a la derecha ilustra el concepto de cuanto más alta la frecuencia, tanto más rápidamente fluctúa el campo. Los campos no varían a 0 Hz (corriente continua) y varían cuatrillones de veces por segundo cerca del máximo del espectro. Nótese que 10⁴ significa 10 × 10 × 10 × 10 ó 10,000 Hz. 1 kilohercio (kHz) = 1,000 Hz. 1 megahercio (MHz) = 1,000,000 Hz

P ¿Cuál es la diferencia entre los CEM producidos por fuentes de corriente alterna y los de corriente continua?

R Algunos equipos pueden funcionar con corriente alterna (CA) o con corriente continua (CC). En casi todas partes de Estados Unidos, si el equipo se ha enchufado en un enchufe de pared residencial, usa corriente alterna que cambia de dirección – o alterna – en el alambreado eléctrico a 60 veces por segundo, o a 60 hercios (Hz). Si el equipo funciona a base de baterías o pilas, entonces la corriente eléctrica fluye sólo en una dirección. Esto produce un campo magnético “estático” o estacionario, que también recibe el nombre de campo de corriente continua. Algunos equipos que funcionan a base de baterías pueden producir campos magnéticos de tiempo variable como parte de su funcionamiento normal.

P ¿Qué ocurre cuando quedo expuesto a los CEM?

R En casi todas las situaciones prácticas, la corriente continua no induce corrientes eléctricas en el ser humano. Los fuertes campos magnéticos de corriente continua que se encuentran en algunos entornos industriales, pueden inducir corrientes significativas cuando una persona está en movimiento; además, podrían ser de inquietud por otras razones, como por ejemplo, los posibles efectos en los dispositivos médicos que se han implantado (véase la página 53 para obtener más información sobre los marcapasos y otros dispositivos médicos).

La corriente alterna produce campos eléctricos y magnéticos que crean corrientes eléctricas débiles en el ser humano. Éstas se llaman “corrientes inducidas”. Gran parte de la investigación de la manera en que los CEM pueden afectar al ser humano se ha concentrado en las corrientes inducidas por la corriente alterna.

Campos eléctricos

Una persona que se para directamente debajo de una línea de transmisión de alta tensión puede sentir un electrochoque leve si toca algo que conduce electricidad. Esta sensación es causada por fuertes campos eléctricos emitidos por la electricidad de alta tensión en las líneas de energía eléctrica. Estas sensaciones ocurren solamente cuando uno está cerca, porque los campos eléctricos pierden su intensidad rápidamente cuando uno se aleja de la línea de energía eléctrica. Los campos eléctricos se pueden bloquear y debilitar aun más con edificios, árboles y otros objetos conductores de electricidad.

Campos magnéticos

Los campos magnéticos producidos por la corriente alterna pueden inducir el flujo de corrientes eléctricas débiles en el cuerpo. Sin embargo, se estima que dichas corrientes son inferiores a las corrientes eléctricas que el cerebro, los nervios y el corazón producen naturalmente.

P ¿La tierra no produce CEM?

R Sí. La tierra produce CEM, principalmente en la forma de campos estáticos, similares a los campos generados por la corriente continua. Los campos eléctricos son producidos por la turbulencia en el aire y por otras actividades atmosféricas. Se cree que el campo magnético de la tierra, que es de unos 500 mG, es producido por las corrientes eléctricas que fluyen a gran profundidad dentro del núcleo de la tierra. Debido a que estos campos son estáticos y no alternos, no inducen corrientes en objetos estacionarios, tal como lo hacen los campos relacionados con la corriente alterna. Sin embargo, esos campos estáticos pueden inducir corrientes en objetos que se mueven y giran.

2

Evaluación de los posibles efectos de salud

Este capítulo explica la manera en que se realizan los estudios científicos para evaluar los posibles efectos de salud.

P ¿Cómo se sabe si la exposición a los CEM causa efectos de salud?

R Los estudios de laboratorio en células, los experimentos en animales, los estudios clínicos, los simulacros con computadoras y los estudios epidemiológicos (de la población humana), todos proporcionan información de gran valor. Para evaluar la evidencia de que ciertas exposiciones causan enfermedades, los científicos consideran los resultados de los estudios realizados por varias disciplinas diferentes. Ningún estudio por sí solo ni ningún tipo de estudio es definitivo.



Los estudios de laboratorio y los estudios clínicos (en seres humanos) nos pueden suministrar piezas del rompecabezas, pero ningún estudio por sí solo nos puede dar la idea total.

Estudios de laboratorio

Los estudios de laboratorio, tanto celulares como en animales pueden proporcionar evidencia para ayudar a determinar si un agente, como los CEM, causa enfermedades o no. Los estudios celulares nos ayudan a comprender los mecanismos biológicos que causan las enfermedades. Los experimentos en animales nos dan un método para observar los efectos de ciertos agentes específicos en condiciones cuidadosamente controladas. Sin embargo, los estudios celulares y los experimentos en animales no pueden recrear la naturaleza tan compleja del organismo humano completo y su medio ambiente. Por lo tanto, debemos usar cautela en aplicar los resultados de estos estudios directamente al ser humano o concluir que la ausencia de efecto en esos estudios de laboratorio comprueba que un agente es inocuo o seguro. Aun con estas limitaciones, los estudios celulares y los experimentos en animales han sido muy útiles a

través de los años para identificar y comprender la toxicidad de numerosos agentes químicos y físicos.

Se necesitan condiciones de laboratorio muy específicas para que los investigadores puedan detectar los efectos de los CEM, y las exposiciones experimentales no se pueden comparar fácilmente con las exposiciones humanas. En la mayoría de los casos, no se sabe exactamente la manera en que los CEM producen los efectos que se han observado en algunos experimentos. Si no se entiende la manera en que ocurren los efectos, es difícil evaluar la manera en que se relacionan los resultados de laboratorio con lo que afecta a la salud humana.

Algunos estudios de laboratorio han indicado que la exposición a los CEM puede producir efectos biológicos, incluso cambios en las funciones de las células y los tejidos, y cambios sutiles de los niveles hormonales en animales. Es importante distinguir entre un efecto biológico y un efecto de salud. Muchos efectos biológicos se encuentran dentro de las variaciones normales y no por eso son perjudiciales. Por ejemplo, una luz fuerte tiene un efecto biológico en los ojos – causa la contracción de las pupilas – pero esa es una respuesta normal.

Estudios clínicos

En los estudios clínicos, los investigadores usan instrumentos sensibles para observar la fisiología humana durante exposiciones controladas a agentes ambientales. En los estudios de los CEM, los voluntarios están expuestos a campos eléctricos o magnéticos de niveles más altos de los que se encuentran comúnmente en la vida cotidiana. Los investigadores miden el ritmo cardíaco, la actividad cerebral, los niveles hormonales y otros factores en grupos que fueron expuestos y grupos que no fueron expuestos, buscando las diferencias que resultan de la exposición a los CEM.

Epidemiología

Un método de gran valor para identificar los riesgos para la salud es estudiar una población humana que ha quedado expuesta. A este tipo de investigación se le dice epidemiología.

El epidemiólogo observa y compara grupos de personas que han o que no han tenido ciertas enfermedades y exposiciones para ver si el riesgo de enfermedad es diferente entre los grupos expuestos y los no expuestos. El epidemiólogo no controla la exposición y en el experimento no se pueden controlar todos los factores que podrían afectar el riesgo de enfermedad.



Casi todos los investigadores están de acuerdo en que la epidemiología—el estudio de patrones y posibles causas de enfermedad—es uno de los métodos más valiosos para identificar los riesgos para la salud humana.

P ¿Cómo se evalúan los resultados de los estudios epidemiológicos sobre los CEM?

R Se debe tener en cuenta que hay muchos factores que determinan si un agente causa una enfermedad o no. El hecho de que un estudio epidemiológico asocia una exposición con un mayor riesgo de alguna enfermedad no quiere decir que dicha exposición es la causa verdadera de la enfermedad. Para juzgar si el agente realmente causa un efecto en la salud o no, se deben considerar varios factores.

Fuerza de la asociación

Cuanto más fuerte es la asociación entre una exposición y una enfermedad, tanto más podemos confiar en que la enfermedad es causada por la exposición que se está estudiando. Existe una asociación muy fuerte entre el fumar tabaco y el cáncer de pulmón—20 veces más que el riesgo normal. En los estudios que aducen una relación entre los CEM y ciertas formas poco comunes de cáncer, la asociación es mucho más débil (véase la página 21).

Relación dosis-respuesta

Los datos epidemiológicos son más convincentes si la incidencia de enfermedad aumenta al aumentar el nivel de exposición. Dichas relaciones de dosis-respuesta han surgido en sólo unos pocos estudios sobre los CEM.

Coherencia

La coherencia requiere que toda asociación que se encuentra en un estudio, debe encontrarse también en otros estudios con diferentes poblaciones y métodos. Las asociaciones que se encuentran con regularidad tienen mayor probabilidad de ser causales. Con respecto a los CEM, los resultados de diferentes estudios a veces no concuerdan en puntos importantes, como por ejemplo ¿qué tipo de cáncer se asocia con la exposición a los CEM? Debido a esta falta de coherencia, los científicos no pueden estar seguros de que un incremento en el riesgo se debe a los CEM y no a otros factores.

Credibilidad biológica

Cuando en un estudio epidemiológico las asociaciones son débiles, los resultados de los estudios de laboratorio pasan a ser aun más importantes para apoyar la asociación. Muchos científicos todavía dudan de que hay una asociación entre la exposición a los CEM y el cáncer porque hasta ahora los estudios de laboratorio no han demostrado ninguna evidencia coherente de efectos adversos de salud; los resultados de los estudios experimentales tampoco han revelado una explicación biológica creíble a favor de esa asociación.

Confiabilidad de los datos de exposición

Otra consideración importante de los estudios epidemiológicos relacionados con los CEM, es la manera en que se obtuvieron los datos de exposición. ¿Los investigadores estimaron la exposición a los CEM de la población estudiada según la denominación

de puestos de trabajo o según el alambrado de sus viviendas? ¿O verdaderamente tomaron mediciones de los CEM? ¿Qué midieron (campos eléctricos, campos magnéticos, o ambos)? ¿Con qué frecuencia se tomaron las mediciones de los CEM, y a qué horas? ¿En cuántos lugares diferentes midieron los campos? Los estudios más recientes han incluido mediciones de exposición a campos magnéticos. Los campos magnéticos que se miden en el momento del estudio sólo pueden estimar las exposiciones que ocurrieron en años anteriores (en la época en que se pudiera haber iniciado el proceso de una enfermedad). La falta de datos exhaustivos de exposición hace difícil la interpretación de los resultados de un estudio, especialmente ya que todos en este mundo industrializado hemos estado expuestos a los CEM.

Factor de confusión

Los estudios epidemiológicos demuestran relaciones o correlaciones entre una enfermedad y otros factores como la dieta, las condiciones del entorno y la herencia. Cuando se correlaciona una enfermedad con algún factor, no siempre quiere decir que el factor de correlación causa la enfermedad. Puede significar que el factor ocurre juntamente con algún otro factor, que no se ha medido en el estudio y que realmente es el que causa la enfermedad. Esto se llama el factor de confusión.

Por ejemplo, un estudio podría demostrar que el consumo de bebidas alcohólicas se correlaciona con el cáncer de pulmón. Esto podría ocurrir si el grupo de estudio está compuesto por personas que consumen bebidas alcohólicas y que también fuman tabaco, lo cual ocurre con frecuencia. En este ejemplo, el consumo de bebidas alcohólicas se correlaciona con el cáncer de pulmón, pero el fumar tabaco es el factor de confusión y la verdadera causa de la enfermedad.

Estadísticamente significativo

Los investigadores usan métodos estadísticos para determinar la probabilidad de que la asociación entre la exposición y una enfermedad se debe únicamente al azar. Para que un resultado sea “estadísticamente significativo”, la asociación tiene que ser más fuerte de lo que se esperaría si fuera a ocurrir solamente de modo aleatorio.

Los metanálisis

Una manera en que los investigadores pueden obtener más información de los estudios epidemiológicos es mediante un metanálisis. El metanálisis combina las estadísticas resumidas de muchos estudios para explorar sus diferencias y, si fuera apropiado, calcula una estimación resumida del riesgo general. El desafío principal que enfrenta a los investigadores que realizan los metanálisis es que las poblaciones, mediciones, técnicas de evaluación, tasas de participación y posibles factores de confusión varían entre los diversos estudios originales. Estas diferencias entre un estudio y otro dificultan la combinación de resultados para que el metanálisis tenga sentido.

Análisis de integración de datos de varios estudios

Un análisis de integración de datos de varios estudios combina los datos originales de los estudios considerados, con los cuales se realizará un análisis nuevo que usa

esos datos primarios. Eso requiere acceso a los datos originales de cada estudio que se use y solamente puede incluir enfermedades o factores que se han incluido en todos los estudios; sin embargo, este tipo de análisis tiene la ventaja de que se pueden aplicar los mismos parámetros a todos los estudios. Tal como con los metanálisis, el análisis de integración de datos de varios estudios sigue estando sujeto a las limitaciones del protocolo experimental de los estudios originales (p.ej., técnicas de evaluación, tasas de participación, etc.). La diferencia entre este análisis de integración de datos y el metanálisis es que este último combina las estadísticas resumidas de los diferentes estudios y no sus datos originales.

P ¿Cómo se caracteriza la exposición a los CEM?

R Nadie sabe qué aspecto, si lo hubiera, de la exposición a los CEM afecta a la salud humana. Debido a esta incertidumbre, debemos saber, además de la intensidad del campo, la duración de la exposición, cómo varía y a qué hora del día o de la noche ocurre. El alambrado residencial, por ejemplo, muchas veces es una fuente significativa de exposición a los CEM para las personas, pero los campos magnéticos producidos por el alambrado dependen de la cantidad de corriente que fluye por ellos. Desde que el uso de la calefacción, la iluminación y los electrodomésticos fluctúa durante las 24 horas, la exposición a los campos magnéticos también fluctuará.

En muchos estudios, los investigadores describen las exposiciones a los CEM estimando la intensidad promedio del campo. Algunos científicos creen que la exposición promedio no es la mejor medida de exposición a los CEM y que quizás son importantes otros parámetros, como la exposición máxima o la duración de la exposición.

P ¿Cuál es la intensidad promedio de un campo?

R En los estudios de los CEM, la información que más se señala es el promedio de exposición de la persona a los CEM a través del tiempo (intensidad promedio del campo). Por ejemplo, con sustancias químicas cancerígenas, la exposición promedio de una persona a través de muchos años puede ser una buena manera de pronosticar su probabilidad de contraer la enfermedad.

Existen diferentes maneras de calcular la exposición promedio a los campos magnéticos. Un método es que la persona use un monitor pequeño que toma mediciones durante todo su turno de trabajo o día u otro período de tiempo más

largo. Luego se calcula el promedio de dichas mediciones. Otro método es colocar un monitor en una vivienda para que tome muchas mediciones a través de un período de 24 ó de 48 horas. A veces se calculan promedios para personas que tienen la misma ocupación, o que trabajan en entornos similares o que usan diferentes marcas de equipos de tipo similar o igual.

Asociación

En la epidemiología, una asociación positiva entre una exposición (como a los CEM) y una enfermedad no siempre es prueba de que la exposición es causa de la enfermedad. Sin embargo, si la exposición y la enfermedad ocurren juntamente con gran frecuencia, la asociación es más fuerte, y eso aumenta la posibilidad de que la exposición aumente el riesgo de la enfermedad.

P ¿Cómo se mide la exposición a los CEM en estudios epidemiológicos?

R Los epidemiólogos estudian los patrones y las causas posibles de las enfermedades en poblaciones humanas. Estos estudios, por lo general, son más de observación que de experimentación. Eso quiere decir que el investigador observa y compara grupos de personas que han tenido ciertas enfermedades y exposiciones y busca posibles “asociaciones”. Sin embargo, el epidemiólogo tiene que encontrar alguna manera de estimar la exposición de dichas personas en épocas anteriores.

Algunas estimaciones de exposición en estudios residenciales se han basado en la designación de residencias en términos de los “códigos de cables”. En otros estudios, se han tomado mediciones dentro de las viviendas, suponiendo que los niveles de los CEM al momento de la medición iban a ser similares a los niveles de algún momento anterior. Algunos estudios usan “mediciones puntuales”. Los niveles de exposición cambian cuando una persona se mueve de un lugar a otro en su entorno, de modo que las mediciones puntuales tomadas en lugares específicos solamente se aproximan a las variaciones complejas de exposición que una persona pudiera experimentar. Otros estudios miden los campos magnéticos durante un período de 24 ó de 48 horas. Los niveles de exposición para algunos estudios ocupacionales se miden al pedir a algunos empleados que usen monitores personales. A veces se usan estos datos para estimar los niveles de exposición típica de empleados con ciertas denominaciones de puestos de trabajo. Con eso, los investigadores pueden estimar las exposiciones usando solamente las denominaciones de puestos de trabajo sin tener que medir la exposición de todos los empleados.

Métodos para estimar la exposición a los CEM

Los códigos de cables

Una clasificación de viviendas según las características de las líneas de energía eléctrica afuera del hogar (grosor de los cables, configuración de los mismos, etc.) y sus distancias del hogar. Se usa esta información para codificar a las viviendas en grupos con niveles pronosticables de campos magnéticos más altos y más bajos.

Medición puntual

Una medición instantánea o de muy corta duración (p.ej., 30 segundos) tomada en un lugar designado.

Promedio ponderado a través del tiempo

Un promedio ponderado de las medidas de exposición que se toman a través de un período de tiempo y que toma en cuenta el intervalo de tiempo entre mediciones. Cuando se toman las medidas con un monitor a una velocidad fija de muestreo, el promedio ponderado a través del tiempo es igual a la media aritmética de las medidas.

Monitor personal

Un instrumento que se lleva puesto para medir la exposición durante de un periodo de tiempo.

Campos históricos calculados

Una estimación basada en un cálculo teórico del campo magnético emitido por líneas de energía eléctrica usando cargas eléctricas históricas de dichas líneas.

3

Resultados de la investigación de los CEM

En este capítulo se resumen los resultados de las investigaciones relacionadas con los CEM que se han realizado a nivel mundial, incluyendo estudios epidemiológicos en niños y adultos, estudios clínicos de cómo reacciona el ser humano a las exposiciones típicas, y la investigación de laboratorio en animales y en células.

P ¿Existe una conexión entre la exposición a los CEM y la leucemia infantil?

R A pesar de más de veinte años de investigaciones para determinar si una exposición elevada a los CEM, especialmente a los campos magnéticos, se relaciona con un aumento en el riesgo de la leucemia infantil, todavía no tenemos una respuesta definitiva. Sin embargo, se ha progresado bastante y algunas líneas de investigación han llevado a respuestas razonablemente claras mientras que otras cosas quedan sin resolver. La mejor evidencia que tenemos a disposición en estos momentos conduce a las siguientes respuestas a preguntas específicas sobre la asociación entre la exposición a los CEM y la leucemia infantil:

¿Existe una asociación entre las configuraciones de las líneas de energía eléctrica (los códigos de cables) y la leucemia infantil? No.

