



# CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS DE 50 Hz

Estudios sobre los posibles  
efectos para la salud [2001-2016]



Instituto de Magnetismo Aplicado  
Laboratorio "Salvador Velayos"  
UCM - ADIF - CSIC



**RED**  
**ELÉCTRICA**  
DE ESPAÑA

**Edita**

RED ELÉCTRICA Paseo del  
Conde de los Gaitanes, 177  
28109 Alcobendas (Madrid)  
Tel. 91 650 85 00  
[www.ree.es](http://www.ree.es)

**Coordinación  
y dirección**

Departamento  
de Marca e Imagen  
Corporativa de  
Red Eléctrica

**Diseño  
y maquetación**

dis\_ñ  
[estudio@dis-n.es](mailto:estudio@dis-n.es)

**Fotografías**

iStock [Getty Images]

**Fecha de edición**

Junio 2020

# CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS DE 50 Hz

Estudios sobre los posibles  
efectos para la salud [2001-2016]

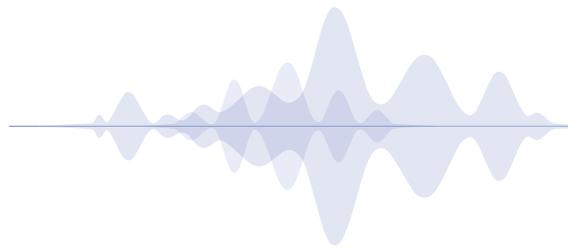


Instituto de Magnetismo Aplicado  
Laboratorio "Salvador Velayos"  
UCM - ADIF - CSIC



**RED**  
**ELÉCTRICA**  
DE ESPAÑA

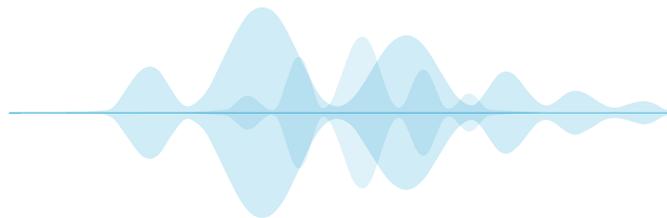
pg 4



## Introducción

Para estar seguros

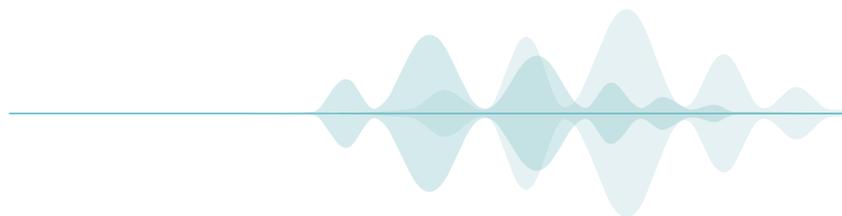
pg 6



## 1

Conceptos generales

pg 16

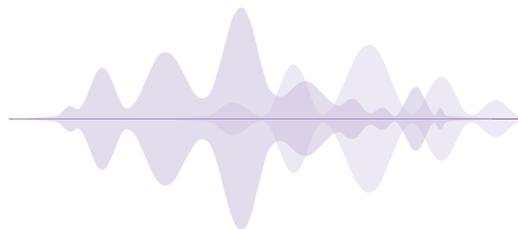


## 2

Estudios

sobre posibles efectos en la salud

pg 32

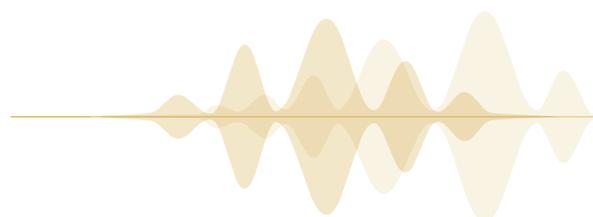


## 3

Conclusiones

de organismos nacionales e internacionales

pg 46



## Anexo

Relación

de estudios publicados

## Para estar seguros

La electricidad es un elemento esencial de la sociedad actual. Una gran parte de las actividades laborales y domésticas de nuestra vida cotidiana dependen de ella.

Aparte de efectos como calambres y electrocución, su inocuidad no se cuestionó hasta los años 60 cuando, en algunos estudios sobre trabajadores del sector eléctrico, se comenzó a hablar de posibles efectos nocivos para su salud.

En 1979, hay un cambio importante en la percepción de los campos eléctricos y magnéticos, tras la aparición de un estudio que relacionaba la exposición a estos campos con una mayor incidencia de cáncer. Como consecuencia de ese estudio los campos electromagnéticos pasaron a ser uno de los agentes más investigados. [1]

El sector eléctrico español participa de manera muy activa, desde hace años, en las investigaciones sobre posibles efectos biológicos de los campos electromagnéticos, impulsando investigaciones con diferentes universidades españolas.

La última publicación de las empresas de la Asociación Española de Industrias Eléctricas, (UNESA), actualmente AELEC, junto con Red Eléctrica de España (REE) data de 2001. Desde entonces se han

publicado algunos estudios epidemiológicos sobre riesgo de cáncer y otras enfermedades, aunque lo más destacado en estos últimos años ha sido la revisión acometida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicada en 2007. [2]

En 2002, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) [3] clasificó los campos electromagnéticos como 'posible cancerígeno' basando este criterio en algunos estudios epidemiológicos sobre leucemia infantil. Datos posteriores han confirmado que la asociación con esta enfermedad es débil, y no encuentra soporte en los estudios de laboratorio, ni a nivel celular

ni de experimentación animal, por lo que no se puede establecer en este momento una relación directa causa-efecto. IARC no ha confirmado posteriormente la relación entre campos electromagnéticos a frecuencias en el entorno de la de suministro eléctrico y este tipo de cáncer.

En cuanto a otras enfermedades, como distintos tipos de cáncer infantil, cáncer en adultos, depresión, suicidio, trastornos cardiovasculares, alteraciones en la reproducción, trastornos del desarrollo, enfermedades neurodegenerativas, etc, el grupo de trabajo de la OMS ha concluido en su estudio de 2007 que el respaldo científico para ellas es mucho más débil que en el caso de la leucemia.

La presente publicación pretende actualizar los conocimientos sobre los campos

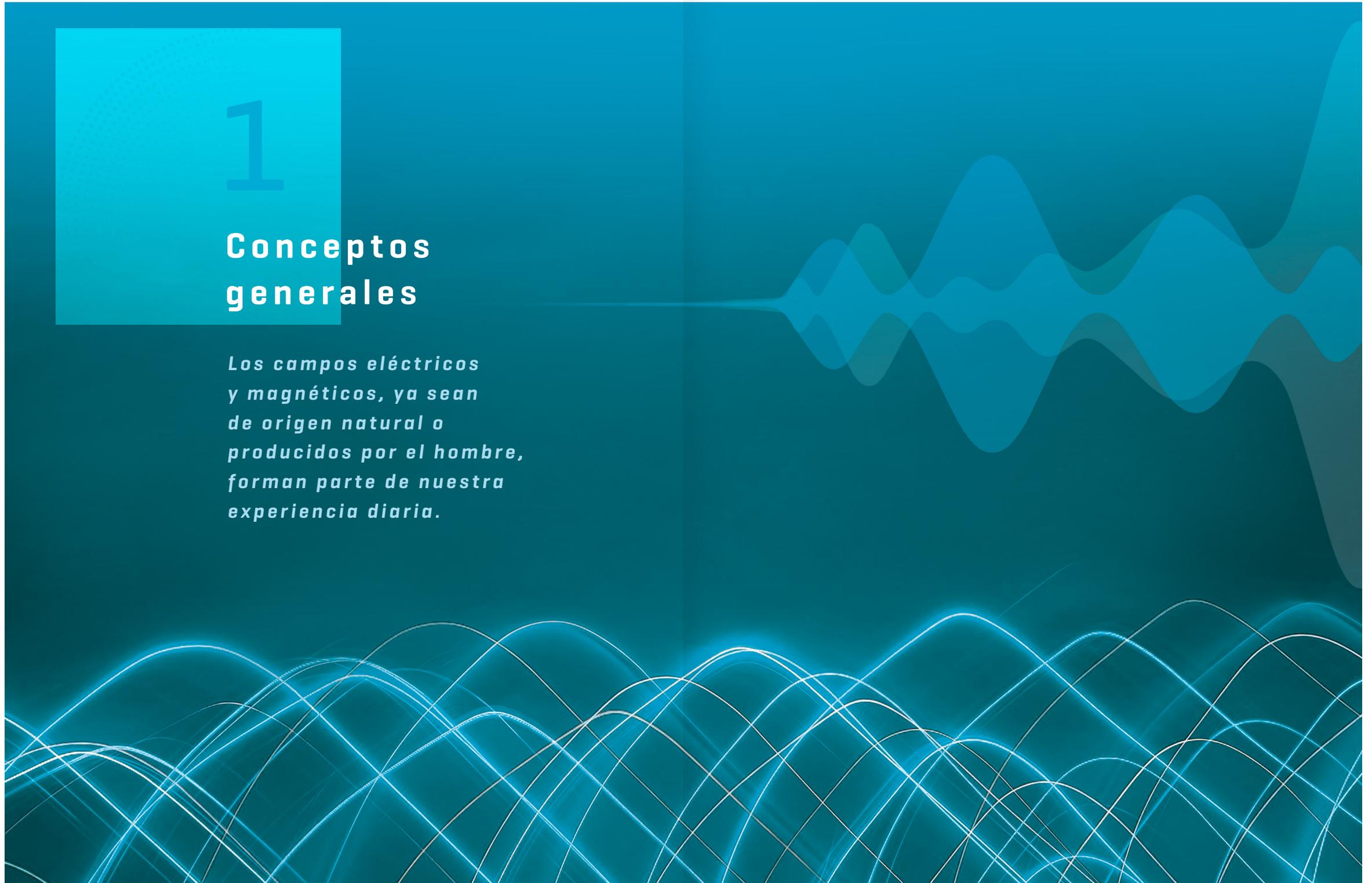
electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50-60 Hz) analizando más de 100 estudios científicos de impacto significativo (principalmente epidemiológicos) publicados desde el año 2001, además de las conclusiones de los organismos nacionales e internacionales más relevantes; los nuevos cambios legislativos que han tenido lugar, sobre todo en la Unión Europea, así como una actualización de las dosimetrías o valores de campos electromagnéticos generados por las instalaciones eléctricas.