¿Existe una asociación entre los campos medidos y la leucemia infantil? Sí, pero la asociación es débil y no se sabe exactamente si representa una relación de causa y efecto.

P ¿Cuál es la evidencia epidemiológica que se usa para evaluar una conexión entre la exposición a los CEM y la leucemia infantil?

R Los estudios iniciales—empezando con las investigaciones precursoras realizadas por Nancy Wertheimer y Ed Leeper, en 1979 en Denver, Colorado—se concentraron en las configuraciones de las líneas de energía eléctrica en las zonas residenciales. Se evaluaron y codificaron las líneas de energía eléctrica de manera

sistemática, según su supuesta capacidad de producir elevados campos magnéticos en las viviendas. Además, se clasificaron en grupos de niveles pronosticables de campos magnéticos altos y bajos (véase el comentario sobre códigos de cables en la página 17). Aunque el primer estudio y dos estudios posteriores, realizados en Denver y Los Angeles, demostraron una asociación entre los códigos de cables indicativos de campos magnéticos elevados y la leucemia infantil, los estudios más amplios y más recientes realizados en la región central de Estados Unidos y en varias provincias del Canadá, no encontraron evidencia de dicha asociación. Es más, al combinar la evidencia de estos estudios, podemos concluir con cierta confianza que los códigos de cables no están asociados con un aumento mensurable en el riesgo de la leucemia infantil.

Otra manera de evaluar la exposición residencial a los CEM se concentró en la medición de los campos magnéticos. A diferencia de los códigos de cables, que sólo se pueden aplicar a Norteamérica debido a la naturaleza del sistema de distribución de energía eléctrica, se han estudiado campos medidos en relación con la leucemia infantil en investigaciones realizadas en varios países del mundo, incluyendo Suecia, Inglaterra, Alemania, Nueva Zelanda y Taiwán. Hace poco se completaron detallados estudios de magnitud en Estados Unidos, Canadá y el Reino Unido que proporcionan gran cantidad de evidencia para hacer una evaluación. Estos estudios han producido hallazgos variables, algunos han indicando asociaciones débiles, y otros no encontraron asociación alguna. Después de repasar todos los datos, el NIEHS de Estados Unidos, concluyó en 1999, que la evidencia era débil, pero que todavía era suficiente como para merecer cierta preocupación. El raciocinio del NIEHS era que ningún estudio epidemiológico individual había provisto evidencia convincente de una conexión entre la exposición a un campo magnético y la leucemia infantil, pero que existe un patrón general de resultados para algunos métodos de medir la exposición, que aduce una asociación débil entre un aumento en la exposición a los CEM y un aumento en el riesgo de la leucemia

Estudio del Instituto Nacional del Cáncer de Estados Unidos

En 1997, después de ocho años de labor, la Dra. Martha Linet y colegas del Instituto Nacional del Cáncer (National Cancer Institute—NCI) informaron los resultados del estudio que realizaron de la leucemia linflobástica aguda infantil. Ese estudio de caso-testigo abarcó más de 1,000 niños que vivían en nueve estados del este y del centro de Estados Unidos y hasta la fecha, es el estudio epidemiológico más grande que se ha realizado en Estados Unidos de las leucemias infantiles. Para ayudar a resolver la cuestión de los códigos de cables frente a los campos magnéticos realmente medidos, los investigadores del NCI llevaron a cabo ambos tipos de análisis de exposición. En general, Linet y col., señalaron poca evidencia de que era un riesgo vivir en viviendas con niveles medidos de campos magnéticos más elevados y no encontraron evidencia de que aumentaba el riesgo de la leucemia linflobástica aguda infantil al vivir en viviendas con una configuración alta de códigos de cables.

Estudio de las formas de cáncer infantil en el Reino Unido

En diciembre de 1999, Sir Richard Doll y colegas, en el Reino Unido, anunciaron que el estudio más grande jamás emprendido de las formas de cáncer infantil—en casi 4,000 niños con alguna forma de cáncer en Inglaterra, Gales y Escocia—no encontró evidencia de un exceso de riesgo de las leucemias infantiles u otras formas de cáncer por la exposición a campos magnéticos de frecuencia industrial. Sin embargo, se debe notar que casi todas las líneas de energía eléctrica en el Reino Unido se encuentran enterradas, y por lo tanto, la exposición a los CEM de estos niños, generalmente, fue de menos de 0.2 microteslas ó 2 miligaussios.

infantil. El pequeño número de casos en estos estudios hizo imposible demostrar esa asociación con firmeza. No obstante, el hecho de que se habían observado resultados similares en diferentes poblaciones y mediante el uso de una variedad de protocolos de estudio, apoyó esta observación.

Ha sido un desafío determinar si los niveles de los campos magnéticos más elevados (pero raramente encontrados) se asocian con un incremento en el riesgo de leucemia. Los primeros informes se concentraron en el riesgo relacionado con las exposiciones mayores de 2 ó 3 miligaussios, pero los estudios más recientes han tenido la magnitud de también poder proveer algunos datos a niveles mayores de 3 ó 4 miligaussios. Se estima que un 4.5% de las viviendas en Estados Unidos tiene campos magnéticos mayores de 3 miligaussios, y que un 3.5% de las viviendas tiene niveles mayores de 4 miligaussios.

Para determinar lo que dice la información integrada de todos estos estudios sobre los campos magnéticos y la leucemia infantil, dos grupos han realizado un análisis de integración de datos de varios estudios en los cuales se integraron y analizaron los datos originales de los estudios pertinentes. Un informe (Greenland y col., 2000) combinó 12 estudios pertinentes con mediciones de campos magnéticos, y el

¿Qué es el cáncer

El cáncer

El término “cáncer” describe por lo menos 200 enfermedades diferentes, todas tratando con el crecimiento incontrolado de células en el cuerpo. La frecuencia del cáncer se mide por la incidencia—el número de casos nuevos que se diagnostican todos los años. La incidencia generalmente se describe como el número de casos nuevos diagnosticados por 100,000 personas por año.

En Estados Unidos, la incidencia de cáncer en adultos es 382 por 100,000 por año; y el cáncer infantil representa aproximadamente 1% de todas las formas de cáncer. Los factores que influyen el riesgo son diferentes entre las diferentes formas de cáncer. Factores de riesgo conocidos, como el fumar tabaco, las dietas y el consumo de bebidas alcohólicas, contribuyen a formas específicas de cáncer. (Por ejemplo, se sabe que el fumar tabaco es un factor de riesgo conocido para el cáncer de pulmón, el cáncer de vejiga y el cáncer de boca.). Pero para muchas otras formas de cáncer, se desconocen las causas.

La leucemia

La leucemia describe las variedades de cáncer que surgen de la médula ósea donde se forman las células sanguíneas. Las leucemias representan menos de un 4% de todos los casos de cáncer en adultos, pero son la forma más común de cáncer en niños. En niños de 4 años o menos, la incidencia de la leucemia infantil es de aproximadamente 6 por 100,000 por año, y eso disminuye con la edad, hasta unos 2 por 100,000 por año en niños de 10 años de edad o más. En Estados Unidos, la incidencia de leucemia en adultos es de unos 10 casos por 100,000 personas por año. Se sabe poco de la causa de la leucemia, aunque se sabe que los factores genéticos desempeñan un papel. Las únicas causas conocidas son la radiación ionizante, el benceno y otras sustancias químicas y fármacos que inhiben la función de la médula ósea, así como un virus de leucemia humana en las células T.

El cáncer de cerebro

El cáncer del sistema nervioso central (el sistema encefalorraquídeo) no es muy común, con la incidencia en Estados Unidos en estos momentos, siendo de unos 6 casos por 100,000 personas por año. Las causas de la enfermedad son mayormente desconocidas, aunque varios estudios han señalado una asociación con ciertas exposiciones ocupacionales o laborales a sustancias químicas. La radiación ionizante sobre el cuero cabelludo es un factor de riesgo conocido del cáncer de cerebro. Los factores que se asocian con un incremento en el riesgo de otras formas de cáncer—como el fumar tabaco, la dieta y el consumo excesivo de bebidas alcohólicas—no se han encontrado en asociación con el cáncer de cerebro.

otro consideró nueve de estos estudios (Ahlbom y col., 2000). Los detalles de estos dos análisis son diferentes, pero sus hallazgos son similares. Existe evidencia débil de una asociación (un riesgo relativo de 2, aproximadamente) a las exposiciones mayores de 3 mG. Sin embargo, pocos individuos han experimentado la exposición elevada de estos estudios; por lo tanto, aun con la combinación de todos los estudios, sigue la incertidumbre acerca de la estrechez de la asociación.

El cuadro a continuación resume los resultados de los estudios epidemiológicos sobre la exposición a los CEM y la leucemia infantil del análisis de integración de datos realizado por Greenland y col. (2000). El resumen se concentró en los

La exposición residencial a los campos magnéticos y la leucemia infantil

Primer autor	Categoría de campo magnético (mG)					
	>1 a ≤2 mG		>2 a ≤3 mG		>3 mG	
	Estimación	95% IC	Estimación	95% IC	Estimación	95% IC
Coghill	0.54	0.17, 1.74	Sin testigos o controles		Sin testigos o controles	
Dockerty	0.65	0.26, 1.63	2.83	0.29, 27.9	Sin testigos o controles	
Feychting	0.63	0.08, 4.77	0.90	0.12, 7.00	4.44	1.67, 11.7
Linnet	1.07	0.82, 1.39	1.01	0.64, 1.59	1.51	0.92, 2.49
London	0.96	0.54, 1.73	0.75	0.22, 2.53	1.53	0.67, 3.50
McBride	0.89	0.62, 1.29	1.27	0.74, 2.20	1.42	0.63, 3.21
Michaelis	1.45	0.78, 2.72	1.06	0.27, 4.16	2.48	0.79, 7.81
Olsen	0.67	0.07, 6.42	Ningún caso		2.00	0.40, 9.93
Savitz	1.61	0.64, 4.11	1.29	0.27, 6.26	3.87	0.87, 17.3
Tomenius	0.57	0.33, 0.99	0.88	0.33, 2.36	1.41	0.38, 5.29
Tynes	1.06	0.25, 4.53	Ningún caso		Ningún caso	
Verkasalo	1.11	0.14, 9.07	Ningún caso		2.00	0.23, 17.7
Resumen del estudio	0.95	0.80, 1.12	1.06	0.79, 1.42	1.69*	1.25, 2.29
	>1 a <2 mG		>2 a <4 mG		≥4 mG	
** Reino Unido	0.84	0.57, 1.24	0.98	0.50, 1.93	1.00	0.30, 3.37

95% IC = 95% de intervalo de confianza.

Fuente: Greenland y col., 2000.

* Análisis Mantel-Haenszel ($p = 0.01$). Los resúmenes de máxima probabilidad tuvieron en menos de 1% de diferencia entre estos resúmenes; basados en 2,656 casos y 7,084 testigos o controles. El ajuste por edad, sexo y otras variables tuvo muy poco efecto en los resultados resumidos.

** Estos datos son de un estudio reciente en el Reino Unido que no se incluyeron en el análisis de Greenland, pero que se incluyeron en otro análisis de integración de datos (Ahlbom y col., 2000). El estudio del Reino Unido incluyó 1,073 casos y 2,224 testigos.

En este cuadro, la columna titulada "estimación" describe el riesgo relativo. El riesgo relativo es la razón del riesgo de la leucemia infantil para aquellos de un grupo expuesto a campos magnéticos frente a personas con niveles de exposición de 1.0 mG o menos. Por ejemplo, Coghill estimó que niños con exposiciones entre 1 y 2 mG tenían 0.54 veces el riesgo de los niños cuyas exposiciones fueron de menos de 1 mG. El estudio de London estima que los niños cuyas exposiciones fueron mayores de 3 mG tenían 1.53 veces el riesgo de los niños cuyas exposiciones fueron de menos de 1 mG. La columna titulada "95% IC" (intervalo de confianza) describe la cantidad de variación aleatoria que existe en la estimación del riesgo relativo. La estimación puede tener un margen de error debido a la variación aleatoria, y la amplitud de los intervalos de confianza da una idea de esa variación. Por ejemplo, en la estimación de Coghill, 0.54 para el riesgo relativo, valores tan bajos como 0.17 ó tan altos como 1.74 no tendrían una diferencia estadísticamente significativa del valor de 0.54. Nótese que existe una amplia gama de estimaciones del riesgo relativo en todos estos estudios y amplios intervalos de confianza en muchos de los estudios. En vista de estos hallazgos, la integración de datos de varios estudios puede ser extremadamente útil para calcular una estimación general, una estimación muy superior a la que se puede obtener de cualquier estudio tomado por sí solo.

campos magnéticos que ocurrieron tres meses antes del diagnóstico. Se derivaron los resultados de campos históricos calculados o de las mediciones múltiples de los campos magnéticos. Los estudios norteamericanos (Linnet, London, McBride, Savitz) fueron de 60 Hz; todos los demás estudios fueron de 50 Hz. También se incluyeron en este cuadro los resultados del estudio reciente realizado en el Reino Unido (véase la página 19). Este estudio fue incluido en el análisis de Ahlbom y col. (2000). Las estimaciones de riesgo relativo de los estudios individuales demuestran que prácticamente no existe asociación entre los campos magnéticos y la leucemia infantil. El resumen del análisis de integración de datos preparado por Greenland y col. (2000) demuestra una asociación débil entre la leucemia infantil y la exposición a campos magnéticos superiores a 3 mG.

P ¿Existe una conexión entre la exposición a los CEM y el cáncer de cerebro en niños u otras formas de cáncer infantil?

R Aunque los primeros estudios sugirieron una asociación entre la exposición a los CEM y todas las formas de cáncer infantil, esos hallazgos iniciales no se han podido confirmar con otros estudios posteriores. En la actualidad, la serie de estudios a disposición indica que no existe asociación entre la exposición a los CEM y las formas de cáncer infantil que no fueran la leucemia. Se ha realizado una cantidad mucho menor de estudios de las otras formas de cáncer que de la leucemia infantil.

P ¿Existe una conexión entre la exposición residencial a los CEM y el cáncer en adultos?

R Los pocos estudios que se han realizado de los CEM y el cáncer en adultos, no han proporcionado evidencia sólida de que existe una asociación. Por lo tanto, no se ha establecido una conexión entre la exposición residencial a los CEM y las formas de cáncer en adultos, incluyendo la leucemia, el cáncer de cerebro y el cáncer de mama (véase el cuadro a continuación).

Exposición residencial a los campos magnéticos y al cáncer en adultos

Primer autor	Lugar	Tipo de datos de exposición	Resultados (razón de posibilidades)		
			Leucemia	Tumores del SNC	Todas formas de cáncer
Coleman	Reino Unido	Campos históricos calculados	0.92	NC	NC
Feychting y Ahlbom	Suecia	Calculados y mediciones puntuales	1.5*	0.7	NC
Li	Taiwán	Campos históricos calculados	1.4*	1.1	NC
Li	Taiwán	Campos históricos calculados	1.1 (cáncer de mama)		
McDowall	Reino Unido	Campos históricos calculados	1.43	NC	1.03
Severson	Seattle (EE.UU.)	Códigos de cables y mediciones puntuales	0.75	NC	NC
Wrensch	San Francisco (EE.UU.)	Códigos de cables y mediciones puntuales	NC	0.9	NC
Youngson	Reino Unido	Campos históricos calculados	1.88	NC	NC

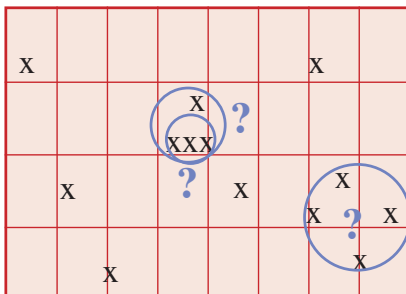
SNC = sistema nervioso central. NC = no corresponde

*El número es estadísticamente significativo (mayor de lo que se espera al azar).

Los resultados de los estudios se indican como “razón de posibilidades” (*odds ratios*). Una razón de posibilidades de 1.00 significa que no hubo incremento ni disminución en el riesgo. En otras palabras, las posibilidades para las personas del estudio que sufrían de la enfermedad (en este caso, cáncer) y que estaban expuestas a un agente en particular (en este caso, los CEM) son las mismas que para las personas del estudio que no sufrían de la enfermedad. Una razón de posibilidades de más de 1, puede ocurrir sencillamente al azar, a menos que sea estadísticamente significativa.

P ¿Se han relacionado los brotes conglomerados de cáncer u otros efectos adversos de salud con la exposición a los CEM?

R Cuando ocurre un número inusualmente elevado de cáncer, de abortos espontáneos o de otros efectos adversos de salud en una región o a través de un período de tiempo, se le dice un “brote conglomerado”. Algunos conglomerados dan una advertencia temprana de un peligro de salud. Pero, en general, se desconoce la causa por el conglomerado. No ha habido ninguna incidencia comprobada de conglomerados de cáncer en conexión con la exposición a los CEM.



La definición de un “brote conglomerado” depende del tamaño del área que se incluye. Los casos de cáncer (las x en la gráfica) en una ciudad, vecindario, o lugar de trabajo pueden ocurrir de maneras que sugieren un conglomerado debido a una causa común del entorno. Con frecuencia, esos patrones resultan de situaciones aleatorias. La delineación de un conglomerado es subjetiva—¿dónde se deberían dibujar los círculos?



P Si los CEM provocan o causan cáncer ¿no debería haber aumentado la tasa de cáncer junto con el mayor uso de la electricidad?

R No necesariamente. Aunque el uso de la electricidad ha aumentado enormemente con el pasar de los años, es posible que no hayan aumentado las exposiciones a los CEM. Los cambios en los códigos de cables residenciales y en el diseño de los electrodomésticos, en algunos casos, han resultado en niveles más bajos de campos magnéticos. Las tasas de varias formas de cáncer han demostrado tanto aumentos como reducciones a través de los años; en parte, eso se debe al mejoramiento de la prevención, el diagnóstico, la presentación de informes y en los tratamientos.

P ¿Existe una conexión entre la exposición a los CEM en ocupaciones relacionadas con la electricidad y el cáncer?

R Casi desde que nos empezamos a preocupar de la exposición residencial a los CEM y las formas de cáncer infantil, los investigadores han estudiado la exposición laboral u ocupacional a los CEM y el cáncer en adultos, concentrándose en la leucemia y en el cáncer de cerebro. Esta investigación comenzó con una encuesta de las denominaciones de puestos de trabajo y los riesgos de cáncer, y ha ido avanzando hasta incluir estudios de gran magnitud y muy detallados de la salud de los trabajadores, especialmente aquellos que trabajan en las empresas de servicios

públicos eléctricos, en Estados Unidos, Canadá, Francia, Inglaterra y en varios países del norte de Europa. Algunos estudios han encontrado evidencia que aduce una conexión entre la exposición a los CEM y la leucemia y el cáncer de cerebro, mientras que otros estudios de tamaño y calidad similares no han encontrado tales asociaciones.

California – EE.UU.

Un estudio en 1993, de 36,000 trabajadores de las empresas de servicios públicos eléctricos en California señaló que no se había encontrado evidencia ni sólida ni constante de una asociación entre campos magnéticos y formas de cáncer.

Canadá/Francia

Un estudio en 1994, de más de 200,000 trabajadores de tres empresas de servicios públicos eléctricos en Canadá y Francia señaló que no había ninguna asociación significativa entre todos los tipos de leucemia juntos y la exposición acumulativa a los campos magnéticos. Hubo un ligero incremento, pero no estadísticamente significativo, en el cáncer de cerebro. Los investigadores concluyeron que el estudio no proporcionó evidencia netamente definida de que las exposiciones a los campos magnéticos causan la leucemia o el cáncer de cerebro.

Carolina del Norte – EE.UU.

Los resultados de un estudio realizado en 1995, de más de 138,000 trabajadores de cinco empresas de servicios públicos eléctricos en Estados Unidos, no apoyaron una asociación entre la exposición ocupacional a los campos magnéticos y la leucemia, pero adujeron una conexión con el cáncer de cerebro.

Dinamarca

Un estudio en 1997, de trabajadores empleados por todas las empresas de servicios públicos eléctricos en Dinamarca, indicó un incremento pequeño, pero estadísticamente significativo, en el exceso de riesgo para todas las formas de cáncer juntas y para el cáncer de pulmón. No se observó un exceso de riesgo para la leucemia, el cáncer de cerebro o el cáncer de mama.

Reino Unido

Un estudio en 1997, entre los trabajadores “eléctricos” del Reino Unido, no encontró un exceso de riesgo en el cáncer de cerebro. Una extensión de dicha obra en el 2001, señaló que tampoco se había encontrado un incremento en el riesgo del cáncer de cerebro.

También se ha tratado de integrar los hallazgos de varios de estos estudios para producir estimaciones más exactas de la asociación entre los CEM y el cáncer

(Kheifets y col., 1999). La combinación de las estadísticas resumidas de todos estos estudios no proporcionó suficiente evidencia como para demostrar una asociación entre la exposición laboral a los CEM y la leucemia o el cáncer de cerebro.

P De los estudios de trabajadores en otras industrias ¿alguno ha sugerido una conexión entre la exposición a los CEM y el cáncer?

R Uno de los estudios de mayor magnitud que señaló que había una asociación entre el cáncer y la exposición a los campos magnéticos en una amplia gama de industrias, fue llevado a cabo en Suecia (1993). El estudio incluyó una evaluación de la exposición laboral a los CEM en 1,015 lugares de trabajo y en más de 1,600 personas en 169 ocupaciones diferentes. Se señaló una asociación entre una exposición estimada a los CEM y un mayor riesgo de la leucemia linfocítica crónica. También se indicó de que había una asociación entre la exposición a campos magnéticos y el cáncer de cerebro, pero que no había una relación dosis-respuesta.



Otro estudio sueco (1994) encontró un aumento en el riesgo de la leucemia linfocítica entre jefes de tren y maquinistas ferroviarios. Sin embargo, la incidencia total de cáncer (incluyendo todos los tumores) para este grupo de trabajadores fue menor que para la población sueca en general. Un estudio de trabajadores ferroviarios en Noruega no encontró ninguna evidencia de una asociación entre la exposición a los CEM y la leucemia o el cáncer de cerebro. Aunque se ha señalado de que existen efectos tanto positivos como negativos de la exposición a los CEM, la mayoría de los estudios no ha demostrado un efecto.

P ¿Existe una conexión entre la exposición a los CEM y el cáncer de mama?

R Los investigadores han tenido interés en la posibilidad de que la exposición a los CEM podría causar el cáncer de mama, en parte porque el cáncer de mama es una enfermedad común en las mujeres adultas. Los primeros estudios identificaron a unos pocos trabajadores “eléctricos”, con cáncer de la mama masculina, una enfermedad muy poco común. Una conexión entre la exposición a los CEM y las alteraciones en la hormona melatonina se consideró ser una posible hipótesis (véase la página 28). Esta idea causó que se realizara una investigación de la posible conexión entre la exposición a los CEM y el cáncer de mama. En general, los estudios epidemiológicos publicados no han demostrado una asociación de esa índole.

P ¿Qué hemos aprendido de los estudios clínicos?

R Los estudios de laboratorio en voluntarios humanos han tratado de contestar preguntas como:

¿La exposición a los CEM altera las funciones normales del corazón y del cerebro?

¿La exposición nocturna a los CEM afecta a los patrones del sueño?

¿La exposición a los CEM afecta al sistema inmunológico?

¿La exposición a los CEM afecta a las hormonas?

Se han señalado los siguientes efectos biológicos. Se debe tener en cuenta que un efecto biológico es simplemente un cambio mensurable de alguna respuesta biológica; podría tener alguna relación con la salud o no.

Ritmo cardíaco

Se ha indicado incoherencia en el efecto sobre el ritmo cardíaco por causa de la exposición a los CEM. Cuando se ha observado, la respuesta biológica es pequeña (en promedio, un alentamiento de unos 3 a 5 latidos por minuto), y la respuesta no persiste cuando termina la exposición.

Dos laboratorios, uno en Estados Unidos y otro en Australia, han señalado efectos de los CEM sobre la variabilidad del ritmo cardíaco. Las exposiciones que se usaron en esos experimentos fueron relativamente altas (unos 300 mG), y las exposiciones más bajas no produjeron ningún efecto. No ha habido coherencia en los efectos observados al repetir los experimentos.

La electrofisiología del sueño

Un informe de laboratorio ha sugerido que la exposición nocturna a campos magnéticos de 60 Hz puede afectar la actividad eléctrica (EEG) del cerebro durante el sueño nocturno. En ese estudio, los sujetos fueron expuestos a campos magnéticos de 283 mG, tanto continuos como intermitentes. Las personas expuestas a los campos magnéticos intermitentes mostraron alteraciones en los parámetros tradicionales del sueño EEG que son indicativos de un patrón de sueño interrumpido y afectado. Varios estudios han señalado que con la exposición continua no ha habido ningún efecto.

Las hormonas, el sistema inmunológico y la química sanguínea

Varios estudios clínicos en voluntarios humanos han evaluado los efectos de la exposición a los CEM de frecuencia industrial sobre las hormonas, el sistema inmunológico y la química sanguínea. Estos estudios han proporcionado poca evidencia de algún efecto coherente.

La melatonina

La hormona melatonina es secretada principalmente de noche y primordialmente por la glándula pineal - una glándula pequeña que cuelga del cerebro. Algunos estudios celulares y experimentos de laboratorio en animales han demostrado que la melatonina puede disminuir el crecimiento de las células cancerosas, incluyendo las células del cáncer de mama. En algunos experimentos de laboratorio en animales se ha observado una inhibición del nivel nocturno de melatonina cuando los animales fueron expuestos a campos tanto magnéticos como eléctricos. Estas observaciones llevaron a la hipótesis de que la exposición a los CEM podría reducir la melatonina y debilitar las defensas del cuerpo contra el cáncer.

Muchos estudios clínicos en voluntarios humanos hasta la fecha han examinado si los varios niveles y tipos de exposición a campos magnéticos afectan los niveles de melatonina en la sangre. La exposición nocturna de voluntarios humanos a los CEM de frecuencia industrial, en condiciones controladas de laboratorio, no tuvo efecto aparente en la melatonina. Algunos estudios de personas expuestas a los CEM en el lugar de trabajo o en la vivienda sí señalan evidencia de una pequeña disminución de melatonina. No se ha definido claramente si las reducciones de melatonina que se han señalado bajo condiciones ambientales, se relacionan con la exposición a los CEM o con otros factores.

P ¿Cuáles son los efectos de los CEM que se han señalado en los estudios celulares de laboratorio?

R A través de los años, los científicos han realizado más de 1,000 estudios de laboratorio para investigar los posibles efectos biológicos de las exposiciones a los CEM. La mayoría han sido estudios *in vitro*; es decir, estudios en células aisladas de animales y plantas, o en componentes celulares como las membranas plasmáticas. Otros estudios en animales involucraron principalmente ratas y ratones. Por lo general, esos estudios no demuestran un efecto coherente de exposición a los CEM.

La mayoría de los estudios *in vitro* han usado campos magnéticos de 1,000 mG (100 μ T) o más; estas exposiciones mucho exceden las exposiciones cotidianas del ser humano. En muchos casos, cuando un laboratorio ha señalado efectos celulares por exposición a los CEM, otros laboratorios no han podido reproducir esos hallazgos. Para que dichos resultados investigativos sean aceptados como válidos por los científicos, deben poder duplicarse – es decir, científicos en otros laboratorios deben poder repetir el experimento y obtener resultados similares. Los estudios celulares han investigado los posibles efectos de los CEM en la proliferación y diferenciación de células, la expresión genética, la actividad enzimática, la melatonina y el ADN. Los científicos que han revisado el material publicado de las investigaciones de los CEM, encontraron que por lo general, los estudios celulares proporcionan poca evidencia convincente de los efectos de los CEM a niveles ambientales.

P ¿Se han señalado efectos de los CEM en los estudios de laboratorio en animales?

R Los investigadores han publicado más de 30 informes detallados de estudios de exposición a los CEM, tanto a largo plazo como a corto plazo, en animales de laboratorio (bioensayos). Los bioensayos a largo plazo constituyen un grupo importante de estudios en la investigación de los CEM. Se ha comprobado muchas veces que dichos estudios pueden pronosticar la carcinogenicidad de las sustancias químicas, agentes físicos y otros agentes que se creen ser cancerígenos. En los estudios de los CEM, grupos grandes de ratones y ratas fueron continuamente expuestos a los CEM durante dos años o más y luego se hizo la evaluación para ver si habían contraído un cáncer. El NTP (<http://ntp-server.niehs.nih.gov/>) tiene una enorme base de datos históricos para cientos de agentes físicos y químicos que se evaluaron usando este modelo. Los bioensayos a largo plazo examinaron la leucemia, el cáncer de cerebro y el cáncer de mama – las enfermedades que algunos estudios biológicos habían asociado con la exposición a los CEM (véanse las páginas 18–26).

Con los bioensayos en animales, se han usado diferentes métodos para evaluar los efectos de la exposición a los CEM. Para saber si los CEM podrían provocar el cáncer después de ocurrir una lesión genética, algunos estudios a largo plazo usaron iniciadores de cáncer, como la luz en el ultravioleta, la radiación o ciertas sustancias químicas que se sabe causan lesiones genéticas. Los investigadores compararon grupos de animales tratados con iniciadores de cáncer con grupos tratados con los iniciadores de cáncer y luego expuestos a los CEM, para ver si la exposición a los CEM provocaba el crecimiento canceroso (modelo iniciación-provocación). Otros experimentos estudiaron el potencial de los CEM en la provocación del cáncer, usando ratones con predisposición al cáncer porque ya tenían defectos en los genes que controlan el cáncer.

La leucemia

Se han completado 15 estudios de leucemia en animales. La mayoría realizó pruebas para determinar los efectos de la exposición a campos magnéticos de frecuencia industrial (60 Hz) usando roedores. Los resultados de dichos estudios

Estudios de leucemia en animales: estudios a largo plazo de exposición continua, con duración de dos años o más

Primer autor	Sexo/especie	Exposición/números de animales	Resultados
Babbitt (U.S.)	hembras, ratones	14,000 mG, 190 ó 380 ratones por grupo; algunos grupos tratados con radiación ionizante	Ningún efecto
Boorman (U.S.)	hembras y machos, ratas	20 a 10,000 mG, 100 por grupo	Ningún efecto
McCormick (U.S.)	hembras y machos, ratones	20 a 10,000 mG, 100 por grupo	Ningún efecto
Mandeville (Canadá)	hembras, ratas	20 a 20,000 mG, 50 por grupo; exposición en útero	Ningún efecto
Yasui (Japón)	hembras y machos, ratas	5,000 a 50,000 mG, 50 por grupo	Ningún efecto

10 miligaussios (mG) = 1 microtesla (μ T) = 0.001 militesla (mT)

fueron mayormente negativos. El estudio Babbitt evaluó los subtipos de leucemia. Los datos no apoyan los hallazgos epidemiológicos de leucemia por exposición a los CEM. Muchos científicos creen que la ausencia de efectos en estos estudios de leucemia en el laboratorio, debilita significativamente el supuesto de que los CEM son la causa de la leucemia.

El cáncer de mama

Los investigadores en Ucrania, Alemania, Suecia y Estados Unidos han usado modelos de iniciación-provocación para investigar si la exposición a los CEM provoca el cáncer de mama en ratas.

Los resultados de estos estudios son mixtos; los estudios de Alemania mostraron algunos efectos pero los estudios de Suecia y Estados Unidos no mostraron ninguno. Los estudios de Alemania señalaron efectos con respecto a la cantidad de tumores y el volumen de los tumores. Un bioensayo a largo plazo por el Programa Nacional de Toxicología de Estados Unidos, realizado sin el uso de otras sustancias iniciadoras de cáncer, no mostró efecto alguno de la exposición a los CEM en el desarrollo de tumores mamarios en ratas y ratones.

La explicación por la diferencia observada entre estos estudios no es inmediatamente aparente. Dentro de las limitaciones del modelo experimental de carcinogénesis mamaria en roedores, no fue posible llegar a una conclusión con respecto al efecto provocador de los CEM en el cáncer de mama inducido químicamente.

Otras formas de cáncer

Se han realizado pruebas de los efectos de los CEM en el cáncer de piel, cáncer de hígado y cáncer de cerebro, usando tanto los modelos de iniciación-provocación como los bioensayos a largo plazo sin iniciación. Todos fueron negativos.

Se señalaron tres estudios positivos para un modelo de coprovocación de cáncer de piel en ratones. Los ratones fueron expuestos a los CEM más las sustancias químicas cancerígenas después de que el cáncer ya se había iniciado. El mismo grupo investigativo, así como otro laboratorio independiente, no pudo reproducir estos resultados en experimentos subsiguientes.

Efectos aparte del cáncer

Muchos estudios en animales han investigado si los CEM pueden causar problemas de salud aparte del cáncer. Los investigadores han examinado muchos puntos terminales, incluyendo anomalías congénitas, función del sistema inmunológico, reproducción, comportamiento y aprendizaje. En general, los estudios en animales no apoyan ningún efecto de los CEM en puntos terminales que no sea el cáncer.

P ¿Puede la exposición a los CEM lesionar el ADN?

R Varios estudios han tratado de determinar si los CEM tienen un potencial genotóxico, es decir, si la exposición a los CEM puede alterar el material genético de los organismos vivos. Esta pregunta es importante porque los agentes genotóxicos con frecuencia también causan cáncer o anomalías congénitas. Se han realizado estudios de genotoxicidad en bacterias, moscas de la fruta y algunos en ratas y ratones. Se han señalado casi 100 estudios de la genotoxicidad de los CEM. La mayoría de la evidencia sugiere que la exposición a los CEM no es genotóxica. A base de los experimentos celulares, algunos investigadores han sugerido que la exposición a los CEM podría inhibir la capacidad de la célula en reparar lesiones normales del ADN, pero esa idea continúa especulativa debido a la ausencia de genotoxicidad observada en los estudios de los CEM en animales.

4

Los CEM en su entorno

Este capítulo trata de las exposiciones típicas a los campos magnéticos en los entornos del hogar y del trabajo, e identifica a las fuentes comunes de los CEM, así como las intensidades de los campos que se asocian con estas fuentes.

P ¿Cómo se define la exposición a los CEM?

R Los científicos todavía no están seguros sobre la mejor manera de definir la “exposición” porque los experimentos aún no han demostrado qué aspecto del campo, si hubiera, podría ser responsable de los efectos biológicos señalados. Algunos aspectos importantes de la exposición podrían ser: la intensidad máxima, la intensidad promedio, o la cantidad de tiempo en que se está expuesto por encima de cierta línea base. La medida que más se usa para medir la exposición a los CEM es el promedio ponderado a través del tiempo del campo magnético (véanse los comentarios en la página 17).

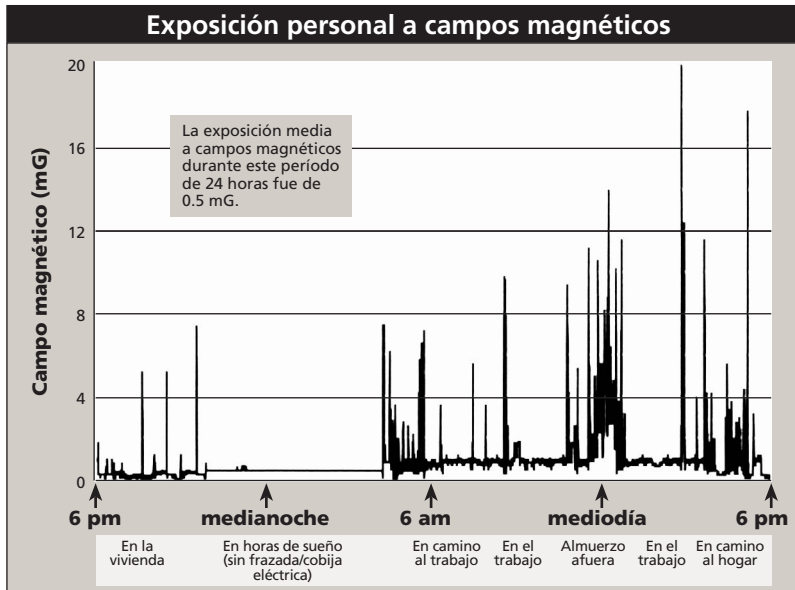
P ¿Cómo se mide la exposición a los CEM?

R Hoy en día, existen varios tipos de medidores de exposición personal. Estos registran, automáticamente, el campo magnético a medida que fluctúa con el tiempo. Para determinar la exposición a los CEM de una persona, se coloca el medidor de exposición personal en el cinturón o se coloca lo más cerca posible a la persona durante el transcurso del día o turno laboral.

Los CEM también se pueden medir usando medidores de inspección o “gausímetros”. Éstos miden los niveles de los CEM en un lugar dado y en un momento dado. Estas mediciones no reflejan, necesariamente, una exposición personal a los CEM porque no siempre se toman a la distancia en que la persona típicamente se encontraría de la fuente de los CEM. Las mediciones no siempre se toman en un lugar durante el mismo período de tiempo en que la persona normalmente estaría ahí. Esas “mediciones puntuales” tampoco capturan las fluctuaciones del campo a través del tiempo, lo cual podría ser significativo.

P ¿Cuáles son algunas de las exposiciones típicas?

R El cuadro a continuación es un ejemplo de datos recopilados con un medidor de exposición personal.



En el ejemplo dado arriba, el campo magnético fue medido cada 1.5 segundos durante un período de 24 horas. Para esta persona, la exposición en el hogar era muy baja. Las máximas esporádicas (exposición corta a campos elevados) ocurrieron cuando esa persona estaba manejando su automóvil o caminando debajo de las líneas de energía eléctrica o por encima de líneas de energía eléctrica enterradas o cuando estaba cerca de algún electrodoméstico en el hogar o equipo eléctrico en el trabajo.