[1] Radiation Research June 1979, Vol. 78, No. 3, pp. 485-501; Bioeffects of Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields: Variation with Intensity, Waveform, and Individual or Combined Electric and Magnetic Fields; E. M. Goodman, B. Greenebaum, and Michael T. Marron. [2] World Health Organization. Environmental Health Criteria N° 238. Extremely Low Frequency Fields. 2007. [3] International Agency for Research on Cancer. Volume 80. Non Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low Frequency. [ELF] Electric and Magnetic Fields. IARC Press Lyon, France 2002.

# 1

## Conceptos generales

*Los campos eléctricos  
y magnéticos, ya sean  
de origen natural o  
producidos por el hombre,  
forman parte de nuestra  
experiencia diaria.*



## 1 Qué son los campos eléctricos y magnéticos

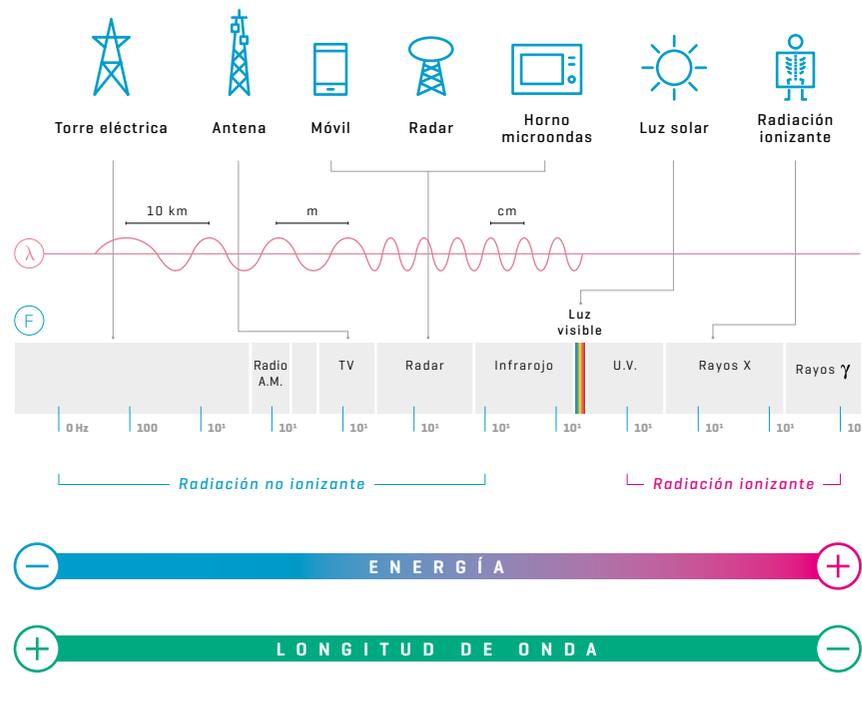
El concepto de **campo** describe una zona donde se ejerce la influencia de un agente, en este caso físico. Los campos eléctricos y magnéticos, ya sean de origen natural o producidos por el hombre, forman parte de nuestra experiencia diaria. El campo magnético

terrestre es el escudo protector del planeta pues desvía el viento solar y protege nuestra atmósfera. La luz y el calor procedente del Sol son ondas electro-magnéticas gracias a las que es posible la vida en la Tierra.

Los campos eléctricos tienen su origen en las cargas eléctricas, mientras que para que se dé un campo magnético la carga que lo crea debe tener movimiento como en las

### El espectro electromagnético

FIG. 1



corrientes eléctricas. Un campo magnético también lo genera un imán permanente. Si la corriente es continua el campo magnético no varía con el tiempo, pero si la corriente es alterna el campo varía con la frecuencia de dicha corriente.

Como puede observarse en la figura 1, en las frecuencias más altas (longitudes de onda más pequeñas) la energía es mayor; es el caso de las radiaciones ionizantes con energía tan alta que pueden romper enlaces químicos. A frecuencias intermedias como microondas o radiofrecuencias la energía no es suficiente como para romper moléculas pero sí pueden transmitir energía al medio biológico que atraviesan y producir calentamiento. Por último, a las llamadas frecuencias extremadamente bajas (50-60 Hz), que son a las que funcionan los sistemas eléctricos en todo el mundo, la energía es tan baja que no puede ni siquiera calentar el medio que atraviesan. **De hecho, a día de hoy no se conoce si existe siquiera un mecanismo por el cual estos campos de frecuencia tan**

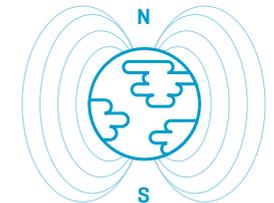
**baja pudieran producir efectos biológicos.**

Las unidades del campo eléctrico, en el sistema internacional, son en voltios por metro [V/m], o su múltiplo: **1 kV/m = 1.000 V/m**

**Hay un campo eléctrico natural, creado por cargas eléctricas presentes en la ionosfera.** Su valor varía desde 100-400 V/m (0,1-0,4 kV/m) en condiciones de buen tiempo y hasta 20.000 V/m (20 kV/m) en condiciones de fuerte tormenta.

**La unidad de medida del campo magnético en el sistema internacional es el Tesla (T)** o sus fracciones, el militesla [mT, milésima de Tesla] y en particular el microtesla [millonésima de Tesla, simbolizado como  $\mu\text{T}$ ].

**Existe también un campo magnético natural estático, debido a las corrientes que circulan en el núcleo de la Tierra.** La intensidad del campo magnético terrestre varía con la latitud: desde 30  $\mu\text{T}$  en el ecuador hasta aproximadamente 67  $\mu\text{T}$  en los polos. En España el campo magnético estático natural está alrededor de 40  $\mu\text{T}$ . [1]



## 40 $\mu\text{T}$

aproximadamente  
es la medida  
del campo  
magnético  
estático natural  
en España



[1] Journal of Geophysical Research, Vol. 90, No. B3, Pág. 2495-2509, February 28, 1985: The Near-Earth Magnetic Field at 1980 Determined From Magsat Data; R. A. Lange, R. H. Estes.

## 2

## Exposición a campos eléctricos y magnéticos

Los campos electromagnéticos forman parte de nuestra exposición diaria a la electricidad, tanto en el ambiente urbano, como en el trabajo o en nuestros hogares.