Varios estudios han usado medidores de exposición personal para medir la exposición a los campos magnéticos en diferentes entornos. Estos estudios tienden a demostrar que los aparatos eléctricos y el alambreado de los edificios contribuyen a la exposición residencial de la mayoría de las personas. La gente que vive cerca de las líneas eléctricas de alta tensión, que llevan gran cantidad de corriente, parecen tener una exposición global más elevada. Según se muestra en la página 36, existe considerable variación entre unas viviendas y otras.

P ¿Cuáles son las exposiciones personales típicas para personas que viven en Estados Unidos?

R La mayoría de las personas que vive en Estados Unidos está expuesta a campos magnéticos que promedian menos de 2 miligaussios (mG), aunque las exposiciones individuales varían.

El cuadro a continuación muestra la exposición promedio estimada del campo magnético para la población estadounidense, conforme a un estudio solicitado por el gobierno de Estados Unidos como parte del Programa para la investigación y disseminación de información pública sobre los CEM o “EMF RAPID” (véase la página 56). Este estudio midió la exposición a campos magnéticos de unas 1,000 personas de todas las edades, seleccionadas aleatoriamente entre la población del país. Los participantes se pusieron o portaron un pequeño medidor de exposición personal y mantuvieron un diario de sus actividades tanto en el hogar como fuera del hogar. Los valores de los campos magnéticos se registraron automáticamente dos veces por segundo durante 24 horas. El estudio señaló que la exposición a los campos magnéticos es similar en diferentes regiones del país y similar para hombres y mujeres.

Estimación de la exposición promedio a campos magnéticos de la población estadounidense

Promedio de los campos en 24 horas (mG)	Población expuesta (%)	95% intervalo de confianza (%)	Personas expuestas* (en millones)
> 0.5	76.3	73.8–78.9	197–211
> 1	43.6	40.9–46.5	109–124
> 2	14.3	11.8–17.3	31.5–46.2
> 3	6.3	4.7–8.5	12.5–22.7
> 4	3.6	2.5–5.2	6.7–13.9
> 5	2.42	1.65–3.55	4.4–9.5
> 7.5	0.58	0.29–1.16	0.77–3.1
> 10	0.46	0.20–1.05	0.53–2.8
> 15	0.17	0.035–0.83	0.09–2.2

*Basado en una población de 267 millones. Este cuadro resume algunos de los resultados de un estudio que usó como muestra unas 1,000 personas en Estados Unidos. En la primera línea, por ejemplo, encontramos que un 76.3% de la población de muestra tuvo una exposición promedio durante 24 horas de más de 0.5 mG. Suponiendo que la muestra fue aleatoria, podemos usar la estadística para decir que tenemos un 95% de confianza de que el porcentaje de la población estadounidense en general que quedó expuesta a más de 0.5 mG se encuentra entre 73.8% y 78.9%.

Fuente: Zaffanella, 1993.

El cuadro a continuación muestra el promedio de los campos magnéticos experimentados durante diferentes tipos de actividades. En general, los campos magnéticos eran mayores en el trabajo que en el hogar.

Estimación de la exposición promedio a campos magnéticos de la población estadounidense para varias actividades					
Promedio de los campos (mG)	Población expuesta (%)				
	En la vivienda	En la cama	En el trabajo	En la escuela	Al viajar
> 0.5	69	48	81	63	87
> 1	38	30	49	25	48
> 2	14	14	20	3.5	13
> 3	7.8	7.2	13	1.6	4.1
> 4	4.7	4.7	8.0	< 1	1.5
> 5	3.5	3.7	4.6		1.0
> 7.5	1.2	1.6	2.5		0.5
> 10	0.9	0.8	1.3		< 0.2
> 15	0.1	0.1	0.9		

Fuente: Zaffanella, 1993.

P ¿Qué niveles de CEM se encuentran en los entornos comunes?

R Las exposiciones a los campos magnéticos pueden variar enormemente de un lugar a otro en cualquier tipo de entorno. Los datos que se muestran en el cuadro a continuación son una mediana de las medidas que se tomaron en cuatro lugares diferentes para cada categoría de entorno.

Exposiciones a los CEM en entornos comunes					
Campos magnéticos medidos en miligaussios (mG)					
Entorno	Mediana* de exposición	Quinto percentil superior	Entorno	Mediana* de exposición	Quinto percentil superior
EDIFICIO DE OFICINAS			TALLER MECÁNICO		
Personal de apoyo	0.6	3.7	Mecánico	0.4	6.0
Profesional	0.5	2.6	Soldador	1.1	24.6
Mantenimiento	0.6	3.8	Ingeniero	1.0	5.1
Visitante	0.6	2.1	Ensamblador	0.5	6.4
ESCUELA			Personal de oficina	0.7	4.7
Profesor/a	0.6	3.3	TIENDA DE ABARROTOS		
Alumno/a	0.5	2.9	Cajero/a	2.7	11.9
Conserje	1.0	4.9	Carnicero	2.4	12.8
Personal administrativo	1.3	6.9	Personal de oficina	2.1	7.1
HOSPITAL			Cliente	1.1	7.7
Paciente	0.6	3.6			
Personal médico	0.8	5.6			
Visitante	0.6	2.4			
Mantenimiento	0.6	5.9			

*La mediana de cuatro medidas. Para este cuadro, la mediana es el promedio de las dos medidas del medio.
Fuente: National Institute of Occupational Safety and Health—NIOSH.

P ¿Qué niveles de CEM se encuentran en una vivienda?

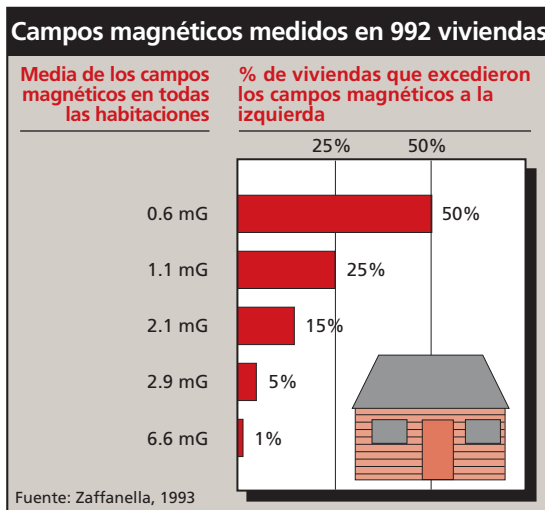
R Campos eléctricos

En general, los campos eléctricos de las viviendas fluctúan entre 0 y 10 voltios por metro. Pueden ser cientos o miles o aun millones de veces más débiles que los que se encuentran afuera, cerca de las líneas de energía eléctrica. Los campos eléctricos directamente debajo de las líneas de energía eléctrica pueden fluctuar entre unos pocos voltios por metro para algunas líneas de distribución eléctrica y varios miles de voltios por metro para las líneas de alimentación de tensión extra alta. Los campos eléctricos de las líneas de energía eléctrica pierden la fuerza rápidamente con la distancia y con las paredes y los techos de los edificios.

Campos magnéticos

La mayoría de los materiales no puede bloquear los campos magnéticos. Los campos magnéticos que se encuentran en las viviendas fluctúan enormemente. Los campos magnéticos pierden su fuerza rápidamente al alejarse uno de la fuente.

La gráfica a continuación resume los datos de un estudio realizado por el EPRI en el cual se tomaron mediciones puntuales de los campos magnéticos en el centro de las habitaciones de 992 viviendas de todas partes de Estados Unidos. La mitad de las viviendas estudiadas



tuvieron mediciones de campos magnéticos de 0.6 mG o menos, cuando se calculó el promedio de las mediciones tomadas en todas las habitaciones de cada vivienda (la media del campo magnético de todas las habitaciones). La media del campo magnético de todas las habitaciones de todas las viviendas estudiadas fue de 0.9 mG. Se tomaron las mediciones lejos de los electrodomésticos y

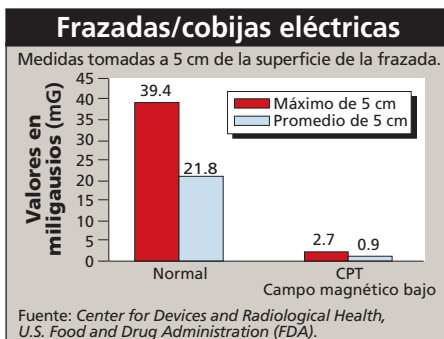
éstas reflejan principalmente los campos del alambrado de la vivienda y de las líneas de energía eléctrica de afuera.

Si usted quisiera comparar la información en esta gráfica con las mediciones tomadas en su propio hogar, recuerde que esta gráfica muestra promedios de las mediciones tomadas en todas las viviendas y no la medición máxima que se encontró en cada vivienda.

P ¿Cuáles son los niveles de los CEM cerca de los electrodomésticos?

R Los campos magnéticos cerca de los electrodomésticos, con frecuencia son mucho más intensos que los campos magnéticos de otras fuentes, incluyendo los campos directamente debajo de las líneas de energía eléctrica. Los campos emitidos por los electrodomésticos pierden su fuerza con la distancia más rápidamente que los campos de las líneas de energía eléctrica.

El cuadro en las páginas 38–40, que se basa en datos recopilados en 1992, lista los niveles de los CEM generados por los electrodomésticos más comunes. La intensidad (magnitud) del campo magnético no depende de lo grande, complejo, potente o ruidoso que sea el electrodoméstico. Los campos magnéticos cerca de los electrodomésticos grandes con frecuencia son más débiles que los campos que están cerca de los electrodomésticos pequeños. Los electrodomésticos de su vivienda pueden haber sido rediseñados desde que se recopilaron los datos de este cuadro y los CEM que producen podrían ser bastante diferentes a los niveles que se indican aquí.



La gráfica muestra los campos magnéticos producidos por las frazadas/cobijas eléctricas, incluyendo las frazadas eléctricas normales de 110 V, así como las frazadas CPT (coeficiente positivo de temperatura) de campo magnético bajo. Se midieron los campos a una distancia aproximada de 5 cm de la superficie de la frazada, la distancia de la frazada a los órganos internos del usuario. Debido al alambrado, las intensidades de los campos magnéticos varían de un punto a otro en la frazada. La gráfica refleja eso y da la medida máxima así como el promedio.

Fuentes de campos magnéticos (mG)*

	Distancia de la fuente				Distancia de la fuente				
	6"	1'	2'	4'	6"	1'	2'	4'	
	(15.2 cm)	(30.4 cm)	(61 cm)	(1.21 m)	(15.2 cm)	(30.4 cm)	(61 cm)	(1.21 m)	
En la oficina					En el taller mecánico				
DEPURADORES DE AIRE					CARGADORES DE BATERÍAS				
Valor mínimo	110	20	3	–	Valor mínimo	3	2	–	–
Valor mediano	180	35	5	1	Valor mediano	30	3	–	–
Valor máximo	250	50	8	2	Valor máximo	50	4	–	–
FOTOCOPIADORAS					TALADROS				
Valor mínimo	4	2	1	–	Valor mínimo	100	20	3	–
Valor mediano	90	20	7	1	Valor mediano	150	30	4	–
Valor máximo	200	40	13	4	Valor máximo	200	40	6	–
MÁQUINAS FAX					SIERRAS MECÁNICAS				
Valor mínimo	4	–	–	–	Valor mínimo	50	9	1	–
Valor mediano	6	–	–	–	Valor mediano	200	40	5	–
Valor máximo	9	2	–	–	Valor máximo	1000	300	40	4
LÁMPARAS FLUORESCENTES					DES[A]TORNILLADORES ELÉCTRICOS (mientras que se estén cargando)				
Valor mínimo	20	–	–	–	Valor mínimo	–	–	–	–
Valor mediano	40	6	2	–	Valor mediano	–	–	–	–
Valor máximo	100	30	8	4	Valor máximo	–	–	–	–
SACAPUNTAS ELÉCTRICOS					Distancia de la fuente				
Valor mínimo	20	8	5	–	1' 2' 4'				
Valor mediano	200	70	20	2	(30.4 cm) (61 cm) (1.21 m)				
Valor máximo	300	90	30	30					
TERMINAL DE PANTALLA VÍDEO (véase la página 54) (PC con monitor a colores)**					En la sala formal o en la sala familiar:				
Valor mínimo	7	2	1	–	VENTILADORES DE TECHO				
Valor mediano	14	5	2	–	Valor mínimo	–	–	–	
Valor máximo	20	6	3	–	Valor mediano	3	–	–	
En el cuarto de baño					Valor máximo	50	6	1	
SECADORAS DE CABELLO					ACONDICIONADORES DE AIRE PARA VENTANA				
Valor mínimo	1	–	–	–	Valor mínimo	–	–	–	
Valor mediano	300	1	–	–	Valor mediano	3	1	–	
Valor máximo	700	70	10	1	Valor máximo	20	6	4	
AFEITADORAS/RASURADORAS ELÉCTRICAS					TELEVISORES A COLORES**				
Valor mínimo	4	–	–	–	Valor mínimo	–	–	–	
Valor mediano	100	20	–	–	Valor mediano	7	2	–	
Valor máximo	600	100	10	1	Valor máximo	20	8	4	

Continued

Fuentes de campos magnéticos (mG)*

	Distancia de la fuente				Distancia de la fuente				
	6"	1'	2'	4'	6"	1'	2'	4'	
	(15.2 cm)	(30.4 cm)	(61 cm)	(1.21 m)	(15.2 cm)	(30.4 cm)	(61 cm)	(1.21 m)	
En la cocina					En la cocina				
LICUADORAS					HORNOS ELÉCTRICOS				
Valor mínimo	30	5	–	–	Valor mínimo	4	1	–	–
Valor mediano	70	10	2	–	Valor mediano	9	4	–	–
Valor máximo	100	20	3	–	Valor máximo	20	5	1	–
ABRIDORES DE LATAS					ESTUFAS/COCINAS ELÉCTRICAS				
Valor mínimo	500	40	3	–	Valor mínimo	20	–	–	–
Valor mediano	600	150	20	2	Valor mediano	30	8	2	–
Valor máximo	1500	300	30	4	Valor máximo	200	30	9	6
CAFETERAS ELÉCTRICAS					REFRIGERADORES				
Valor mínimo	4	–	–	–	Valor mínimo	–	–	–	–
Valor mediano	7	–	–	–	Valor mediano	2	2	1	–
Valor máximo	10	1	–	–	Valor máximo	40	20	10	10
LAVAVAJILLAS					TOSTADORAS				
Valor mínimo	10	6	2	–	Valor mínimo	5	–	–	–
Valor mediano	20	10	4	–	Valor mediano	10	3	–	–
Valor máximo	100	30	7	1	Valor máximo	20	7	–	–
PROCESADORAS DE ALIMENTOS					En el dormitorio/la recámara				
Valor mínimo	20	5	–	–	RELOJES DIGITALES ELECTRÓNICOS****				
Valor mediano	30	6	2	–	Valor mínimo	–	–	–	–
Valor máximo	130	20	3	–	Valor mediano	1	–	–	–
TRITURADORAS DE BASURA					Valor máximo	8	2	1	–
Valor mínimo	60	8	1	–	RELOJES ANALÓGICOS				
Valor mediano	80	10	2	–	(con esfera tradicional)****				
Valor máximo	100	20	3	–	Valor mínimo	1	–	–	–
HORNOS DE MICROONDAS***					Valor mediano	15	2	–	–
Valor mínimo	100	1	1	–	Valor máximo	30	5	3	–
Valor mediano	200	4	10	2	MONITORES INFANTILES				
Valor máximo	300	200	30	20	(unidad más cercana al niño)				
MEZCLADORAS					Valor mínimo	4	–	–	–
Valor mínimo	30	5	–	–	Valor mediano	6	1	–	–
Valor mediano	100	10	1	–	Valor máximo	15	2	–	–
Valor máximo	600	100	10	–					

Continued

Fuentes de campos magnéticos (mG)*

	Distancia de la fuente				Distancia de la fuente				
	6"	1'	2'	4'	6"	1'	2'	4'	
	(15.2 cm)	(30.4 cm)	(61 cm)	(1.21 m)	(15.2 cm)	(30.4 cm)	(61 cm)	(1.21 m)	
En el cuarto de lavado y planchado					En el cuarto de lavado y planchado				
SECADORAS DE ROPA ELÉCTRICAS					CALENTADORES PORTÁTILES				
Valor mínimo	2	–	–	–	Valor mínimo	5	1	–	–
Valor mediano	3	2	–	–	Valor mediano	100	20	4	–
Valor máximo	10	3	–	–	Valor máximo	150	40	8	1
LAVADORAS DE ROPA					ASPIRADORAS				
Valor mínimo	4	1	–	–	Valor mínimo	100	20	4	–
Valor mediano	20	7	1	–	Valor mediano	300	60	10	1
Valor máximo	100	30	6	–	Valor máximo	700	200	50	10
PLANCHAS					MÁQUINAS DE COSER				
Valor mínimo	6	1	–	–	Las máquinas de coser caseras pueden producir campos magnéticos de 12 mG a la altura del pecho y de 5 mG a la altura de la cabeza. Se han medido campos magnéticos hasta de 35 mG a la altura del pecho y hasta de 215 mG a la altura de las rodillas en modelos industriales de máquinas de coser (Sobel, 1994).				
Valor mediano	8	1	–	–					
Valor máximo	20	3	–	–					

Fuente: *EMF In Your Environment*, U.S. Environmental Protection Agency, 1992.

- * Guión (–) significa que el campo magnético a esa distancia del equipo o electrodoméstico en operación no se pudo distinguir de las medidas de fondo tomadas antes de encenderse dicho equipo o electrodoméstico.
- ** Algunos electrodomésticos producen campos a frecuencia de 60 Hz o más altos. Por ejemplo, los televisores y las pantallas de las computadoras producen campos de 10,000 a 30,000 Hz (10 a 30 kHz), como también campos a 60 Hz.
- *** Los hornos de microondas producen campos de 60 Hz a varios cientos de miligaussios, pero también crean una energía de microondas dentro del horno, que se encuentra a una frecuencia mucho más alta (unos 2.45 mil millones o millardos de hercios). Estamos protegidos de los campos de las frecuencias más elevadas pero no de los campos de 60 Hz.
- **** La mayoría de los relojes electrónicos digitales tienen campos magnéticos bajos. Sin embargo, en algunos relojes analógicos, los campos magnéticos más elevados se producen por el motor que impulsa las agujas. En el cuadro anterior, los relojes están impulsados eléctricamente usando corriente alterna, al igual que todos los equipos y electrodomésticos descritos en este cuadro.

P ¿Cuáles son los niveles de los CEM que se encuentran cerca de las líneas de energía eléctrica?

R Las líneas de transmisión de energía eléctrica llevan la corriente de una estación generadora (o central/usina eléctrica) a una subcentral eléctrica. Las líneas de distribución de energía eléctrica llevan la corriente de la subcentral a las viviendas. Las líneas de transmisión y de distribución de energía eléctrica se pueden colocar en lo alto de poste en poste o se pueden enterrar. Las líneas en lo alto producen campos eléctricos y también campos magnéticos. Las líneas enterradas o subterráneas no producen campos eléctricos encima de la superficie de la tierra, pero sí pueden producir campos magnéticos encima de la superficie.