Hay varias formas de estimar la exposición de una persona: **haciendo medidas puntuales frente a las fuentes utilizando sensores y/o antenas**

TABLA 1

### Campo magnético ( $\mu\text{T}$ ) de 50 Hz a diferentes distancias de varios electrodomésticos

Electrodoméstico	3 cm	30 cm	1 m
Secador de pelo	6 - 2.000	0,01 - 7	0,01 - 0,03
Afeitadora eléctrica	15 - 1.500	0,08 - 9	0,01 - 0,03
Aspiradora	200 - 800	2 - 20	0,13 - 2
Tubo fluorescente	40 - 400	0,5 - 2	0,02 - 0,25
Horno microondas	73 - 200	4 - 8	0,25 - 0,6
Radio	16 - 56	1	<0,01
Horno eléctrico	1 - 50	0,15 - 0,5	0,01 - 0,04
Lavadora	0,8 - 50	0,15 - 3	0,01 - 0,15
Plancha	8 - 30	0,12 - 0,3	0,01 - 0,03
Lavaplatos	3,5 - 20	0,6 - 3	0,07 - 0,3
Ordenador	0,5 - 30	<0,01	
Frigorífico	0,5 - 1,7	0,01 - 0,25	<0,01
Televisión	2,5 - 50	0,04 - 2	0,01 - 0,15

Fuente: Oficina federal alemana de seguridad radiológica (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS), 1999. (La distancia de operación normal se indica en negrita.)

[electrodomésticos, líneas eléctricas etc.], **utilizando dosímetros que acumulan los valores que se registran en diferentes intervalos de tiempo** para hacer luego cálculos, como la media diaria de exposición, **o simulando mediante precisos programas informáticos los valores generados** por cualquier tipo de fuente.

### Aparatos de uso común

En la tabla 1 (publicada por la OMS [1]) que mostramos se indican los valores de **campo magnético** generados por los electrodomésticos más corrientes y por algunos elementos de una vivienda a distancias de 3 cm, 30 cm y 1m. Hay que decir que los valores pueden variar considerablemente con la configuración, la marca del aparato y el punto en el que se toma la medida.

A pesar de que algunos valores son bastante elevados, al pasar poco tiempo cerca



de estos aparatos, está por debajo de la recomendada por la normativa vigente [2].

En la tabla 2 se reflejan también los valores (tomados de

la misma página web de la OMS) de **campo eléctrico** de diversos electrodomésticos medidos a 30 cm.

TABLA 2

### Campo eléctrico para diferentes electrodomésticos medido a 30 cm

Electrodoméstico	Campo eléctrico (kV/m)
Plancha	0,12
Frigorífico	0,12
Mezcladora	0,1
Tostadora	0,08
Secador de pelo	0,08
Televisión	0,06
Máquina de café	0,06
Aspiradora	0,05
Horno eléctrico	0,008
Bombilla	0,005

Los valores de campo magnético generados por los electrodomésticos varían según la configuración, la marca del aparato y el punto en el que se toma la medida

[1] <https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index3.html>.  
[2] Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos.



### En líneas eléctricas

Los principales parámetros que influyen en los valores de campo que una línea eléctrica puede generar son la intensidad de corriente en el caso del magnético y la tensión o diferencia de potencial en el eléctrico, junto con la distancia a la que el receptor se encuentre de la misma.

Sin embargo, hay muchos factores, que sin llegar a contribuir de una manera determinante, influyen en los valores de campo generados por las líneas eléctricas: **su configuración** (forma en que se disponen sus conductores), **el número de circuitos** que tienen, si estos están desplazados, **el número de conductores** por fase, el tipo o **geometría del apoyo**, etc., lo que dificulta poder proporcionar valores de manera global.

Las diversas mediciones (tabla 3) realizadas en distintos tipos de líneas de transporte eléctrico proporcionan valores máximos –medido a 1 m sobre el suelo en el punto más cercano de los conductores al terreno– que oscilan entre 3-5 kV/m

para el campo eléctrico y 1-15  $\mu\text{T}$  para el campo magnético en las líneas a 400 kV.

**La intensidad de campo disminuye rápidamente a medida que aumenta la distancia a la línea eléctrica,** por ello a 30 metros de distancia los niveles

de campo eléctrico y magnético oscilan entre 0,2-2,0 kV/m y 0,1-3,0  $\mu\text{T}$  respectivamente, siendo habitualmente inferiores a 0,2 kV/m y 0,3  $\mu\text{T}$  a partir de 100 metros de distancia.

### En líneas eléctricas subterráneas

En el caso de las líneas subterráneas, estas solo generan campo magnético en el exterior de los cables, ya que se encuentran apantallados y puestos a tierra, por lo que el campo eléctrico en el exterior de los mismos

Las mediciones realizadas proporcionan valores máximos entre 3-5 kV/m para el campo eléctrico y 1-15  $\mu\text{T}$  para el campo magnético en las líneas a 400 kV

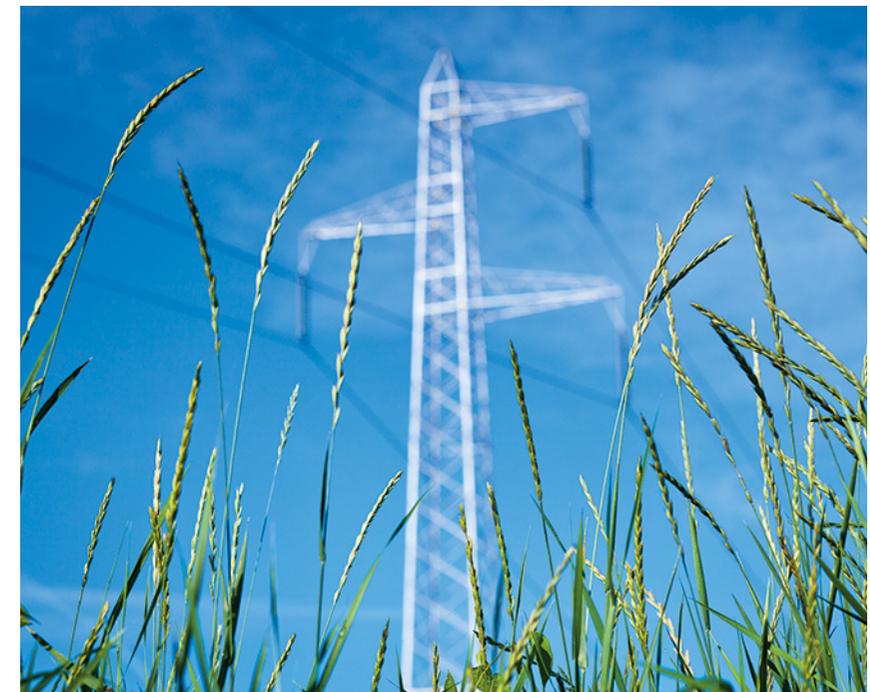


TABLA 3

### Campo eléctrico y magnético de diferentes tipos de líneas

Tensión (kV)	Campo magnético de 50 Hz ( $\mu\text{T}$ )			Campo eléctrico de 50 Hz (kV/m)		
	Bajo conductores	a 30 m	a 100 m	Bajo conductores	a 30 m	a 100 m
400	0,4-15	0,1-3	<0,3	1,2-5	0,2-2	<0,2
220	0,4-6	0,1-1,5	<0,2	0,7-3	0,1-0,5	<0,1
132	0,5-2	0,1-1	<0,08	0,5-0,8	0,1-0,3	<0,05
66	0,2-0,5	<0,1	<0,03	0,5-0,8	<0,1	<0,04

Fuente: medidas realizadas por Red Eléctrica en sus propias líneas.



Entre  
**0,2 - 2,0 kV/m**  
y **0,1 - 3,0  $\mu$ T**

valores de  
campo eléctrico  
y magnético  
a 30 metros  
de distancia  
de las líneas  
de 400 kV



es nulo. Se denominan cables aislados.

La principal característica de los campos magnéticos de las líneas subterráneas es que su atenuación según nos alejamos del eje de la línea es superior respecto a las líneas aéreas, ya que en este caso se puede jugar con la geometría de los conductores

para que se produzca una mayor cancelación entre los campos que generan. Si bien también es cierto, que justo sobre su eje los valores de campo magnético a los que podemos estar sometidos son superiores que bajo una línea aérea debido a que la distancia de los conductores a la que nos encontramos (están situados entre metro y metro y medio bajo la superficie) es mucho menor.



### En subestaciones

En el interior de una subestación, es decir la zona donde se encuentra toda la tecnología eléctrica y el paso está restringido únicamente a trabajadores, los niveles de campo eléctrico y magnético pueden llegar a ser algo superiores a los generados por las líneas. Sin embargo, estos valores disminuyen rápidamente al alejarnos, ya que la cancelación de campo que se genera es muy superior al encontrarse sus elementos muy próximos entre sí.

Se puede concluir que fuera de la subestación, en sitios accesibles al público como su perímetro externo, los valores de campo eléc-



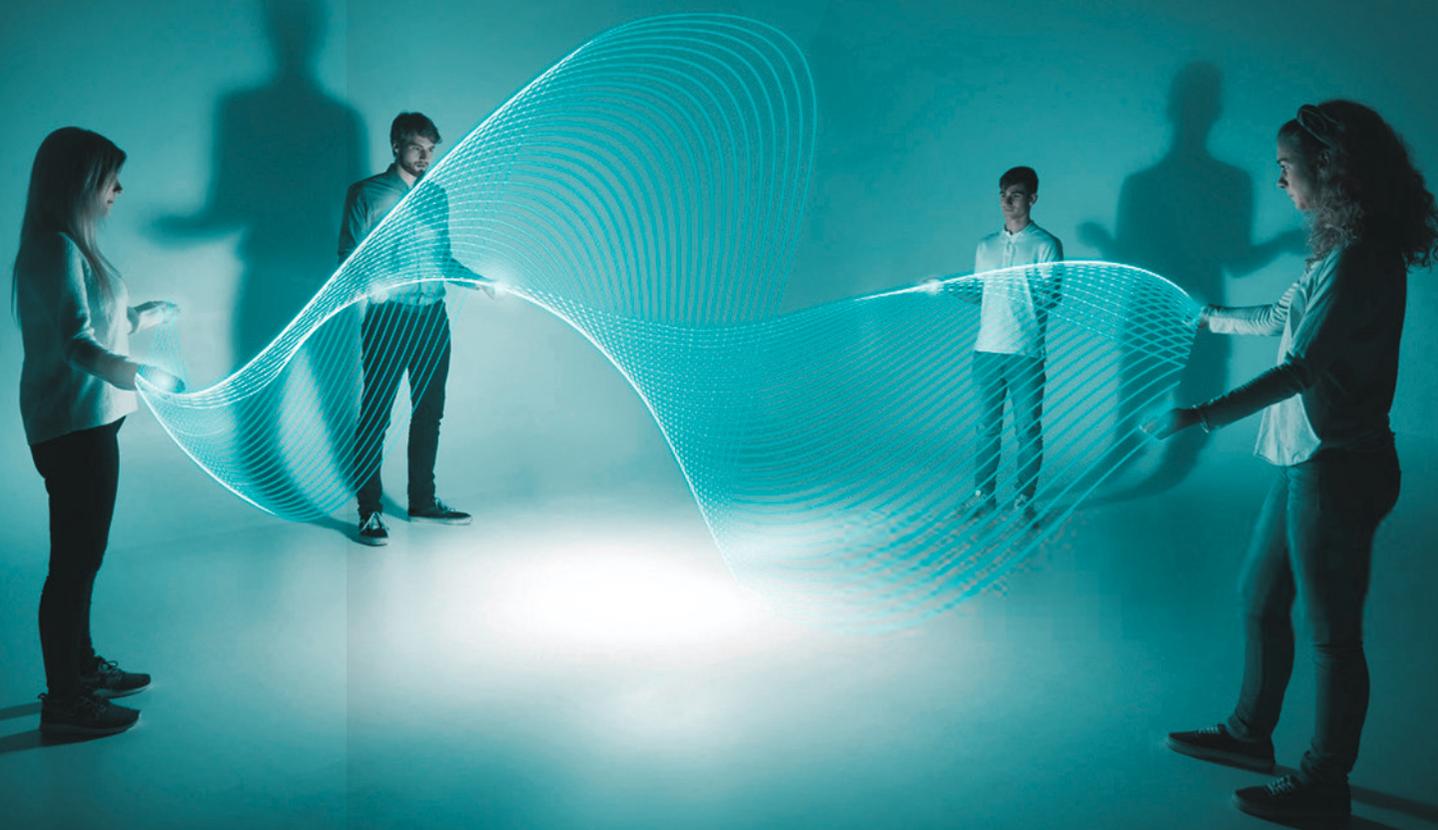
En el perímetro externo de las subestaciones los valores de campo eléctrico y magnético son inferiores a los que se generan en el entorno de las líneas eléctricas

trico y magnético son en general inferiores a los que se generan en el entorno de las líneas eléctricas. En concreto los valores más elevados en el perímetro de una subestación se localizan bajo las líneas eléctricas que entran y salen de esta, ya que son las propias líneas las que contribuyen como fuente principal de campo eléctrico y magnético.

## 2

## Estudios sobre posibles efectos en la salud

*Para evaluar el posible efecto que los campos electromagnéticos de frecuencia industrial puedan tener sobre la salud, se han llevado a cabo estudios de laboratorio, utilizando cultivos celulares o animales de experimentación, y estudios epidemiológicos sobre personas expuestas en su domicilio o el puesto de trabajo.*



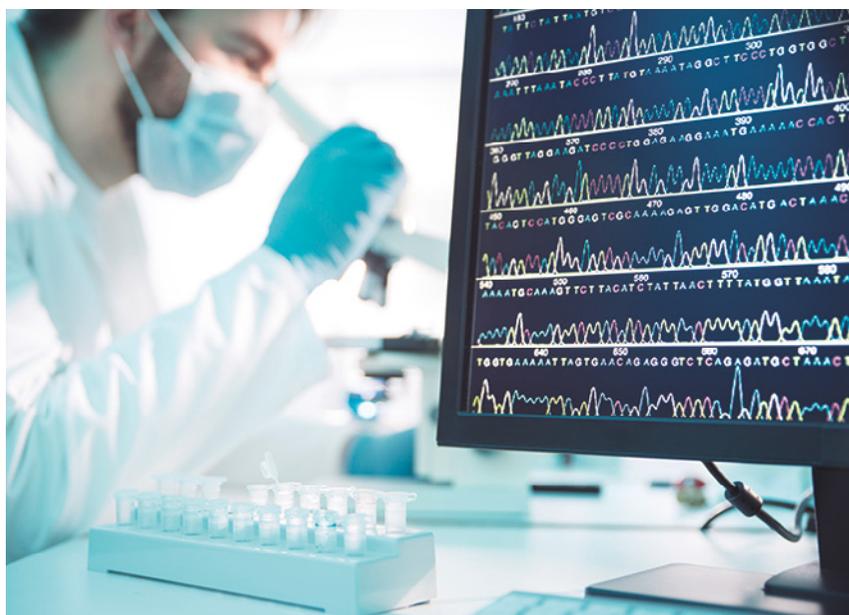
## ¿Afecta a la información genética la exposición a los campos electromagnéticos?

Los estudios de laboratorio sobre células, animales y en ocasiones sobre voluntarios, aunque pueden no reflejar situaciones reales, permiten controlar una multitud de variables. Sobre todo las condiciones reales de exposición a campos electromagnéticos y aislar la exposición a estos campos de otros agentes que pudieran influir, en un sentido o en otro, en los resultados del experimento.

*Nota: Todos los números entre paréntesis que aparecen en este capítulo hacen referencia al nº del estudio que se puede consultar en el anexo de la página 46.*

En la publicación de AELEC, de 2001 se hacía referencia a la ausencia de daños en el material genético (estudios de genotoxicidad) y/o su reparación, sobre el movimiento iónico, alteraciones del sistema inmune, modificaciones de los niveles de melatonina, y sobre la generación de radicales libres.

No obstante, en la revisión de la Organización Mundial de la Salud [1], se concluye que, en general, no se ha mostrado este efecto por debajo de 50 mT, aunque algún estudio ha visto genotoxicidad a 35  $\mu$ T.



A este respecto se han analizado 8 nuevos estudios publicados en este periodo, desde 2001. (4-11)

El único mecanismo de acción que se mantiene como teóricamente posible, es el de los pares de radicales, según el cual un campo magnético alteraría la dinámica de los radicales libres. Este mecanismo podría estar en la base de la orientación de las aves en sus migraciones, ya que poseen sensores (criptocromos, proteínas sensibles a la luz azul involucrada en la detección de los campos magnéticos para la orientación de las aves durante su migración, así como en el control del ritmo circadiano), pero su existencia en personas se desconoce.