Líneas de transmisión de energía eléctrica

Los niveles típicos de los CEM para las líneas de transmisión se muestran en la gráfica de la página 43. A una distancia de 91 metros (300 pies) y durante horas de demanda eléctrica promedio, los campos magnéticos de muchas líneas pueden ser similares a los niveles típicos de fondo que se encuentran en la mayoría de las viviendas. La distancia a la que el campo magnético de las líneas pasa a ser indistinguible de los niveles típicos de fondo varía entre los diferentes tipos de líneas.

Líneas de distribución de energía eléctrica

Un voltaje típico para líneas de distribución de energía eléctrica en Norteamérica fluctúa entre 4 y 24 kilovoltios (kV). Los niveles de los campos eléctricos directamente debajo de las líneas de distribución que corren en lo alto, pueden variar desde unos pocos voltios por metro hasta 100 ó 200 voltios por metro. Los campos magnéticos directamente debajo de las líneas de distribución que corren en lo alto, típicamente fluctúan entre 10 y 20 mG para las líneas de alimentación principales y menos de 10 mG para las líneas de alimentación laterales. Esos niveles, por lo general, también se encuentran directamente encima de las líneas enterradas. Sin embargo, las intensidades máximas de los CEM pueden fluctuar considerablemente según la cantidad de corriente que la línea lleva. Se han medido intensidades máximas de campos magnéticos hasta de 70 mG directamente debajo de las líneas de distribución que corren en lo alto y hasta de 40 mG encima de las líneas enterradas.

P ¿Qué intensidad tienen los CEM generados por las subcentrales de energía eléctrica?

R Por lo general, la mayor intensidad de los CEM que rodean el exterior de la subcentral proviene de las líneas de energía eléctrica que entran y salen de la subcentral. La intensidad de los CEM generados por los equipos dentro de las subcentrales, por ejemplo, transformadores, reactores y baterías de capacitadores, disminuye rápidamente a medida que se aleja de estas fuentes. Fuera de la cerca o pared de la subcentral, los CEM producidos por los equipos de la subcentral normalmente no se pueden distinguir de los niveles de fondo.

P Los trabajadores “eléctricos” ¿suelen estar expuestos a CEM más elevados?

R La mayor parte de la información que existe sobre la exposición a los CEM ocupacionales proviene de estudios realizados en trabajadores de los servicios públicos eléctricos. Por lo tanto, es difícil comparar las exposiciones a los CEM de estos trabajadores con las de otros porque hay menos información sobre la exposición a los CEM en entornos laborales que no fueran los servicios públicos eléctricos. Los primeros estudios no usaron medidas verdaderas de la exposición a los CEM en el lugar de trabajo, sino que usaron denominaciones de puestos de trabajo para estimar la exposición a los CEM entre trabajadores “eléctricos”. Sin embargo, los estudios más recientes han incluido muchas mediciones de la exposición a los CEM.

Un informe publicado en 1994 proporciona cierta información sobre las exposiciones a los CEM de trabajadores en Los Angeles (EE.UU.) en varios trabajos relacionados con la electricidad, tanto en los servicios públicos eléctricos como en otras industrias. Los trabajadores “eléctricos” solían tener un promedio más elevado de exposición a los CEM (9.6 mG) que los trabajadores en otros tipos de trabajos (1.7 mG). Para fines de este estudio, la categoría “trabajadores eléctricos” incluyeron técnicos de ingeniería eléctrica, ingenieros eléctricos, electricistas, trabajadores en las líneas de energía eléctrica, operadores de las centrales eléctricas, trabajadores en las líneas telefónicas, reparadores de televisores y soldadores.

Intensidad típica de los CEM de las líneas de transmisión*

115 kV



Campo eléctrico (kV/m)	1.0	0.5	0.07	0.01	0.003
Media del campo magnético (mG)	29.7	6.5	1.7	0.4	0.2

230 kV



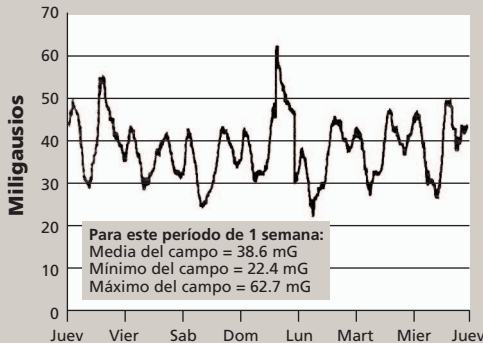
Campo eléctrico (kV/m)	2.0	1.5	0.3	0.05	0.01
Media del campo magnético (mG)	57.5	19.5	7.1	1.8	0.8

500 kV



Campo eléctrico (kV/m)	7.0	3.0	1.0	0.3	0.1
Media del campo magnético (mG)	86.7	29.4	12.6	3.2	1.4

Campo magnético de una línea de transmisión de 500 kV, medido dentro del derecho de paso a intervalos de 5 minutos durante 1 semana



Los campos eléctricos de las líneas de energía eléctrica son relativamente estables debido a que el voltaje de la línea no cambia mucho. En cambio, los campos magnéticos de la mayoría de las líneas fluctúan enormemente a medida que la corriente se adapta a los cambios de carga. Estadísticamente, se deben describir los campos magnéticos en términos de promedios, máximos, etc. Los campos magnéticos indicados arriba son las medias calculadas para la carga media anual de 1990 de 321 líneas de energía eléctrica. Durante los períodos de carga máxima (aproximadamente 1% del tiempo), los campos magnéticos generan una intensidad de aproximadamente el doble de la intensidad media indicada arriba. La gráfica a la izquierda es un ejemplo de las fluctuaciones de los campos magnéticos para una línea de transmisión de 500 kV durante una semana.

*Éstos son los CEM típicos que se encuentran a 1 m (3.3 pies) sobre la tierra y para varias distancias de las líneas de energía eléctrica en la región del noroeste de EE.UU. sobre el litoral del Pacífico. Se ofrecen como información general. Para obtener información sobre una línea específica, sírvase comunicarse con la empresa de energía eléctrica que opera esa línea.

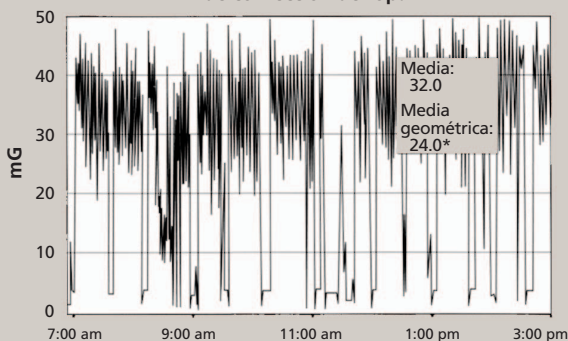
Fuente: *Bonneville Power Administration, 1994.*

P ¿Qué exposiciones a CEM serían posibles en el lugar de trabajo?

R Las figuras que se muestran a continuación son ejemplos de exposiciones a campos magnéticos, que se determinaron con medidores de exposición personal usados por cuatro trabajadores en diferentes ocupaciones. Estas mediciones demuestran la manera en que las exposiciones a los CEM varían entre un trabajador y otro. No representan, necesariamente, las exposiciones típicas a los CEM para trabajadores en estas ocupaciones.

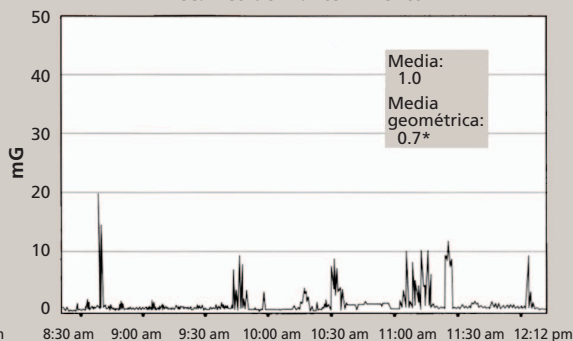
Exposiciones de trabajadores a campos magnéticos (mG)

Operadora de una máquina de coser en una fábrica de confección de ropa



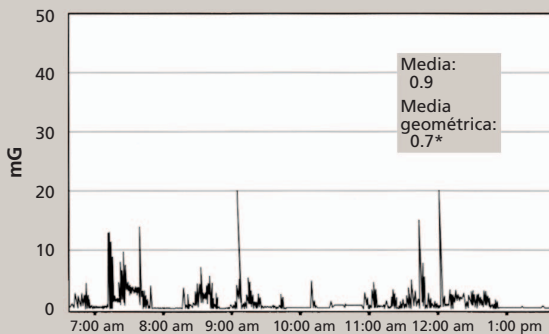
La operadora de la máquina de coser trabajó todo el día; a las 11:15 am fue a comer por una hora, y tomó dos descansos de 10 minutos a las 8:55 am y a las 2:55 pm.

Mecánico de mantenimiento



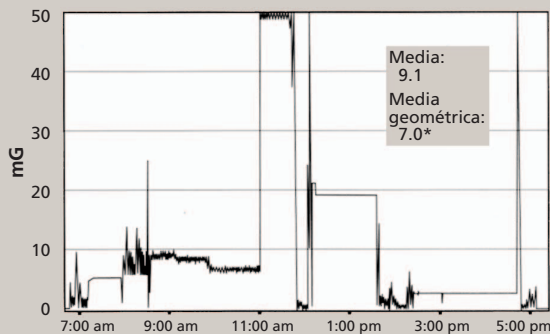
El mecánico arregló un compresor a las 9:45 am y a las 11:10 am.

Electricista



El electricista arregló el motor grande de un acondicionador de aire a las 9:10 am y a las 11:45 am.

Oficinista del gobierno



La oficinista del gobierno estaba en la fotocopiadora a las 8:00 am, en la computadora entre 11:00 am y 1:00 pm y también entre 2:30 pm y 4:30 pm.

*La media geométrica se calcula al elevar los valores al cuadrado, sumar los cuadrados y luego tomar la raíz cuadrada de la suma.

Fuente: National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) y el Departamento de Energía de Estados Unidos.

Los cuadros que se muestran a continuación y en la página 47, darán una idea general de las intensidades de los campos magnéticos para diferentes trabajos u ocupaciones y alrededor de varios tipos de equipos eléctricos. Es importante recordar que las intensidades de los CEM dependen del equipo específico que se esté usando en el lugar de trabajo. Las diferentes marcas o modelos de equipos de

Mediciones de los CEM durante un día de trabajo

Industria y ocupación	Campos magnéticos FEB medidos en mG	
	Mediana* para la ocupación	Gama para 90% de los trabajadores**
TRABAJADORES "ELÉCTRICOS" EN VARIAS INDUSTRIAS		
Ingenieros eléctricos	1.7	0.5–12.0
Electricistas en la construcción	3.1	1.6–12.1
Reparadores de televisores	4.3	0.6–8.6
Soldadores	9.5	1.4–66.1
EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS ELÉCTRICOS		
Oficinistas sin computadoras	0.5	0.2–2.0
Oficinistas con computadoras	1.2	0.5–4.5
Trabajadores en las líneas de energía eléctrica	2.5	0.5–34.8
Electricistas	5.4	0.8–34.0
Operadores en las subcentrales de distribución	7.2	1.1–36.2
Trabajadores fuera del lugar de trabajo (en el hogar, viajando, etc.)	0.9	0.3–3.7
TELECOMUNICACIONES		
Técnicos de instalación, mantenimiento y reparación	1.5	0.7–3.2
Técnicos en la oficina principal/central	2.1	0.5–8.2
Empalmadores de cables	3.2	0.7–15.0
FABRICACIÓN DE TRANSMISIONES PARA AUTOMÓVILES		
Ensambladores	0.7	0.2–4.9
Maquinistas	1.9	0.6–27.6
HOSPITALES		
Enfermeras	1.1	0.5–2.1
Técnicos de radiografías	1.5	1.0–2.2
OCUPACIONES SELECCIONADAS DE TODOS LOS SECTORES ECONÓMICOS		
Operador de maquinaria de construcción	0.5	0.1–1.2
Choferes de vehículos motorizados	1.1	0.4–2.7
Profesores de escuela	1.3	0.6–3.2
Mecánicos de automóvil	2.3	0.6–8.7
Ventas al por menor	2.3	1.0–5.5
Chapistas	3.9	0.3–48.4
Operadoras de máquinas de coser	6.8	0.9–32.0
Trabajos en silvicultura y en la industria maderera	7.6	0.6–95.5***

Fuente: *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*.

FEB = frecuencia extremadamente baja—frecuencias entre 3 y 3,000 Hz.

* La mediana es la medida del medio de una muestra dispuesta por orden de tamaño. Estas mediciones de exposición personal reflejan la magnitud mediana del campo magnético producido por las varias fuentes de los CEM y el tiempo en que el trabajador está en esos campos.

** Esta gama se encuentra entre el 5° y el 95° percentil de los promedios del día laboral para una ocupación.

*** Los motores de las sierras de cadena producen campos magnéticos intensos que no son campos puros de 60 Hz.

tipo similar pueden tener diferentes intensidades de campos magnéticos. También es importante recordar que la intensidad de un campo magnético disminuye rápidamente con la distancia.

Si tiene alguna pregunta o desea obtener más información sobre su exposición en el trabajo, comuníquese con el funcionario de seguridad de la planta, el higienista industrial u otro funcionario de seguridad local, todos los cuales son una buena fuente de información. De vez en cuando, se le solicita al NIOSH llevar a cabo evaluaciones de los peligros para la salud en los lugares de trabajo donde se cree que los CEM podrían ser un problema. Para obtener más ayuda técnica, comuníquese con NIOSH al 1-800-356-4674.

P ¿Cuáles son algunas de las fuentes típicas de los CEM en el lugar de trabajo?

R Hasta ahora, los estudios que evaluaron las exposiciones muestran que gran parte de la exposición a los CEM en el trabajo proviene de los aparatos y las herramientas eléctricas y de la potencia eléctrica en el edificio. Las personas que

trabajan cerca de los transformadores, gabinetes eléctricos, cajas de circuitos u otros equipos eléctricos de corriente intensa podrían sufrir exposiciones a campos magnéticos de 60 Hz de cientos de miligaussios o más. En las oficinas, las intensidades de los campos magnéticos generalmente son similares a las que se encuentran en las viviendas, típicamente entre 0.5 y 4.0 mG. Sin embargo, estas intensidades pueden aumentar drásticamente cerca de algunos tipos de equipos.



Mediciones puntuales de los CEM

Industria y fuentes	Campos magnéticos FEB (mG)	Otras frecuencias	Comentarios
EQUIPOS ELÉCTRICOS QUE SE USAN EN LA FABRICACIÓN DE MAQUINARIA			
Calentador de resistencia eléctrica	6,000–14,000	FMB	
Calentador por inducción	10–460	FMB intensa	
Esmeriladora manual	3,000	–	Exposición a herramientas se midió a la altura del pecho del operador.
Esmeriladora/afiladora	110	–	Exposición a herramientas se midió a la altura del pecho del operador.
Torno, prensa taladradora, etc	1–4	–	Exposición a herramientas se midió a la altura del pecho del operador.
REFINACIÓN DE ALUMINIO			
Salas de los cubilotes de fusión/fundición	3.4–30	Campo estático muy intenso	Una corriente continua altamente rectificadora (con ondas de FEB) refina el aluminio.
Salas de rectificación	300–3,300	Campo estático intenso	
FUNDICIÓN DE ACERO/ACERÍAS			
Refinería de cucharas de colada			
Horno activo	170–1,300	FUB intensa del mezclador grande magnético de la cuchara	El campo de la FEB más elevada fue en la silla del operador en la sala de control.
Horno inactivo	0.6–3.7	FUB intensa del mezclador grande magnético de la cuchara	El campo de la FEB más elevada fue en la silla del operador en la sala de control.
Unidad de electrogalvanización	2–1,100	FMB intensa	
RADIODIFUSIÓN TELEVISIVA			
Cámaras de video (en el estudio y minicámaras)	7.2–24.0	FMB	
Desgausadores de cintas de video	160–3,300	–	Medido a 30 cm de distancia.
Centros de control de iluminación	10–300	–	Medido al pasar caminando.
Estudio y salas de redacción	2–5	–	Medido al pasar caminando.
HOSPITALES			
Unidad de cuidados intensivos	0.1–220	FMB	Medido a la altura del pecho de la enfermera.
Unidad de atención post anestesia	0.1–24	FMB	
Imágenes de resonancia magnética (MRI)	0.5–280	Campo estático muy intenso, FMB y radiofrecuencia	Medido en los lugares de trabajo de los técnicos.
TRANSPORTE			
Automóviles, camionetas y camiones	0.1–125	Mayoría de las frecuencias menores de 60 Hz	Llantas con aros embutidos de acero son la fuente principal de la FEB para vehículos a gasolina/diesel.
Autobuses (con motores diesel)	0.5–146	Mayoría de las frecuencias menores de 60 Hz	
Automóviles eléctricos	0.1–81	Algunos campos estáticos elevados	
Cargadores para automóviles eléctricos	4–63	–	Medido a 61 cm del cargador.
Autobuses eléctricos	0.1–88	–	Medido a la cintura. Campos a la altura de los tobillos, 2 a 5 veces más intensos.
Vagones de pasajeros de trenes eléctricos	0.1–330	225 y 60 Hz de potencia para los trenes en EE.UU	Medido a la cintura. Campos a la altura de los tobillos, 2 a 5 veces más intensos.
Aeronaves	0.8–24.2	400 Hz en aeronaves	Medido a la altura de la cintura.
OFICINAS DEL GOBIERNO			
Lugares de trabajo con escritorios	0.1–7	–	
Escritorios cerca de un centro de energía eléctrica	18–50	–	Los máximos se deben a las impresoras láser.
Cables eléctricos en el piso	15–170	–	
Fuentes de energía en un edificio	25–1,800	–	
Abridor de latas	3,000	–	Campos medidos a 15 cm de distancia.
Ventilador de escritorio	1,000	–	Campos medidos a 15 cm de distancia.
Otros aparatos de oficina	10–200	–	

Fuente: *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), 2001.

FUB = frecuencia ultra baja—frecuencias entre 0 y menos de 3 Hz. FEB = frecuencia extremadamente baja—frecuencias entre 3 y 3,000 Hz. FMB = frecuencia muy baja—frecuencias entre 3,000 y 30,000 Hz (3 y 30 kilohercios).