Por otra parte, un campo de 50 Hz, con un período de oscilación del campo de 0,02 s, se comporta en realidad como un campo estático durante el tiempo que duran las reacciones químicas de estos radicales, típicamente menores de 1 ns [10-9 s]. Por ello, y ya que en la Tierra existe un campo magnético estático natural entre 30 y 70  $\mu$ T, solo cabría esperar que campos magnéticos de 50 ó 60 Hz ejercieran algún efecto sobre estas reacciones si su intensidad fuera netamente superior a la del campo estático terrestre.

En conclusión se puede decir que en la actualidad no se conoce ningún mecanismo biológico que pueda explicar los supuestos efectos nocivos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial.



Los nuevos estudios publicados sobre estos aspectos no modifican los resultados de estudios de laboratorio, que no muestran ningún mecanismo por el cual los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja, a las intensidades comúnmente encontradas, pudieran tener un efecto nocivo para la salud

## 1 Estudios sobre el riesgo de cáncer

Como conclusión de los estudios de laboratorio se puede decir que no hay una evidencia sólida de que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja dañen el material genético o induzcan ningún tipo de cáncer

Los resultados de los últimos estudios (12-17) sobre animales no modifican la opinión expresada en la última publicación conjunta de AELEC con Red Eléctrica en 2001. **No se ha concluido, por el momento, que los campos electromagnéticos de frecuencia industrial tengan una influencia en el desarrollo de leucemias o tumores cerebrales.**

En cuanto a los estudios epidemiológicos, investigan la salud de las personas expuestas pero tienen como principal defecto que en la mayoría de los casos no se mide la exposición



real, la que existe en una casa o en un puesto de trabajo, sino la de cada uno de los individuos de interés. Esto limita en gran manera sus conclusiones.

La mayoría de los estudios publicados se han centrado en la leucemia infantil. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) clasificó en 2002 (2) los campos magnéticos en relación con la leucemia infantil en la categoría 2B, es decir, «posiblemente carcinógenos para las personas».

Esta calificación se aplica a aquellos agentes cuya acción cancerígena está escasamente probada en las personas e insuficientemente confirmada en experimentos con animales (en esta misma clasificación está incluido el café). La Organización Mundial de la Salud, en 2007 (1), se manifestó de acuerdo con esta clasificación, aunque precisó que, por la ausencia de un mecanismo de acción establecido y por la ausencia de estudios experimentales sobre animales que corroboren este efecto, **‘las evidencias relacionadas con la leucemia infantil no son suficien-**



temente sólidas para establecer una relación de causalidad’.

En conclusión, no se ha constatado una relación causa-efecto entre exposición a un campo magnético de frecuencia industrial y el riesgo de leucemia infantil.

### Estudios en niños que viven cerca de líneas eléctricas de alta tensión

#### Estudios sobre el riesgo de leucemia

Los estudios comentados en la última publicación de AELEC, considerados individualmente, no mostraban una clara relación entre un mayor riesgo de leucemia en niños y el campo magnético medido con la distancia a líneas eléctricas. Sin



embargo, cuando se agrupan los datos de los estudios en lo que se llama un meta-análisis, se veía un aumento del riesgo a partir de exposiciones promediadas de 0,3 – 0,4  $\mu\text{T}$ . Estos niveles de campo podrían encontrarse entre el 0,5% y 7% de los domicilios.

Sin embargo, **ningún organismo nacional o internacional ha dictaminado que estos datos permitan concluir que los campos magnéticos sean cancerígenos.** Para ello, habría que descartar que los resultados se deban al azar,

## Ningún organismo

nacional o internacional ha dictaminado que estos datos permitan concluir que los campos electromagnéticos sean cancerígenos



## Los nuevos estudios

tampoco aportan datos convincentes de que exista un incremento de riesgo de ningún tipo de cáncer infantil por el hecho de vivir cerca de líneas eléctricas

a sesgos en los análisis o factores de confusión que pueden distorsionar la relación. Además, la ausencia de datos experimentales de laboratorio que apoyen los datos epidemiológicos es una consideración en contra.

La posible contribución de cada uno de estos aspectos se estudió en el informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de 2007, sin que se llegara a una conclusión sobre cuál de ellos podría ser más o menos determinante.

La OMS (1), en consecuencia, no encontró suficiente evidencia como para sugerir un cambio en la clasifica-

ción del IARC. Desde la última publicación de AELEC en 2001, se han realizado unos diez estudios (19-33) sobre riesgo de leucemia infantil y exposición a campos electromagnéticos en domicilios. Hay otros estudios que, por su menor tamaño o por sus cualidades metodológicas, no se comentan en esta publicación.

Los resultados de estos nuevos estudios no aportan evidencias sólidas de que los campos electromagnéticos de las líneas eléctricas incrementen el riesgo de leucemia infantil.

### Estudios sobre el riesgo de tumores cerebrales

Los estudios sobre riesgo de tumores cerebrales en niños expuestos a campos electromagnéticos en sus domicilios son menos numerosos que los realizados sobre leucemias y, en general, no han mostrado un aumento de riesgo.

Desde la última publicación de AELEC, se han publicado 4 nuevos estudios y dos meta-análisis de los estudios llevados a cabo hasta 2010. (20, 29, 34-37) La conclusión que se des-

prende de ellos es que no existe un aumento del riesgo de tumores cerebrales infantiles por la exposición doméstica a los campos electromagnéticos.

En conclusión, a pesar de que se ha mejorado la metodología de los estudios, los nuevos resultados tampoco aportan datos convincentes de que exista un incremento de riesgo de ningún tipo de cáncer infantil por el hecho de vivir cerca de líneas eléctricas.

### Estudios sobre el riesgo de cáncer en adultos que viven cerca de líneas eléctricas

En la revisión de AELEC, de 2001, se concluía que no existía una evidencia de riesgo de diferentes tipos de cáncer (leucemias, tumores cerebrales, cáncer de piel y de mama) en adultos expuestos a campos magnéticos elevados en su domicilio.

El informe de la OMS, en su revisión de 2007 (1), incluía algunos nuevos estudios. A parte de los enfocados al cáncer de mama (para el que la OMS no encuentra una relación con la exposi-

ción a campos electromagnéticos), analizaba estudios sobre leucemia, otros tumores de la sangre y tumores cerebrales en los que no se veía un riesgo significativamente aumentado y concluía que la evidencia era 'inadecuada'.

### Estudios sobre el riesgo de cáncer en hijos de trabajadores expuestos a campos de frecuencia industrial

Aunque normalmente se ha estudiado el efecto sobre las personas directamente expuestas, desde hace tiempo se ha investigado si la exposición prenatal o incluso la experimentada antes del inicio de un embarazo (pre-concepcional), podría provocar efectos adversos para la salud de los hijos de los expuestos.

Incorporando los nuevos estudios realizados en los últimos años (38-39), no existe evidencia de un aumento de riesgo de cáncer en adultos que viven cerca de líneas de alta tensión





## 50-60 Hz

Los estudios de cáncer en hijos de trabajadores expuestos a CEM son, en general, negativos



En el caso de la exposición pre-concepcional, la hipótesis sería que estos campos podrían afectar directamente el material genético de las células germinales, óvulos o espermatozoides.

En el caso de la exposición prenatal (durante la gestación) la hipótesis sería que se produce una modificación directa (mutación) o indirecta del material genético, provocando alteraciones que conduzcan o predispongan al cáncer, de la misma forma que la radiación ionizante (a partir de ciertas dosis) puede aumentar el riesgo de cáncer de un niño expuesto durante la gestación.



Se ha investigado el riesgo de cáncer por la exposición de los padres y, en menor medida, de las madres trabajadoras. Los estudios de cáncer en hijos de trabajadores expuestos a CEM son, en general, negativos aunque se han basado siempre en el análisis de un reducido número de casos.

Para cuantificar la exposición se recurre a las llamadas matrices empleo-exposición, pero en ningún estudio se mide la exposición real de los trabajadores. Además, hay que resaltar que el trabajar en profesiones eléctricas conlleva la exposición a diferentes agentes tanto físicos como químicos que normalmente no se tienen en cuenta en la valoración de los estudios.