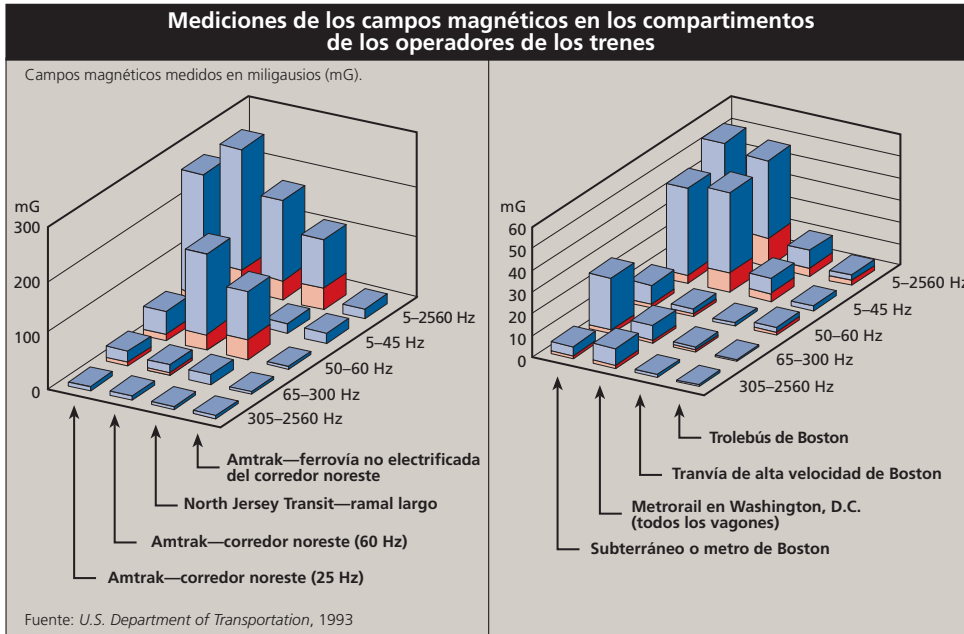
P ¿Cuál es la exposición a los CEM que ocurre cuando uno viaja?

R En un automóvil o autobús, las fuentes principales de exposición a campos magnéticos son los campos por los que uno pasa, ya sea al lado o debajo de las líneas de energía eléctrica. Las baterías de los automóviles tienen corriente continua (CC) en vez de corriente alterna (CA). Los alternadores pueden crear CEM, pero a frecuencias que no son de 60 Hz. La rotación de las llantas con aros embutidos de acero es otra fuente de CEM.

La mayoría de los trenes en Estados Unidos funcionan con motores diesel. Algunos trenes en ferrovías electrificadas operan con CA, p.ej., los trenes de pasajeros entre Washington, D.C. y New Haven, Connecticut. Las mediciones que se toman en esos trenes mediante los monitores de exposición personal han aducido que las exposiciones promedio a campos magnéticos de 60 Hz, para pasajeros y jefes de tren, puede exceder 50 mG. Un estudio patrocinado por el gobierno de Estados Unidos sobre la exposición en los sistemas de ferrovías electrificadas, encontró que las intensidades de 60 Hz de los campos magnéticos en los compartimentos de los operadores de los trenes, fluctuaban entre 0.4 mG (tranvía de alta velocidad en Boston) y 31.1 mG (sistema *North Jersey Transit*). La gráfica en la próxima página muestra mediciones promedio y máximas de campos magnéticos en los compartimentos de varios sistemas de ferrovías electrificadas. Eso demuestra que 60 Hz es sólo una de varias frecuencias electromagnéticas a que están expuestos los operadores de los trenes.

Los trabajadores que mantienen las vías de las ferrovías electrificadas, que se encuentran principalmente en el noreste de Estados Unidos, también sufren de exposición a campos magnéticos elevados de 25 Hz y 60 Hz. Mediciones tomadas por el NIOSH muestran que el promedio de las exposiciones típicas diarias fluctúa entre 3 y 18 mG, dependiendo de la frecuencia con que los trenes pasan por el lugar donde están trabajando.

En Estados Unidos, los sistemas de tránsito rápido y de vía estrecha, como el subterráneo o metro de Washington, D.C. y el sistema BART (*Bay Area Rapid Transit*) de San Francisco, corren con electricidad de CC. Estos trenes a CC contienen equipos que producen campos de CA. Por ejemplo, se han medido zonas de campos magnéticos de CA intensa en el metro o subterráneo de Washington, cerca del piso, durante el frenado y la aceleración - se supone que provienen de equipos situados debajo del piso de los vagones.



Estas gráficas demuestran que la frecuencia de 60 Hz es sólo una de varias frecuencias electromagnéticas a que quedan expuestos los operadores de los trenes. La exposición máxima es la parte superior de la porción azul (superior) de la barra; el promedio de las exposiciones es la parte superior de la porción roja (inferior).

P ¿Cómo puedo saber la intensidad de los CEM donde vivo y trabajo?

R Todos los cuadros que se presentan en este capítulo, le pueden dar una idea general de las intensidades de los campos magnéticos en su vivienda, en diferentes ocupaciones y alrededor de varios tipos de equipos eléctricos. Para obtener información sobre los CEM de una línea de energía eléctrica en particular, comuníquese con la empresa de energía eléctrica que controla la línea. Algunas de estas empresas realizarán mediciones de los CEM en su vivienda.

Usted puede tomar sus propias mediciones de los CEM, con un medidor de campos magnéticos. Para que una medición puntual proporcione una estimación útil de su exposición a los CEM, se debe tomar a la hora del día y en el lugar en que usted normalmente estaría cerca del equipo de que se trate. Recuerde que la intensidad de un campo magnético baja rápidamente con la distancia.

Técnicos de empresas privadas cobrarán una tarifa para realizar mediciones de los CEM. En la Internet, busque bajo “*EMF meters*” (medidores de CEM) o “*EMF measurement*” (mediciones de CEM). Averigüe la experiencia y las capacidades de las empresas comerciales ya que los gobiernos no estandarizan las mediciones de los CEM y tampoco certifican a los contratistas de medición.

En el trabajo, comuníquese con el funcionario de seguridad de la planta, un higienista industrial u otro funcionario de seguridad local, todos los cuales son una buena fuente de información. De vez en cuando, el NIOSH realiza evaluaciones en los lugares de trabajo donde se cree que los CEM podrían ser una preocupación. Para obtener más ayuda técnica, comuníquese con NIOSH al 1-800-356-4674.

P ¿Cuánto contribuyen las computadoras a mi exposición a CEM?

R Las computadoras personales o PC en sí, no producen casi ningún CEM. Sin embargo, la terminal de pantalla video (TPV) o el monitor de la computadora, causa cierta exposición a campos magnéticos con excepción del nuevo diseño de monitores planos. Los TPV tradicionales que contienen tubos de rayos catódicos



usan campos magnéticos para producir la imagen en la pantalla, y cierta emisión de dichos campos magnéticos es inevitable. A diferencia de casi todos los demás electrodomésticos que producen predominantemente campos magnéticos de 60 Hz, los TPV emiten campos magnéticos en las frecuencias extremadamente baja (FEB) y muy baja (FMB) (véase la página 9). Se han diseñado muchos de los TPV nuevos para que haya una emisión mínima de campos magnéticos y los que se han identificado como que están “en cumplimiento con TCO’99” satisfacen la norma para emisiones bajas (véase la página 54).

P ¿Qué se puede hacer para limitar la exposición a los CEM?

R La exposición personal a los CEM depende de tres cosas: la intensidad de las fuentes de los campos magnéticos en su entorno, su distancia de dichas fuentes, y el tiempo que usted está en esos campos.

Si usted está preocupado por la exposición a los CEM, el primer paso deberá ser averiguar dónde están las fuentes principales de los CEM y alejarse o limitar el tiempo en que esté cerca de las mismas. Los campos magnéticos de los electrodomésticos disminuyen drásticamente a más o menos un metro de distancia de la fuente. En muchos casos, con sólo cambiar la posición de una cama, un sillón o un área de trabajo para aumentar la distancia de un panel eléctrico o de alguna otra fuente de CEM, usted puede reducir su exposición.

Otra manera de reducir su exposición a los CEM, es usar equipo diseñado para emitir CEM relativamente bajos. Algunas veces, el alambrado eléctrico de una vivienda o edificio puede ser la fuente de una exposición a campos magnéticos intensos. Un alambrado incorrectamente instalado es una fuente común de campos magnéticos más intensos que de costumbre. Además de que vale la pena corregir problemas con el alambrado por razones de seguridad.

El NIEHS en su informe al Congreso de Estados Unidos en 1999, sugirió que la industria de las centrales eléctricas continúe con su práctica actual de colocar las líneas de energía eléctrica para que se reduzcan las exposiciones a los CEM.

Existen otras acciones aún más costosas para reducir la exposición, por ejemplo, enterrar las líneas de energía eléctrica, mudarse a otra vivienda, o restringir el uso de ciertas oficinas. Debido a que los científicos todavía están debatiendo el tema de la peligrosidad de los CEM para la salud, no está claro si se justifican los costos de dichas medidas. Algunas medidas para reducir los CEM podrían crear otros problemas. Por ejemplo, la compactación de las líneas de energía eléctrica reduce los CEM, pero aumenta el peligro de la electrocución accidental de los trabajadores en dichas líneas.

A estas alturas, nadie está seguro de los aspectos, si los hubiera, que se deberían reducir de la exposición a los campos magnéticos. Las investigaciones futuras quizás indiquen que las medidas de reducción de los CEM conforme al entendimiento limitado que tenemos hoy en día, son inadecuadas o irrelevantes. No se debería tomar ninguna medida o acción para reducir la exposición a los CEM si eso aumenta el riesgo de otro peligro de seguridad conocido.

5

Normas sobre la exposición a los CEM

Este capítulo describe las normas y directrices establecidas por las organizaciones de seguridad estatales, nacionales e internacionales para algunas de las fuentes de los CEM y la exposición a éstos.

P ¿Existen normas de exposición para los CEM de 60 Hz?

R En Estados Unidos, no existen normas federales que limiten la exposición ocupacional o residencial a los CEM de 60 Hz.

Por lo menos seis estados han establecido normas para los campos eléctricos producidos por las líneas de transmisión; dos de éstos también tienen normas para los campos magnéticos (véase el cuadro más adelante). En la mayoría de los casos, los campos máximos que cada estado permite son los campos máximos producidos por las líneas de energía eléctrica existentes durante condiciones de carga máxima. Algunos estados también limitan la intensidad del campo eléctrico en el cruce de las calles para asegurarse de que la corriente eléctrica inducida a grandes objetos metálicos, como camiones y autobuses, no represente un peligro de electrochoques.

Normas y directivas estatales para líneas de transmisión de energía eléctrica

Estado	Campos eléctricos		Campos magnéticos	
	En el derecho de paso*	Al borde del derecho de paso	En el derecho de paso	Al borde del derecho de paso
Florida	8 kV/m ^a 10 kV/m ^b	2 kV/m	—	150 mG ^a (carga máx.) 200 mG ^b (carga máx.) 250 mG ^c (carga máx.)
Minnesota	8 kV/m	—	—	—
Montana	7 kV/m ^d	1 kV/m ^e	—	—
Nueva Jersey	—	3 kV/m	—	—
Nueva York	11.8 kV/m 11.0 kV/m ^f 7.0 kV/m ^d	1.6 kV/m	—	200 mG (carga máx.)
Oregon	9 kV/m	—	—	—

*En el caso de la norma de Florida, se incluyen ciertas zonas adicionales que lindan con el derecho de paso. kV/m = kilovoltios por metro. 1 kilovoltio = 1,000 voltios. ^apara líneas de 69 a 230 kV. ^bpara líneas de 500 kV. ^cpara líneas de 500 kV en ciertos derechos de paso existentes. ^dla máxima al cruzar las carreteras. ^eel terrateniente puede renunciar a esto. ^fla máxima para cruzar caminos de propiedad privada.

Dos organizaciones han desarrollado directrices voluntarias para la exposición ocupacional a los CEM. La intención de estas directrices es prevenir efectos como las corrientes inducidas en células o estimulación de neuronas, que se sabe ocurren a magnitudes elevadas, mucho más elevadas (en exceso de 1000 veces) que los niveles de los CEM que se encuentran típicamente en entornos ocupacionales y residenciales. Estas directrices se resumen en los cuadros a la derecha.

La ICNIRP concluyó que los datos disponibles con respecto a posibles efectos a largo plazo – como un mayor riesgo de contraer cáncer – eran insuficientes como para proporcionar una base sobre la que se podrían establecer restricciones de exposición.

La ACGIH publica “valores limítrofes de umbral” (VLU) para varios agentes físicos. Los VLU de los CEM de 60 Hz que se muestran en el cuadro, se han identificado como indicadores para controlar la exposición; no pretenden demarcar niveles seguros o peligrosos.

Directrices de la ICNIRP sobre la exposición a los CEM

Exposición (60 Hz)	Campo eléctrico	Campo magnético
Ocupacional	8.3 kV/m	4.2 G (4,200 mG)
Público en general	4.2 kV/m	0.833 G (833 mG)

La Comisión Internacional para Protección contra la Radiación Ionizante (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection—ICNIRP*) es una organización de 15,000 científicos de 40 países quienes se especializan en la protección contra la radiación.

Fuente: ICNIRP, 1998.

Valores limítrofes de umbral para la exposición ocupacional a los CEM de 60 Hz, según la ACGIH

	Campo eléctrico	Campo magnético
La exposición ocupacional no debe exceder	25 kV/m	10 G (10,000 mG)
La prudencia impone que se use ropa protectora en campos mayores de	15 kV/m	–
La exposición de trabajadores con marcapasos cardíacos no debe exceder	1 kV/m	1 G (1,000 mG)

La Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists—ACGIH*) es una organización que facilita el intercambio de información técnica para proteger la salud del trabajador. NO es una entidad reguladora del gobierno.

Fuente: ACGIH, 2001.

P ¿Los CEM afectan a las personas que usan marcapasos u otros dispositivos médicos?

R De acuerdo con la FDA de Estados Unidos, la interferencia de los CEM puede afectar a varios dispositivos médicos, incluyendo los marcapasos cardíacos y los desfibriladores implantables. La mayoría de las investigaciones sobre este tema, tratan con fuentes de frecuencias más altas, como los teléfonos celulares, radios de banda ciudadana, enlaces inalámbricos para computadoras, señales de microondas, transmisores de radio y televisión, y transmisores para bípens o buscapersonas.

Fuentes tales como los equipos de soldadura, las líneas de energía eléctrica de las centrales generadoras de electricidad, y los equipos de las ferrovías electrificadas, pueden producir CEM de frecuencia más baja, pero con suficiente potencia como para interferir con algunos modelos de marcapasos y desfibriladores. Las directrices

sobre la exposición ocupacional, desarrolladas por la ACGIH, estipulan que trabajadores con marcapasos cardíacos no deben estar expuestos a campos magnéticos de 60 Hz mayores de 1 gaussio (1000 mG) o a campos eléctricos de 60 Hz mayores de 1 kilovoltio por metro (1000 V/m) (véanse las directrices de la ACGIH arriba). Todo trabajador que se preocupa de los efectos que pudiera tener la exposición a los CEM sobre un marcapasos o desfibrilador implantable u otro dispositivo médico electrónico e implantable, debe consultar a su médico o higienista industrial.

Los implantes médicos metálicos y no electrónicos (como las articulaciones artificiales, clavos, clavijas, tornillos y placas o chapas) se pueden ver afectados por elevados campos magnéticos, como los que emanan de los dispositivos de imágenes de resonancia magnética (MRI) y equipos de refinación de aluminio; pero por lo general, no se ven afectados por campos magnéticos inferiores de casi todas las demás fuentes.

El programa MedWatch de la FDA está recopilando información sobre problemas con dispositivos médicos que se creen estar asociados con la exposición a o la interferencia de los CEM. Se solicita a toda persona que tiene un problema que se podría deber a tal interferencia que llame al 1-800-332-1088 y haga la notificación.

P ¿Qué tal los productos que hacen publicidad de que producen campos magnéticos bajos o reducidos?

R Prácticamente todo dispositivo eléctrico o electrodoméstico emite un campo eléctrico y magnético. La intensidad de los campos varía considerablemente tanto entre los diferentes tipos de dispositivos como entre fabricantes y modelos del mismo tipo de dispositivo. Algunos fabricantes de aparatos están diseñando modelos nuevos que, por lo general, tienen CEM inferiores a los modelos más antiguos. Como resultado, las palabras “de campo bajo” o “de campo reducido” pueden relacionarse a los modelos más antiguos y no necesariamente a otros fabricantes o dispositivos. En estos momentos, no existen normas o directrices nacionales o internacionales que limiten las emisiones de los CEM de los electrodomésticos.

El gobierno de Estados Unidos no ha establecido normas para los campos magnéticos de los monitores de las computadoras o terminales de pantalla video (TPV). En 1992, la Confederación de Empleados Profesionales de Suecia (TCO por sus siglas en sueco) estableció una norma recomendando límites estrictos sobre las emisiones de los CEM de los monitores de las computadoras. Los TPV sólo deben producir campos magnéticos máximos de 2 mG a una distancia de 30 cm (aproximadamente 1 pie) de la superficie delantera del monitor, y de 50 cm (aprox. 1'8") de los lados y de la parte trasera del monitor. La norma TCO'92 ha pasado a ser una norma *de facto* en la industria mundial de los TPV. Otra norma de la TCO, de 1999 y conocida como la norma TCO'99, dispone normas sobre el etiquetado o

rotulado internacional y ambiental de las computadoras personales o PC. Muchos monitores que se comercializan en Estados Unidos se han certificado como que están en cumplimiento con TCO'99 y con eso, se asegura la producción de campos magnéticos bajos.

Cuidado con los anuncios que dicen que el gobierno federal ha certificado que el equipo anunciado no produce casi ningún CEM. El gobierno federal no tiene ningún programa de certificación de esa índole para emisiones de los CEM de baja frecuencia. No obstante, el CDRH de la FDA, sí certifica equipos médicos y equipos que producen altos niveles de radiación ionizante o radiación de microondas. El CDRH tiene información sobre ciertos dispositivos, así como información general sobre los CEM que se puede solicitar, llamando al 1-888-463-6332.

P ¿Son fuentes de exposición a los CEM, los teléfonos celulares y las torres de telefonía celular?

R Las torres de telefonía celular y los teléfonos celulares emiten campos electromagnéticos de radiofrecuencia y frecuencia de microondas (véase la página 9). Éstos se encuentran a frecuencias mucho más elevadas que los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial que se asocian con la transmisión y el uso de la electricidad.

La FCC de Estados Unidos concede licencias a los sistemas que usan campos electromagnéticos de radiofrecuencia y de microondas, y asegura que las instalaciones con licencia cumplan con las normas de exposición. Información pública sobre este tema se publica (en inglés) en dos páginas de la FCC en la Internet: <http://www.fcc.gov/oet/info/documents/bulletins/#56> y <http://www.fcc.gov/oet/rfsafety/>

La FDA también proporciona información sobre teléfonos celulares en la Internet: <http://www.fda.gov/cdrh/ocd/mobilphone.html>.

6 Reseñas nacionales e internacionales sobre los CEM

Este capítulo presenta los hallazgos y las recomendaciones de las principales reseñas investigativas de los CEM, incluyendo el Programa EMF RAPID del gobierno de Estados Unidos.

P ¿Cuál es la conclusión de las entidades nacionales e internacionales sobre el impacto de la exposición a los CEM en la salud humana?

R Desde 1995, dos informes estadounidenses de gran magnitud han concluido que existe evidencia limitada entre la exposición a los CEM y un mayor riesgo de contraer leucemia, pero al considerarse toda la evidencia científica, la asociación entre la exposición a los CEM y el cáncer es débil. En 1997, la OMS llegó a la misma conclusión.