**El análisis de los estudios publicados-14 sobre tumores cerebrales [40-53]; 8 sobre leucemias [51-57] y 1 sobre leucemia infantil [58]- no permite concluir que exista un riesgo aumentado de tumores cerebrales o leucemia en hijos de padres o madres expuestas en su puesto de trabajo a campos electromagnéticos de 50 Hz.**

En conclusión, no se observa que la exposición del padre o la madre a

**campos electromagnéticos en su lugar de trabajo incrementa el riesgo de leucemias o tumores cerebrales en sus hijos.**

### Estudios sobre el riesgo de cáncer en trabajadores expuestos a campos electromagnéticos

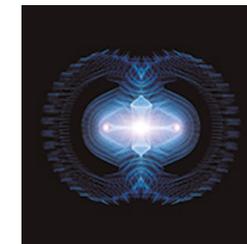
En los últimos 30 años se han publicado más de 50 estudios sobre riesgo de cáncer en relación con la exposición laboral a campos electromagnéticos de 50-60 Hz. Si bien los primeros trabajos mostraron un riesgo ligero de determinados tipos de cáncer, especialmente leucemias y tumores cerebrales, estudios posteriores usando colectivos muy numerosos y con un buen conocimiento del nivel de exposición (especialmente trabajadores del sector eléctrico de distintos países) no han corroborado los hallazgos iniciales.

Es importante señalar los pronunciamientos de dos organismos internacionales de prestigio. El primero, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2007 sobre exposición laboral concluye que para '... tumores cerebrales y leucemias en adultos y otros cánceres distintos de la leucemia infantil, la evidencia es inadecua-

da [este término se usa cuando los estudios no pueden ser interpretados como que muestran la presencia o bien la ausencia de un efecto, porque existen limitaciones cuantitativas o cualitativas importantes, o bien cuando no se dispone de datos'].

De la misma forma se manifestó en 2002 la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer<sup>2</sup> (IARC): 'No hay hallazgos coherentes entre los estudios sobre una relación dosis-respuesta y no hay coherencia en la asociación con subtipos de leucemia y tumores cerebrales... No hay una asociación coherente entre intensidad de campo eléctrico y ningún tipo de cáncer'.

En conclusión, tras el análisis de los 9 estudios [59-67] más significativos a este respecto en estos últimos 15 años, no se puede afirmar que la exposición laboral a campos electromagnéticos se asocie a un riesgo aumentado de diferentes tipos de cáncer. Los estudios de trabajadores de empresas eléctricas inglesas son bastante contundentes al reafirmar una ausencia de riesgo, por lo menos en este sector.



No se puede afirmar que la exposición laboral a campos electromagnéticos se asocie a un riesgo aumentado de diferentes tipos de cáncer

## 2 Estudios sobre el riesgo de enfermedades neurodegenerativas

En el caso concreto de trabajadores del sector eléctrico, no parece haber una relación entre la exposición a campos magnéticos y estas enfermedades

Este es un aspecto que ya se había tratado en la publicación de AELEC, de 2001, aunque de forma muy breve. Se hablaba de unos pocos estudios epidemiológicos sobre trabajadores que no mostraban una clara evidencia de un riesgo aumentado de enfermedad de Alzheimer, enfermedad de neuro-motora [esclerosis lateral amiotrófica, ELA, principalmente], o enfermedad de Parkinson.

Por su importancia, se han acometido estudios de laboratorio no solo para aclarar si existe una relación sino también

para investigar el mecanismo responsable de este supuesto efecto. La hipótesis sería que se podría producir un efecto sobre la producción de radicales libres en las células del cerebro y una inflamación que podrían influir en el desarrollo de estas enfermedades.

En general, tal y como concluye la OMS, los estudios publicados, 12 en los últimos años (68-80), no pueden interpretarse como que exista un aumento de riesgo de estas enfermedades (usa el término 'evidencia inadecuada'), ya que los estudios tienen importantes limitaciones. Los últimos estudios comentados, que son posteriores a la revisión de la OMS, apuntan igualmente a una ausencia de riesgo.



## 3 Estudios sobre el riesgo de fertilidad, reproducción y desarrollo

En la publicación de AELEC, de 2001, se concluía, basándose en más de 20 estudios sobre animales de laboratorio, que los campos de frecuencia industrial no parecen interferir en el crecimiento fetal, ni ocasionan una mayor incidencia de abortos o malformaciones.

La revisión posterior de la OMS, en 2007, incluyendo nuevos estudios, concluía que para campos eléctricos de hasta 150 kV/m no se habían visto efectos adversos. Igualmente para campos magnéticos de hasta 20 mT no se aprecian malformaciones, exceptuando pequeñas alteraciones en algunos huesos (sin relación con la dosis de campo magnético) que son muy comunes en este tipo de estudios animales y no revisten importancia alguna.

En la publicación de AELEC, de 2001, se revisaron más de veinte estudios epidemiológicos que investigaban el riesgo de aborto, malformaciones congénitas o alteraciones en el crecimiento fetal, en



relación con el uso de mantas eléctricas o por vivir cerca de líneas eléctricas o trabajar cerca de equipos (incluyendo electrodomésticos) que producen campos electromagnéticos.

Excepto un estudio que encontraba un ligero aumento de riesgo de aborto y otro que refería un mayor riesgo de parto prematuro en relación con la exposición laboral, no se veían efectos adversos.

Tras analizar los 8 estudios más significativos publicados desde 2001 (89-96) se puede concluir que, excepto en dos estudios publicados en 2002 (91-92), no se ha visto una relación entre la exposición a campos magnéticos de frecuencia industrial y efectos adversos sobre el embarazo o desarrollo fetal.

Los 8 últimos estudios de laboratorio analizados no apoyan la idea de que estos campos puedan tener un efecto nocivo sobre la fertilidad, la reproducción o el desarrollo de los animales, a las intensidades a las que se puede estar expuesto en domicilios o en la mayoría de los puestos de trabajo

#### 4

## Estudios sobre el riesgo de hipersensibilidad

La **hipersensibilidad electromagnética** [denominada por la OMS como intolerancia idiopática ambiental atribuida a los campos electromagnéticos o IEI-EMF en sus siglas inglesas] es un fenómeno relativamente nuevo, cuyo inicio parece encontrarse en los años 80 en Suecia y Noruega.

Estas personas refieren síntomas poco específicos como: dificultad para dormir, dolor de

cabeza, fatiga, mareos, palpitaciones, sensación de calor en la cara, etc, que se relacionaban al principio con ordenadores, aunque luego surgieron personas que los achacaban a la exposición a cualquier fuente de campo eléctrico, desde electrodomésticos a televisiones, líneas eléctricas, teléfonos móviles, etc. En estos últimos 15 años destacan 6 estudios al respecto [97-102]

Dentro del llamado **Proyecto Internacional EMF**, que dirige la Organización Mundial



de la Salud [OMS], se publicó un documento en 2005 que concluye que, a pesar de que los síntomas descritos por estas personas son reales, 'la mayoría de las personas denominadas como hipersensibles no detectan la existencia de un campo electromagnético mejor que los no hipersensibles.

Los estudios bien controlados han mostrado que los síntomas no se correlacionaban con la exposición al campo electromagnético.

**Por tanto, no hay evidencia científica de que los problemas descritos por las llamadas personas hipersensibles estén causados por los campos electromagnéticos.** A la misma conclusión llegó muy recientemente, una revisión de la Unión Europea [102] donde, entre otras cosas, se revisaron los estudios sobre hipersensibilidad y la conclusión fue que 'la valoración global sugiere una ausencia de efectos'.



### No hay evidencia

científica de que los problemas descritos por las llamadas personas hipersensibles estén causados por los campos electromagnéticos

## Conclusiones

# f i n a l e s

Desde la última revisión de AELEC, de 2001, se han publicado un gran número de estudios y diferentes organismos nacionales e internacionales se han pronunciado sobre los posibles efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial [50-60 Hz]. La revisión de todos ellos no modifica la opinión expresada en 2001 de que en la actualidad no se puede afirmar que la exposición a estos campos electromagnéticos suponga un riesgo para la salud de las personas.

**La revisión de los últimos estudios no modifica la opinión expresada en 2001 de que en la actualidad no se puede afirmar que la exposición a estos campos electromagnéticos suponga un riesgo para la salud de las personas.**

Tras más de 30 años de investigaciones, los estudios de laboratorio no han encontrado un mecanismo biofísico por el cual los campos electromagnéticos puedan producir ningún efecto biológico. Únicamente a altísimas intensidades se pueden postular mecanismos que podrían interferir con determinadas reacciones químicas como las de los radicales libres.

A las intensidades comúnmente encontradas en ambientes domésticos o laborales, estos campos no parecen provocar daño al material genético, no alteran la expresión de genes implicados en el desarrollo o en el proceso cancerígeno y no modifican la proliferación celular.

Los estudios sobre animales de laboratorio, utilizando valores de campo electromagnético habituales o muy superiores a los normalmente encontrados, no han mostrado un aumento de riesgo de padecer cáncer, enfermedades neurodegenerativas o que estos campos alteren la fertilidad o la reproducción.

Los estudios epidemiológicos que hace años mostraron una relación entre vivir cerca de líneas eléctricas de alta tensión y un mayor riesgo de leucemia en niños, no han sido corroborados por los nuevos estudios publicados. Únicamente un estudio ha encontrado una relación significativa mientras que los otros no muestran relación alguna con vivir cerca de líneas eléctricas o con el valor de campo medido o calculado en las casas.

La clasificación como 'posiblemente cancerígenos' (categoría 2B de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, en 2002) en relación con la leucemia infantil se basaba principalmente en dos estudios que analizaban conjuntamente algunos de los estudios epidemiológicos más relevantes sobre la leucemia infantil y la exposición de estos niños en su casa.

Una actualización de este tipo de análisis, incluyendo los nuevos estudios comentados en esta publicación, muestra ahora unos riesgos menores, y ya no significativos, de padecer leucemia por vivir cerca de líneas eléctricas. Al no contar con un respaldo de los estudios de laboratorio, esta hipotética relación se considera aún más débil.

Otros tipos de cáncer, en niños o adultos, tienen todavía una menor base epidemiológica. Los estudios de exposición laboral sobre trabajadores del sector eléctrico, por ejemplo, son bastante contundentes a la hora de descartar una relación con el cáncer.

De la misma forma, los estudios epidemiológicos sobre enfermedades neurodegenerativas, aunque menos numerosos que los estudios sobre cáncer, no muestran riesgos aumentados en trabajadores del sector eléctrico expuestos a campos electromagnéticos y a descargas eléctricas. El hecho de vivir cerca de líneas eléctricas tampoco parece

tener una relación significativa con el riesgo de enfermedades neurodegenerativas, aunque el número de estudios es muy escaso.

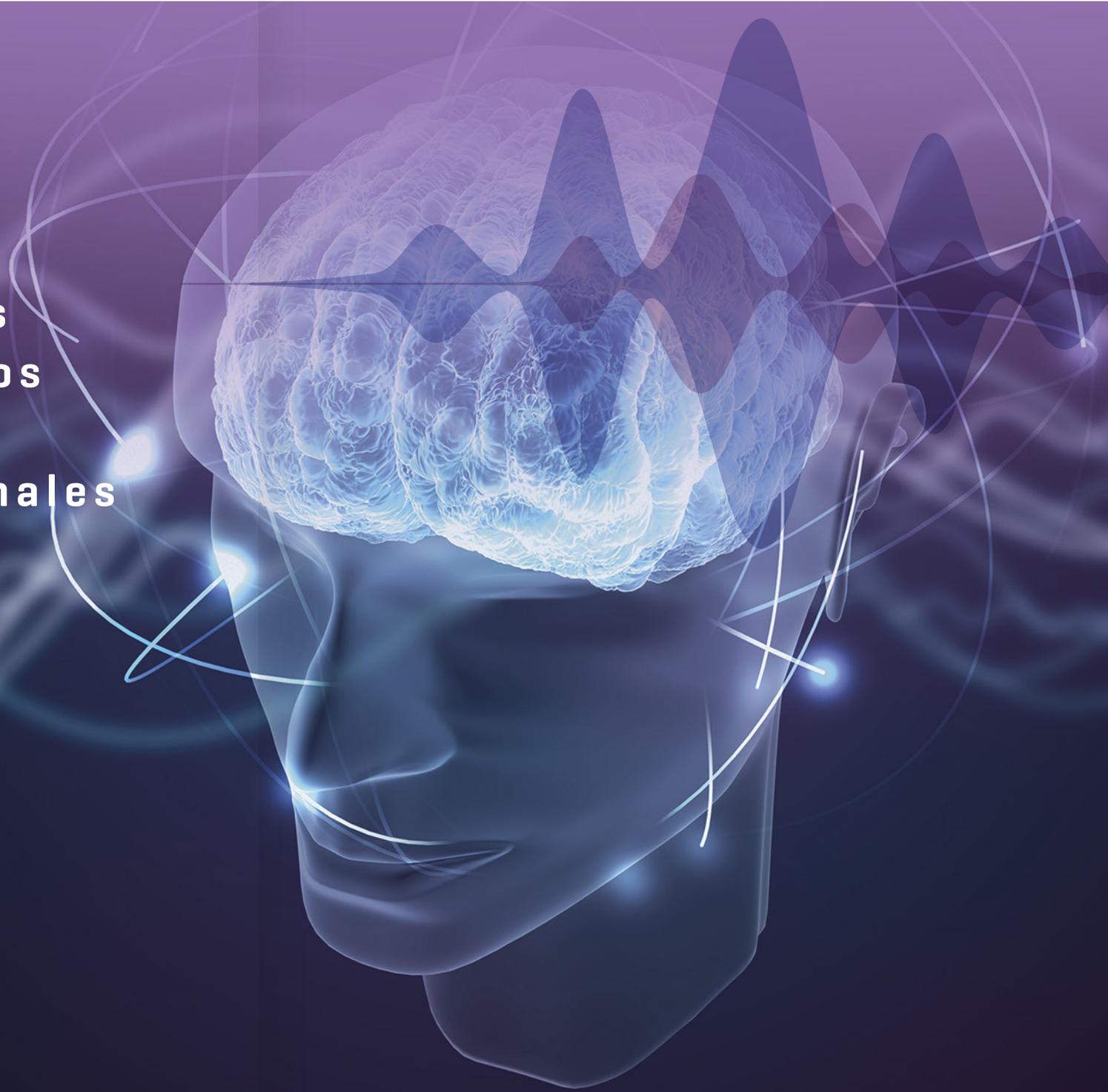
Por su parte, los últimos estudios epidemiológicos sobre riesgo de aborto por vivir cerca de líneas eléctricas no han corroborado los hallazgos de dos estudios previos que apuntaban un riesgo aumentado.

**Hoy en día se cuenta con una recomendación de la Unión Europea para limitar la exposición del público a los campos electromagnéticos de frecuencia industrial. Su cumplimiento asegura la protección de la salud del público tal y como se recoge en dicha publicación.**

# 3

## Conclusiones de organismos nacionales e internacionales

*Desde los años  
60, varios  
han sido los  
pronunciamientos  
de diferentes  
organismos sobre  
los aspectos  
nocivos o no  
de los campos  
electromagnéticos*





Como afirmábamos en el comienzo de esta publicación, la electricidad es un elemento esencial de nuestra so-

Según la OMS, la mayoría de las personas denominadas hipersensibles no detectan la existencia de un campo electromagnético mejor que los no hipersensibles

ciudad y por eso todo lo relacionado con su uso e implantación suscita interés e investigación.

Desde los años 60, varios han sido los estudios e investigaciones para conocer los aspectos nocivos o no de los campos electromagnéticos y tras ellos, organismos e instituciones, tanto nacionales como internacionales, han dictaminado una serie de conclusiones de las que aquí recogemos las más contundentes.

### Ministerio de Sanidad y Consumo de España. Dirección General de Salud Pública y Consumo. 2001 [Ratificada en 2003]

‘Una vez revisada la abundante información científica publicada, este Comité de Expertos considera que no puede afirmarse que la exposición a CEM [campos electromagnéticos], dentro de los límites establecidos en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea relativa a la exposición del público en general a CEM de 0 Hz a 300 GHz, pro-

duzca efectos adversos para la salud humana. Por tanto, el Comité concluye que el cumplimiento de la citada Recomendación es suficiente para garantizar la protección de la población’.

### Organización Mundial de la Salud (OMS)

Campos electromagnéticos y salud pública. Hipersensibilidad electromagnética

Hoja descriptiva N° 296 diciembre 2005

‘La mayoría de las personas denominadas como hipersensibles no detectan la existencia de un campo electromagnético mejor que los no hipersensibles. Los estudios bien controlados han mostrado

que los síntomas no se correlacionaban con la exposición al campo electromagnético’.

### Organización Mundial de la Salud (OMS)

Nota descriptiva N° 322 junio 2007

<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs322/es/>

El grupo de trabajo, que siguió un procedimiento estándar de evaluación de los riesgos para la salud, concluyó que a los niveles a los que suele estar expuesto el público en general no cabe señalar ninguna cuestión sanitaria sustantiva relacionada con los campos eléctricos de frecuencia extremadamente baja (FEB).