Los dos informes fueron el de la NAS en 1996, y el informe que el NIEHS presentó en 1999 al Congreso de Estados Unidos, cuando terminó el Programa para la investigación y diseminación de información pública sobre los CEM o “EMF RAPID”.

El Programa EMF RAPID de Estados Unidos

Este programa fue iniciado por el Congreso de Estados Unidos y reglamentado por ley en 1992; con este programa se propuso estudiar si la exposición a los campos magnéticos y eléctricos producidos por la generación, transmisión o uso de la energía eléctrica era un riesgo para la salud humana. Para obtener más información sobre este programa, sírvase ver la Internet: <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>.



El DOE de Estados Unidos administró el Programa EMF RAPID, pero la investigación y la evaluación de riesgos de salud fueron supervisados por el NIEHS, una dependencia de los NIH de Estados Unidos. En colaboración, el DOE y el NIEHS supervisaron más de 100 estudios en animales y estudios de telefonía celular, así como estudios de ingeniería y evaluación de exposiciones. Aunque el programa EMF RAPID no financió ningún otro estudio epidemiológico, el análisis de los muchos estudios ya realizados fue una parte importante del informe final.

La industria de las centrales eléctricas contribuyó más o menos una mitad, ó \$22.5 millones de dólares, del total de unos \$45 millones que finalmente se gastaron en la investigación de los CEM durante el transcurso del Programa EMF RAPID. El NIEHS recibió \$30.1 millones, procedentes de este programa, para investigaciones, servicios de extensión al público, administración y evaluación de los CEM a frecuencia extremadamente baja (FEB) sobre la salud. El DOE recibió aproximadamente \$15 millones, procedentes de este programa, para las investigaciones de ingeniería y la manera de atenuar los CEM. El NIEHS aportó \$14.5 millones de dólares adicionales para apoyar la investigación interna y externa, incluyendo estudios a largo plazo de toxicidad y carcinogenicidad, realizados por el NTP.

El Presidente de Estados Unidos constituyó un comité interinstitucional para proveer supervisión y apoyo administrativo del Programa EMF RAPID. El comité interinstitucional incluyó representantes del NIEHS, DOE y otras siete entidades federales con responsabilidades relacionadas con los CEM.

El Programa EMF RAPID también recibió asesoría del NEMFAC, que incluyó representantes de grupos de ciudadanos, trabajadores, servicios públicos eléctricos y la NAS, además de otros. Este comité se reunió periódicamente con el personal del DOE y del NIEHS para expresar sus puntos de vista. Las reuniones del NEMFAC fueron a puerta abierta. El Programa EMF RAPID también patrocinó la participación del público en algunas reuniones científicas. Un grupo que ampliamente representaba al público repasó todos los materiales principales de información pública producidos para este programa.

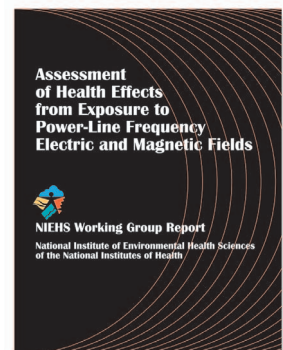
Comité interinstitucional del Programa EMF RAPID

- National Institute of Environmental Health Sciences
- Department of Energy
- Department of Defense
- Department of Transportation
- Environmental Protection Agency
- Federal Energy Regulatory Commission
- National Institute of Standards and Technology
- Occupational Safety and Health Administration
- Rural Electrification Administration

Informe del Grupo de Trabajo del NIEHS en 1998

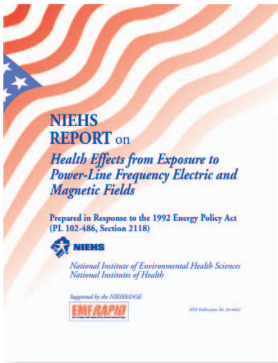
En preparación para el informe al Congreso de Estados Unidos sobre el Programa EMF RAPID y los posibles efectos de la exposición a los CEM de las líneas de energía eléctrica sobre la salud, el NIEHS, en junio de 1998, convocó a un grupo de trabajo compuesto por expertos. Durante el transcurso de nueve días, unos 30 científicos realizaron una reseña completa de los estudios sobre los CEM, incluyendo los que fueron patrocinados por el Programa EMF RAPID y otros. Las conclusiones de estos expertos proporcionaron orientación para el NIEHS al preparar su informe para el Congreso.

Mediante el uso de los criterios desarrollados por el IARC una mayoría de los miembros del grupo de trabajo concluyeron que la exposición a los CEM de frecuencia industrial es un posible carcinógeno para el ser humano.



La mayoría dijo que su opinión era “una decisión conservadora sobre la salud pública basada en la evidencia limitada de una creciente incidencia de leucemias infantiles y una creciente incidencia de la leucemia linfocítica crónica en los entornos ocupacionales.” Para estas enfermedades, el grupo de trabajo señaló que los estudios en células y en animales, no confirman ni niegan la sugerencia de los estudios epidemiológicos de que existe un riesgo. Este informe está a disposición (en inglés) en la Internet: <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>

El Informe del NIEHS presentado al Congreso al terminarse el Programa EMF RAPID



En junio de 1999, el NIEHS informó al Congreso de Estados Unidos que la evidencia científica era débil para una asociación entre los CEM y el cáncer.

Los siguientes son pasajes del Informe del NIEHS de 1999:

El NIEHS cree que la probabilidad actualmente es muy pequeña de que la exposición a los CEM de FEB realmente sea un peligro para la salud. Las asociaciones epidemiológicas débiles y la falta de apoyo de estas asociaciones por los estudios de laboratorio, proporciona solamente un apoyo científico marginal de que la exposición a este agente causa algún grado de daño.

Es débil la evidencia científica que sugiere que la exposición a los CEM de frecuencia extremadamente baja es un riesgo para la salud. La evidencia más sólida de que hay efectos sobre la salud proviene de las asociaciones observadas en poblaciones humanas con dos formas de cáncer: la leucemia infantil y la leucemia linfocítica crónica en adultos expuestos de modo ocupacional. Aunque el apoyo de los estudios individuales es débil, los estudios epidemiológicos demuestran, para algunos métodos de medir la exposición, un patrón bastante constante de un pequeño aumento en el riesgo con el aumento a la exposición que es algo más débil para la leucemia linfocítica crónica que para la leucemia infantil. Por contraste, los estudios mecanísticos y las publicaciones sobre toxicología en animales no demostraron ningún patrón constante a través de los estudios, aunque se señalaron hallazgos esporádicos de efectos biológicos (incluyendo un aumento en las formas de cáncer en animales). No se ha observado ninguna indicación de un mayor número de leucemias en animales experimentales.

El informe completo (en inglés) se encuentra en la Internet: <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>.

No se recomendó ni se tomó ninguna medida regulatoria a base del informe del NIEHS. El Dr. Kenneth Olden, director del NIEHS, informó al Congreso que, en su opinión, la conclusión al que llegó el NIEHS no fue suficiente como para justificar medidas regulatorias agresivas.

El NIEHS no recomendó que se adoptaran normas para los CEM de los electrodomésticos ni que se enterraran las líneas de energía eléctrica. En cambio, recomendó que se le proveyera al público información sobre métodos prácticos de reducir la exposición a los CEM. El NIEHS también sugirió que las empresas de energía eléctrica “continúen colocando las líneas de energía eléctrica de modo que se redujera la exposición y ... que se exploraran maneras de reducir la creación de campos magnéticos alrededor de las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica sin crear peligros nuevos.” El NIEHS propuso a los fabricantes que redujeran los campos magnéticos a un costo mínimo, pero notó que los riesgos no justificaban un rediseño caro de los electrodomésticos.

El NIEHS también propuso a las personas que estaban preocupadas por los CEM en sus viviendas, que vieran si sus viviendas estaban correctamente alambradas y conectadas a tierra, ya que un alambrado incorrecto y otras infracciones de los códigos eran fuentes comunes de campos magnéticos más elevados que de costumbre.

Informe de la Academia Nacional de Ciencias (NAS)

En octubre de 1996, un comité del NRC de la NAS, publicó su evaluación de las investigaciones realizadas sobre las posibles asociaciones entre la exposición a los CEM y el cáncer, la reproducción, el desarrollo, el aprendizaje y el comportamiento. El informe concluyó:

Según una evaluación exhaustiva de los estudios publicados y relacionados con los efectos de los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial en las células, tejidos y organismos (incluyendo el ser humano), la conclusión del comité es que la evidencia actual no muestra que la exposición a esos campos presenta un peligro para la salud humana. Específicamente, ninguna evidencia coherente y conclusiva muestra que las exposiciones a los campos eléctricos y magnéticos domiciliarios producen cáncer o efectos adversos neurocomportamentales o efectos en la reproducción o en el desarrollo.

El informe de la NAS se concentró principalmente en la asociación que pudiera existir entre la leucemia infantil y la proximidad de la vivienda del niño a las líneas de energía eléctrica. El grupo de la NAS encontró que aunque se había observado una conexión entre la exposición a los CEM y un mayor riesgo de la leucemia infantil en los estudios que sólo habían estimado la exposición a los CEM, usando el método de los códigos de cables (distancia de la vivienda a las líneas de energía eléctrica), no se había encontrado una conexión de esta índole en los estudios que habían incluido las mediciones verdaderas de los campos magnéticos al momento del estudio. El grupo solicitó que se realizaran investigaciones adicionales para poder identificar los factores inexplicados que causaron pequeños aumentos en la leucemia infantil en viviendas que estaban más cerca de las líneas de energía eléctrica.

El proyecto internacional de los CEM realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS)

El proyecto internacional de los CEM realizado por la OMS, con sede en Ginebra, Suiza, fue lanzado durante una reunión en 1996 con la presencia de representantes de 23 países. La intención del mismo era responder a las crecientes inquietudes de muchos de los estados miembros sobre los posibles efectos en la salud causados por los CEM y dirigirse al conflicto entre dichas inquietudes y los avances tecnológicos y económicos. En su carácter de consultor, el proyecto internacional de la OMS sobre los CEM ahora está en la fase de revisión de la evidencia epidemiológica y de laboratorio, identificando lagunas en el conocimiento científico, desarrollando una agenda para investigaciones futuras y desarrollando folletos y demás información pública que trata con los riesgos. El proyecto internacional de la OMS sobre los CEM fue financiado con contribuciones de gobiernos e instituciones y se espera que proporcionará una evaluación global del riesgo de los CEM para la salud. Se puede encontrar información adicional sobre este programa en la Internet: <http://www.who.int/peh-emf>.

Como parte de este proyecto, un grupo de trabajo de 45 científicos de varios países del mundo, se reunió en 1997 para examinar la evidencia de los efectos adversos de los CEM sobre la salud. El grupo informó que “en conjunto, los hallazgos de todos los estudios publicados, aducen una asociación entre la leucemia infantil y las estimaciones de los campos magnéticos procedentes de la FEB (frecuencia extremadamente baja o frecuencia industrial).”

Casi igual al informe de la NAS en 1996, este informe de la OMS notó que el vivir cerca de líneas de energía eléctrica se asocia con un riesgo de 1.5 veces mayor de contraer la leucemia infantil. Pero a diferencia del grupo de la NAS, los científicos de la OMS habían visto los resultados del estudio de 1997 del NCI sobre los CEM y la leucemia infantil (véase la página 19). Esta obra mostró de manera aun más definitiva la falta de coherencia que existe entre los resultados de los estudios que usaron los códigos de cables para estimar la exposición a los CEM y aquellos estudios que realmente midieron los campos magnéticos.



Con respecto a los efectos sobre la salud que no fueran las formas de cáncer, los científicos de la OMS informaron que los estudios epidemiológicos “no proporcionaron suficiente evidencia como para apoyar una asociación entre la exposición a los campos magnéticos de FEB y las formas de cáncer en adultos, los resultados de los embarazos o los trastornos neurocomportamentales.”

El Organismo Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

El IARC de la OMS, publica una serie de monografías que resume la evidencia científica relacionada con la carcinogenicidad potencial que se asocia con la exposición a los agentes ambientales. Un grupo científico internacional de 21 expertos de 10 países se reunieron en junio del 2001 para repasar la evidencia científica relacionada con la carcinogenicidad potencial de los CEM estáticos y de la FEB (frecuencia extremadamente baja o frecuencia industrial). Este grupo de expertos categorizó sus conclusiones sobre la carcinogenicidad a base del sistema de clasificación del IARC – un sistema que evalúa la solidez de la evidencia procedente de estudios epidemiológicos, de laboratorio (con seres humanos y células) y mecanísticos. El grupo clasificó a los CEM de frecuencia industrial como “un posible carcinógeno para el ser humano” basado en una asociación estadística bastante coherente entre el doble del riesgo de leucemia infantil y la exposición a campos magnéticos mayores de 0.4 microteslas (0.4 μ T, 4 miligaussios o 4 mG).

Por contraste, el grupo no encontró ninguna evidencia coherente que las exposiciones infantiles a los CEM se asocian con otras formas de cáncer o que las exposiciones de los adultos a los CEM se asocian con un mayor riesgo de cualquier forma de cáncer. El grupo del IARC señaló que no se han observado efectos carcinógenos coherentes como resultado de la exposición a los CEM en animales experimentales y que en la actualidad, no hay explicación científica por la asociación que se observó entre la leucemia infantil y la exposición a los CEM. Se puede obtener más información en la Internet: <http://www.iarc.fr> <http://monographs.iarc.fr>.

La Comisión Internacional para Protección contra la Radiación Ionizante (ICNIRP)

La ICNIRP publicó unas directivas de exposición para proteger contra los efectos adversos conocidos, como la estimulación de nervios y músculos por los CEM de niveles muy elevados, así como los electrochoques y quemaduras que resultan de tocar objetos que conducen electricidad (véase la página 53). En abril de 1998, la ICNIRP modificó sus directivas de exposición y caracterizó la evidencia para una asociación entre los CEM cotidianos de frecuencia industrial y el cáncer como “poco convincente”.

La Unión Europea (EU)

En 1996, un grupo consultor de la Unión Europea publicó una reseña del estado de la ciencia y las normas entre los países de la Unión Europea. Con respecto a los CEM de frecuencia industrial, los miembros del grupo dijeron de que no había ninguna evidencia clara de que la exposición a los CEM resultaba en un mayor riesgo de contraer cáncer.

Australia—Informe al Parlamento del Comité Consultivo sobre la Radiación (ARAC)

En 1997, el ARAC repasó brevemente las publicaciones científicas sobre los CEM y sugirió al Parlamento australiano que en general había insuficiente evidencia como para llegar a una conclusión firme con respecto a los posibles efectos sobre la salud de la exposición a los campos magnéticos de frecuencia industrial.

El comité también informó que “el peso de la opinión, tal como se expresa en el informe de la NAS de Estados Unidos y los resultados negativos del estudio del NCI (Linet y col., 1997) parecerían inclinar el equilibrio de probabilidades más hacia el hecho de que no hay efectos identificables en la salud.” (Véanse las páginas 19 y 59.)

Canadá—Informe de *Health Canada*

En diciembre de 1998, un grupo de trabajo compuesto por funcionarios de salud pública de *Health Canada*, la dependencia federal que administra el sistema de atención médica en Canadá, emitió una reseña de los materiales científicos publicados con respecto a los efectos de los CEM de frecuencia industrial sobre la salud. Este grupo encontró que la evidencia era insuficiente para concluir que los CEM causan un riesgo de cáncer.

El informe concluyó que aunque se pueden observar efectos de los CEM en los sistemas biológicos en un laboratorio, no se han demostrado efectos adversos de salud, a los niveles en que típicamente se encuentran expuestos los seres humanos y animales.

Con respecto a la epidemiología, los resultados de 25 años de estudio son incoherentes e inconcluyentes, comentó el grupo, además de que falta un mecanismo verosímil entre los CEM y el cáncer. *Health Canada* se comprometió a darle seguimiento a las investigaciones sobre los CEM y de reevaluar su postura a medida que información nueva pase a estar disponible.

Alemania—Ordenanza 26

El 1° de enero de 1997, Alemania pasó a ser el primer país en adoptar una regla nacional sobre las exposiciones a los CEM para el público en general. La Ordenanza 26 se aplica solamente a instalaciones como líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, tanto enterradas como en lo alto, transformadores, aparatos de conmutación y líneas en lo alto para trenes de ferrovía electrificada. Los límites de exposición a campos tanto eléctricos (5 kV/m) como magnéticos (1 gaussio) son lo suficientemente elevados como para que sea poco probable que se encuentren en la vida cotidiana normal. La ordenanza también exige que se tomen medidas de precaución según cada caso, cuando se sitúan o mejoran instalaciones eléctricas cerca de viviendas, hospitales, escuelas, guarderías infantiles y parques de juegos para niños.

Gran Bretaña—Informe de la Junta Nacional de Protección Radiológica (NRPB)

La NRPB de Gran Bretaña asesora al gobierno del Reino Unido con respecto a las normas de protección en caso de exposición a la radiación ionizante. El grupo consultivo sobre la radiación ionizante de la NRPB, periódicamente repasa los desarrollos nuevos de las investigaciones sobre los CEM e informa acerca de sus hallazgos. Los resultados de la última reseña de este grupo fueron publicados en el 2001. El informe repasó estudios epidemiológicos residenciales y ocupacionales, así como estudios publicados que se realizaron con células, en animales y en voluntarios humanos.

El grupo consultor notó que “existe cierta evidencia epidemiológica que la exposición prolongada a campos magnéticos de los niveles más elevados de la frecuencia industrial se asocia con un pequeño riesgo de leucemia en niños.” Específicamente, el análisis del grupo de la NRPB sugiere “que exposiciones a un promedio relativamente alto de 0.4 μ T [4 mG] o más se asocian con el riesgo doble de que niños menores de 15 años de edad contraerán leucemia.” El grupo recalca, sin embargo, que los experimentos de laboratorio “no han proporcionado evidencia convincente de que los campos electromagnéticos a frecuencia extremadamente baja tienen la capacidad de producir el cáncer.”

Escandinavia—Desarrollos relacionados con los CEM

En octubre de 1995, un grupo de investigadores y funcionarios del gobierno de Suecia, publicó un informe sobre la exposición a los CEM en el lugar de trabajo. Este grupo repasó los materiales científicos publicados sobre los CEM, y usando el sistema de clasificación del IARC, clasificó la exposición ocupacional a los CEM como “posiblemente carcinógeno para el ser humano”. El grupo también endosó la política del gobierno sueco emitida en 1994, de que no se necesitaba establecer límites de exposición a los CEM para el público, pero que quizás las personas deberían ejercer cierta cautela alrededor de los CEM.

En 1996, cinco dependencias del gobierno sueco explicaron con mayor detalle sus consejos de precaución acerca de los CEM. Se debería reducir la exposición a los CEM, dijeron, pero solamente cuando era práctico y sin gran inconveniencia o desembolso de dinero.

Los expertos en salud pública de Noruega, Dinamarca y Finlandia generalmente estaban de acuerdo en las reseñas que se publicaron en la década de los 1990: que si existe algún riesgo para la salud debido a los CEM, es pequeño. Reconocieron que no se puede confirmar ni negar una conexión entre los campos magnéticos y la leucemia infantil. En 1994, varios ministerios noruegos también recomendaron que se aumentara la distancia entre viviendas e instalaciones de energía eléctrica, si fuera posible hacerlo a bajo costo y sin mucha inconveniencia.

P ¿Qué otras organizaciones estadounidenses han presentado informes sobre los CEM?

R Asociación Médica Americana (AMA)

En 1995, la AMA aconsejó a sus médicos que no se había documentado científicamente ninguna asociación de riesgo para la salud con los CEM de “ocurrencia normal”, basado en una reseña de los estudios epidemiológicos y de laboratorio y los principales materiales publicados.

Sociedad Americana del Cáncer (ACS)

En 1996, la ACS emitió una reseña de 20 años de investigación epidemiológica sobre los CEM, incluyendo estudios ocupacionales y residenciales relacionados con las formas de cáncer en adultos y en niños. La sociedad notó que algunos datos apoyaban una posible relación entre la exposición a campos magnéticos, la leucemia y el cáncer de cerebro, pero que quizás no se justificarían investigaciones adicionales si los estudios siguen arrojando resultados poco claros. De interés especial es el resumen de resultados de ocho estudios sobre el riesgo de usar electrodomésticos con campos magnéticos relativamente elevados, como frazadas/cobijas eléctricas y afeitadoras/rasuradoras eléctricas. El resumen aduce que no existe evidencia convincente de que hay un mayor riesgo con el uso más frecuente o prolongado de dichos electrodomésticos.

La Sociedad Americana de Físicos (APS)

La APS Sociedad Americana de Físicos representa a miles de físicos en Estados Unidos. En respuesta a la conclusión del Grupo de Trabajo del NIEHS de que los CEM son un posible carcinógeno humano, la Junta Directiva de la APS votó en 1998, a reafirmar su opinión de 1995, de que “no existe una conexión coherente ni significativa entre el cáncer y los campos de las líneas de energía eléctrica”.

Departamento de Servicios de Salud Pública de California (CDHS)

En 1996, el CDHS inició un esfuerzo ambicioso que duraría cinco años, para evaluar el posible riesgo al público de los CEM y para ofrecer asesoría a los administradores escolares y otros que tienen que tomar decisiones. El Programa de Campos Eléctricos y Magnéticos de California es un programa de investigación, educación y ayuda técnica que trata con los posibles efectos sobre la salud de los CEM de las líneas de energía eléctrica, los electrodomésticos y de otros usos de la electricidad. La meta del programa es encontrar un método justo y razonable para tratar con los riesgos potenciales, si es que hubieran, de la exposición a los CEM. Esto se ha realizado a través de la investigación, el análisis de políticas y la educación. Su página en la Internet tiene materiales educativos sobre los CEM y temas relacionados con la salud para individuos, escuelas, dependencias gubernamentales y entidades profesionales (véase <http://www.dhs.ca.gov/ps/deodc/ehib/emf>).

P ¿Qué se puede concluir sobre los CEM en estos momentos?

R La electricidad es una parte beneficiosa de nuestras vidas cotidianas, pero toda vez que se genera, transmite o usa la electricidad, se crean campos eléctricos y magnéticos. Durante los últimos 25 años, la investigación ha tratado de ver si la exposición a los CEM de frecuencia industrial podría afectar la salud humana de modo adverso. Para la mayoría de las situaciones de salud, no existe evidencia de que las exposiciones a los CEM tienen efectos adversos. Existe cierta evidencia de los estudios epidemiológicos que la exposición a los CEM de frecuencia industrial se asocia con un mayor riesgo de la leucemia infantil. Esta asociación es difícil de interpretar debido a la falta de evidencia de laboratorio que se puede reproducir o de una explicación científica que asocia los campos magnéticos a la leucemia infantil.

Las exposiciones a los CEM son complejas y proceden de muchas fuentes en las viviendas y en los lugares de trabajo, además de las líneas de energía eléctrica. Aunque los científicos siguen debatiendo si los CEM son un riesgo para la salud, el NIEHS recomienda que se siga la educación sobre las maneras de reducir la exposición. Este folleto ha identificado algunas fuentes de los CEM y algunos pasos sencillos que se pueden tomar para limitar su exposición. Para su propia seguridad es importante que las medidas que usted toma para reducir su exposición, no aumenten otros peligros obvios como los de electrocución o incendio. En estos momentos en Estados Unidos, no existen normas federales sobre la exposición ocupacional o residencial a los CEM de 60 Hz.



Referencias

Referencias seleccionadas sobre el tema de los CEM.

Ciencia básica

Kovetz A. Electromagnetic Theory. New York: Oxford University Press (2000).

Vanderlinde J. Classical Electromagnetic Theory. New York: Wiley (1993).

Intensidades de los CEM y la exposición

Dietrich FM & Jacobs WL. Survey and Assessment of Electric and Magnetic (EMF) Public Exposure in the Transportation Environment. Report of the U. S. Department of Transportation. NTIS Document PB99-130908. Arlington, VA: National Technical Information Service (1999).

Kaune WT. Assessing human exposure to power-frequency electric and magnetic fields. Environmental Health Perspectives 101:121-133 (1993).

Kaune WT & Zaffanella L. Assessing historical exposure of children to power frequency magnetic fields. Journal of Exposure Analysis Environmental Epidemiology 4:149-170 (1994).

Tarone RE, Kaune WT, Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Boice JD & Wacholder S. Residential wire codes: Reproducibility and relation with measured magnetic fields. Occupational and Environmental Medicine 55:333-339 (1998).

U.S. Environmental Protection Agency. EMF in your environment: magnetic field measurements of everyday electrical devices. Washington, DC: Office of Radiation and Indoor Air, Radiation Studies Division, U.S. Environmental Protection Agency, Report No. 402-R-92-008 (1992).

Zaffanella L. Survey of residential magnetic field sources. Volume 1: Goals, Results and Conclusions. EPRI Report No. TR-102759. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute (EPRI), 1993;1-224.

Normas y reglamentos de los CEM

Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 7th Ed. Publication No. 0100. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2001).

- ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74:494-522 (1998).
- Swedish National Board of Occupational Safety and Health. Low-Frequency Electrical and Magnetic Fields (SNBOSH): The Precautionary Principle for National Authorities. Guidance for Decision-Makers. Solna (1996).
- U.S. Department of Transportation, F.R.A. Safety of High Speed Guided Ground Transportation Systems, Magnetic and Electric Field Testing of the Amtrak Northeast Corridor and New Jersey Coast Line Rail Systems, Volume I: Analysis. Washington, DC: Office of Research and Development (1993).

Estudios residenciales del cáncer infantil

- 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 leukemia. *British Journal of Cancer* 83:692-698 (2000).
- Coghill RW, Steward J & Philips A. Extra low frequency electric and magnetic fields in the bedplace of children diagnosed with leukemia: A case-control study. *European Journal of Cancer Prevention* 5:153-158 (1996).
- Dockerty JD, Elwood JM, Skegg DC, & Herbison GP. Electromagnetic field exposures and childhood cancers in New Zealand. *Cancer Causes and Control* 9:299-309 (1998).
- Feychting M & Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *American Journal of Epidemiology* 138:467-481 (1993).
- Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C & Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes and childhood leukemia. EMF Study Group. *Epidemiology* 11:624-634 (2000).
- Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robison LL, Kaune WT, Friedman DR, Severson RK, Haines CM, Hartsock CT, Niwa S, Wacholder S & Tarone RE. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *New England Journal of Medicine* 337:1-7 (1997).

- London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng TC & Peters JM. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *American Journal of Epidemiology* 134:923-937 (1991).
- McBride ML, Gallagher RP, Thériault G, Armstrong BG, Tamaro S, Spinelli JJ, Deadman JE, Fincham B, Robson D & Choi W. Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *American Journal of Epidemiology* 149:831-842 (1999).
- Michaelis J, Schuz J, Meinert R, Zemann E, Grigat JP, Kaatsch P, Kaletsch U, Miesner A, Brinkmann K, Kalkner W, & Karner H. Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood leukemia. *Epidemiology* 9:92-94 (1998).
- Olsen JH, Nielsen A & Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *British Medical Journal* 307:891-895 (1993).
- Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM & Tvrđik JG. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields. *American Journal of Epidemiology* 128:21-38 (1988).
- Tomenius L. 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm county. *Bioelectromagnetics* 7:191-207 (1986).
- Tynes T & Haldorsen T. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. *American Journal of Epidemiology* 145:219-226 (1997).
- UK Childhood Cancer Study Investigators. Exposure to power frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer: a case/control study. *Lancet* 354:1925-1931 (1999).
- Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Jarvinen PJ, Heikkilä KV & Koskenvuo M. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *British Medical Journal* 307:895-899 (1993).

Estudios residenciales del cáncer en adultos

- Coleman MP, Bell CM, Taylor HL & Primie-Zakelj M. Leukemia and residence near electricity transmission equipment: a case-control study. *British Journal of Cancer* 60:793-798 (1989).
- Feychting M & Ahlbom A. Magnetic fields, leukemia, and central nervous system tumors in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology* 5:501-509 (1994).
- Li CY, Theriault G & Lin RS. Residential exposure to 60-hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. *Epidemiology* 8:25-30 (1997).
- McDowall ME. Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities. *British Journal of Cancer* 53:271-279 (1986).
- Severson RK, Stevens RG, Kaune WT, Thomas DB, Heuser L, Davis S & Sever LE. Acute nonlymphocytic leukemia and residential exposure to power frequency magnetic fields. *American Journal of Epidemiology* 128:10-20 (1988).
- Wrensch M, Yost M, Miike R, Lee G & Touchstone J. Adult glioma in relation to residential power-frequency electromagnetic field exposures in the San Francisco Bay area. *Epidemiology* 10:523-527 (1999).

Youngson JH, Clayden AD, Myers A & Cartwright RA. A case/control study of adult haematological malignancies in relation to overhead powerlines. *British Journal of Cancer* 63:977-985 (1991).

Estudios ocupacionales sobre el cáncer y los CEM

Coogan PF, Clapp RW, Newcomb PA, Wenzl TB, Bogdan G, Mittendorf R, Baron JA & Longnecker MP. Occupational exposure to 60-Hertz magnetic fields and risk of breast cancer in women. *Epidemiology* 7:459-464 (1996).

Floderus B, Persson T, Stenlund C, Wennberg A, Ost A, & Knave B. Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden. *Cancer Causes Control* 4:465-476 (1993).

Floderus B, Tornqvist S, & Stenlund C. Incidence of selected cancers in Swedish railway workers, 1961-79. *Cancer Causes Control* 5:189-194 (1994).

Sorahan T, Nichols L, van Tongeren M, & Harrington JM. Occupational exposure to magnetic fields relative to mortality from brain tumours: updated and revised findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-97. *Occupational and Environmental Medicine* 58(10):626-630 (2001).

Johansen C, & Olsen JH Risk of cancer among Danish utility workers - A nationwide cohort study. *American Journal of Epidemiology*, 147:548-555 (1998).

Kheifets LI, Gilbert ES, Sussman SS, Guenel P, Sahl JD, Savitz DA, & Theriault G. Comparative analyses of the studies of magnetic fields and cancer in electric utility workers: studies from France, Canada, and the United States. *Occupational and Environmental Medicine* 56(8):567-574 (1999).

London SJ, Bowman JD, Sobel E, Thomas DC, Garabrant DH, Pearce N, Bernstein L & Peters JM . Exposure to magnetic fields among electrical workers in relation to leukemia risk in Los Angeles County. *American Journal of Industrial Medicine* 26:47-60 (1994).

Matanoski GM, Breyse PN & Elliott EA. Electromagnetic field exposure and male breast cancer. *Lancet* 337:737 (1991).

Sahl JD, Kelsh MA, & Greenland S. Cohort and nested case-control studies of hematopoietic cancers and brain cancer among utility worker. *Epidemiology* 4:21-32 (1994).

Savitz DA & Loomis DP. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *American Journal of Epidemiology* 141:123-134 (1995).

Sorahan T, Nichols L, van Tongeren M, & Harrington JM. Occupational exposure to magnetic fields relative to mortality from brain tumours: updated and revised findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-97. *Occupational and Environmental Medicine* 58:626-630 (2001).

- Thériault G, Goldberg M, Miller AB, Armstrong B, Guénel P, Deadman J, Imbernon E, To T, Chevalier A, Cyr D, & Wall C. Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada and France: 1970–1989. *American Journal of Epidemiology* 139:550-572 (1994).
- Tynes T, Jynge H, & Vistnes AI. Leukemia and brain tumors in Norwegian railway workers, a nested case-control study. *American Journal of Epidemiology* 139:645-653 (1994).

Estudios de laboratorio en animales expuestos a los CEM

- Anderson LE, Boorman GA, Morris JE, Sasser LB, Mann PC, Grumbein SL, Hailey JR, McNally A, Sills RC & Haseman JK. Effect of 13-week magnetic field exposures on DMBA-initiated mammary gland carcinomas in female Sprague-Dawley rats. *Carcinogenesis* 20:1615-1620 (1999).
- Baum A, Mevissen M, Kamino K, Mohr U & Löscher W. A histopathological study on alterations in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50 Hz, 100 mT magnetic field exposure. *Carcinogenesis* 16:119-125 (1995).
- Babbitt JT, Kharazi AI, Taylor JMG, Rafferty CN, Kovatch R, Bonds CB, Mirell SG, Frumkin E, Dietrich F, Zhuang D & Hahn TJM. Leukemia/lymphoma in mice exposed to 60-Hz magnetic fields: Results of the chronic exposure study TR-110338. Los Angeles: Electric Power Research Institute (EPRI) (1998).
- Babbitt JT, Kharazi AI, Taylor JMG, Rafferty CN, Kovatch R, Bonds CB, Mirell SG, Frumkin E, Dietrich F, Zhuang D & Hahn TJM. Leukemia/lymphoma in mice exposed to 60-Hz magnetic fields: Results of the chronic exposure study, Second Edition. Electric Power Research Institute (EPRI) and B. C. Hydro, Palo Alto, California and Burnaby, British Columbia, Canada (1999).
- Boorman GA, Anderson LE, Morris JE, Sasser LB, Mann PC, Grumbein SL, Hailey JR, McNally A, Sills RC & Haseman JK. Effect of 26-week magnetic field exposures in a DMBA initiation-promotion mammary gland model in Sprague-Dawley rats. *Carcinogenesis* 20:899-904 (1999).
- Boorman GA, McCormick DL, Findlay JC, Hailey JR, Gauger JR, Johnson TR, Kovatch RM, Sills RC & Haseman JK. Chronic toxicity/oncogenicity of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in F344/N rats. *Toxicological Pathology* 27:267-278 (1999).
- Boorman GA, McCormick DL, Ward JM, Haseman JK & Sills RC. Magnetic fields and mammary cancer in rodents: A critical review and evaluation of published literature. *Radiation Research* 153:617-626 (2000).
- Boorman GA, Rafferty CN, Ward JM & Sills RC. Leukemia and lymphoma incidence in rodents exposed to low-frequency magnetic fields. *Radiation Research* 153:627-636 (2000).
- Ekström T, Mild KH & Holmberg B. Mammary tumours in Sprague-Dawley rats after initiation with DMBA followed by exposure to 50 Hz electromagnetic fields in a promotional scheme. *Cancer Letters* 123:107-111 (1998).

- Mandeville R, Franco E, Sidrac-Ghali S, Paris-Nadon L, Rocheleau N, Mercier G, Desy M & Gaboury L. Evaluation of the potential carcinogenicity of 60 Hz linear sinusoidal continuous-wave magnetic fields in Fisher F344 rats. *Federation of the American Society of Experimental Biology Journal* 11:1127-1136 (1997).
- McCormick DL, Boorman GA, Findlay JC, Hailey JR, Johnson TR, Gauger JR, Pletcher JM, Sills RC & Haseman JK. Chronic toxicity/oncogenicity of 60 Hz (power frequency) magnetic fields in B6C3F1 mice. *Toxicological Pathology* 27:279-285 (1999).
- Mevissen M, Lerchl A, Szamel M & Löscher W. Exposure of DMBA-treated female rats in a 50-Hz, 50 microTesla magnetic field: Effects on mammary tumor growth, melatonin levels and T-lymphocyte activation. *Carcinogenesis* 17:903-910 (1996).
- Yasui M, Kikuchi T, Ogawa M, Otaka Y, Tsuchitani M & Iwata H. Carcinogenicity test of 50 Hz sinusoidal magnetic fields in rats. *Bioelectromagnetics* 18:531-540 (1997).

Estudios de laboratorio de células expuestas a los CEM

- Balcer-Kubiczek EK, Harrison GH, Zhang XF, Shi ZM, Abraham JM, McCready WA, Ampey LL, III, Meltzer SJ, Jacobs MC, & Davis CC. Rodent cell transformation and immediate early gene expression following 60-Hz magnetic field exposure. *Environmental Health Perspectives* 104:1188-1198 (1996).
- Boorman GA, Owen RD, Lotz WG & Galvin MJ, Jr. Evaluation of *in vitro* effects of 50 and 60 Hz magnetic fields in regional EMF exposure facilities. *Radiation Research* 153:648-657 (2000).
- Lacy-Hulbert A, Metcalfe JC, & Hesketh R. Biological responses to electromagnetic fields. *Federation of the American Society of Experimental Biology (FASEB) Journal* 12:395-420 (1998).
- Morehouse CA & Owen RD. Exposure of Daudi cells to low-frequency magnetic fields does not elevate MYC steady-state mRNA levels. *Radiation Research* 153:663-669 (2000).
- Snawder JE, Edwards RM, Conover DL & Lotz WG. Effect of magnetic field exposure on anchorage-independent growth of a promoter-sensitive mouse epidermal cell line (JB6). *Environmental Health Perspectives* 107:195-198 (1999).
- Wey HE, Conover DL, Mathias P, Toraason MA & Lotz WG. 50-Hz magnetic field and calcium transients in Jurkat cells: Results of a research and public information dissemination (RAPID) program study. *Environmental Health Perspectives* 108:135-140 (2000).

Reseñas nacionales de la investigación sobre los CEM

- American Medical Association. Council on Scientific Affairs. *Effects of Electric and Magnetic Fields*. Chicago: American Medical Association (December 1994).
- National Institute for Occupational Safety and Health, National Institute of Environmental Health Sciences, U.S. Department of Energy. *Questions and Answers: EMF in the Workplace. Electric and Magnetic Fields Associated with the Use of Electric Power*. Report No. DOE/GO-10095-218 (September 1996).

- National Radiological Protection Board. ELF Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer. Volume 12:1, Chilton, Didcot, Oxon, UK OX11 ORQ (2001).
- National Research Council, Committee on the Possible Effects of Electromagnetic Fields on Biologic Systems. Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields. Washington: National Academy Press (1997).
- National Institute of Environmental Health Sciences Report on Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields. NIH Publication No. 99-4493. Research Triangle Park, National Institute of Environmental Health Sciences (1999).
- Portier CJ & Wolfe MS, Eds. Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields—NIEHS Working Group Report NIH Publication No. 98-3981. Research Triangle Park, National Institute of Environmental Health Sciences (1998).