#### Posibles efectos a corto plazo

Ha quedado establecido que la exposición aguda a niveles elevados (muy por encima de las 100  $\mu$ T) tiene efectos

biológicos, atribuibles a mecanismos biofísicos comúnmente conocidos. Los campos magnéticos externos de FEB originan en el cuerpo humano corrientes y campos eléctricos que, si la intensidad del campo es muy elevada, causan estimulación neural y muscular, así



## 0 Hz a 300 GHz

en este rango no puede afirmarse que la exposición a los CEM produzca efectos adversos en la salud dentro de los límites establecidos



No existen mecanismos biofísicos comúnmente aceptados que sugieran una correlación entre la exposición a campos de frecuencia extremadamente baja y la carcinogénesis



como cambios en la excitabilidad neuronal del sistema nervioso central.

#### Posibles efectos a largo plazo

Buena parte de las investigaciones científicas sobre los riesgos a largo plazo asociados a la exposición a campos magnéticos de FEB se han centrado en la leucemia infantil. En 2002, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, publicó un estudio monográfico en el que los campos magnéticos de FEB se calificaban de 'posible-

mente carcinógenos para las personas'. Esta calificación se aplica a aquellos agentes cuya acción cancerígena está escasamente probada en las personas e insuficientemente probada en experimentos con animales [otros ejemplos incluyen el café y los humos de soldadura]. La calificación en cuestión se estableció sobre la base de análisis conjuntos de estudios epidemiológicos que demuestran un cuadro sistemático de aumento al doble de la leucemia infantil asociada a una exposición media a campos magnéticos de frecuencia de red doméstica superior a  $0,3 \mu\text{T}$  -  $0,4 \mu\text{T}$ . El grupo de trabajo concluyó que, a la luz de los estudios adicionales efectuados ulteriormente, esa calificación debe mantenerse.

No obstante, las evidencias epidemiológicas se ven debilitadas por problemas de tipo metodológico, como los posibles sesgos de selección. Además, no existen mecanismos biofísicos comúnmente aceptados que sugieran una correlación entre la exposición a campos de frecuencia baja y la carcinogénesis.

**En consecuencia, de existir algún efecto atribuible a este tipo de exposición, tendría que producirse a través de un mecanismo biológico aún desconocido. Por otra parte, los estudios con animales han arrojado mayormente resultados negativos.**

El balance que cabe hacer de todo ello es que las evidencias relacionadas con la leucemia infantil no son suficientemente sólidas para establecer una relación de causalidad. La leucemia infantil es una enfermedad relativamente infrecuente; según las estimaciones efectuadas en 2000, el número total anual de nue-



vos casos asciende a 49.000 en el mundo entero. Por término medio, la exposición a campos magnéticos de frecuencia superior a  $0,3 \mu\text{T}$  en los hogares es poco frecuente: se estima que sólo entre un 1% y un 4% de los niños viven en esas condiciones. Si la relación entre campos magnéticos y leucemia infantil es causal, se estima que el número de casos atribuibles a nivel mundial a la exposición a campos magnéticos podría oscilar entre 100 y 2.400 casos anuales, sobre la base de los valores correspondientes al año 2000, lo que representa entre un 0,2% y un 4,95% de la incidencia total correspondiente a ese mismo año. En consecuencia, aun suponiendo que los campos magnéticos de FEB aumentan el riesgo de leucemia infantil, si se considera en un con-

Las evidencias relacionadas con la leucemia infantil no son suficientemente sólidas para establecer una relación de causalidad con la exposición a campos de frecuencia extremadamente baja



## < 50 mT

La exposición de células a campos de ELF [Extremely Low Frequency Fields] por debajo de 50 mT no han mostrado ninguna inducción de genotoxicidad

texto global, el impacto en la salud pública de la exposición a CEM de FEB sería limitado.

Se han estudiado otros efectos adversos para la salud con miras a establecer una posible correlación con la exposición a campos magnéticos de FEB. Los análisis se han centrado en otros tipos de cáncer infantil, diversos tipos de cáncer en adultos, la depresión, el suicidio, trastornos cardiovasculares, disfunciones reproductivas, trastornos

### Organización Mundial de la Salud [OMS]

*Environmental Health Criteria N° 238 Extremely Low Frequency Fields. 2007*

[http://www.who.int/peh-emf/publications/elf\\_ehc/en/](http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/)

#### Epidemiología de leucemia en niños

‘Las evidencias epidemiológicas se ven debilitadas por problemas de tipo metodológico, como los posibles sesgos de selección.

del desarrollo, modificaciones inmunológicas, efectos neuroconductuales, enfermedades neurodegenerativas, etc.

El grupo de trabajo de la OMS ha concluido que las pruebas científicas que respaldan la existencia de una correlación entre la exposición a campos magnéticos de FEB y todos estos efectos adversos para la salud son mucho más débiles que en el caso de la leucemia infantil. En algunos casos [por ejemplo, las enfermedades cardiovasculares o el cáncer de mama] las evidencias sugieren que los campos magnéticos no son la causa de esos efectos.

Además, no existen mecanismos biofísicos comúnmente aceptados que sugieran una correlación entre la exposición a campos de frecuencia baja y la carcinogénesis. En consecuencia, de existir algún efecto atribuible a este tipo de exposición,

tendría que producirse a través de un mecanismo biológico aún desconocido. Por otra parte, los estudios con animales han arrojado mayormente resultados negativos. El balance que cabe hacer de todo ello es que las evidencias relacionadas con la leucemia infantil no son suficientemente sólidas para establecer una relación de causalidad’.

#### Oncología experimental en animales

‘En conjunto no hay ninguna prueba de que la exposición a campos magnéticos de ELF [Extremely Low Frequency Fields] provoque por sí sola la aparición de tumores. La evidencia de que la exposición a campos magnéticos de ELF puede potenciar el desarrollo de tumores en combinación con carcinógenos es inadecuada [insuficiente]’.

En lo que se refiere al cáncer de mama en animales, la opinión de la OMS, contemplando todos los estudios es que ‘con estos resul-

tados, la evidencia de una asociación entre la exposición a campos magnéticos de ELF y el riesgo de cáncer de mama en mujeres se debilita considerablemente y no respalda una asociación de este tipo’.

#### Oncología experimental In Vitro

‘En general, los estudios de los efectos de la exposición de células a campos de ELF no han mostrado ninguna inducción de genotoxicidad para campos por debajo de 50 mT. La notable excepción es la evidencia obtenida en estudios recientes en los que se han descrito daños en el ADN con campos de una intensidad de apenas 35  $\mu$ T. Sin embargo, estos estudios todavía están siendo evaluados

En conjunto no hay ninguna prueba de que la exposición a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja provoque por sí sola la aparición de tumores





Sobre la capacidad de interferir con la acción de la melatonina, la OMS señala que el sistema neuroendocrino no se afecta de forma adversa por los CEM

y la comprensión de estos hallazgos todavía es incompleta'. 'Algunos de los estudios citados... se han hecho a intensidades muy altas, de 1 mT, 10 veces más que el límite propuesto para exposición del público'.

Sobre la capacidad de interferir con la acción de la melatonina, la OMS dice: 'el sistema neuroendocrino no se

afecta de forma adversa por los CEM. Esto es así en particular para niveles de algunas hormonas circulantes, incluyendo la melatonina'.

En cuanto a los **radicales libres**: 'Los pares de radicales es un mecanismo aceptado por el cual los campos magnéticos pueden afectar ciertas reacciones químicas, en general aumentando la concentración de radicales libres. Estos aumentos se han visto con campos magnéticos de 1 mT. Se ha sugerido que es poco probable que a niveles de campo magnético inferiores a 50  $\mu$ T este mecanismo pueda tener relevancia biológica'.

Sobre la llamada **hipersensibilidad electro-magnética**: 'Algunas personas dicen ser hipersensibles a la electricidad. Los estudios de provocación, a doble ciego, sugieren que los síntomas referidos no se relacionan con la exposición a CEM'.

<https://www.who.int/peh-emf/publications/Chapter%201%20spanish.pdf?ua=1>

### Comisión Internacional sobre Protección frente a la Radiación No Ionizante (ICNIRP). 2010

*Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields [1 Hz to 100 kHz]. Health Phys. Dec; 99(6):818-36*

<http://www.icnirp.de/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf>

'En opinión de ICNIRP, que la evidencia científica disponible en la actualidad sobre si la exposición a largo plazo a campos magnéticos de baja frecuencia esté relacionada de forma causal con un aumento del riesgo de leucemia infantil es demasiado débil como para sentar

la base de una recomendación de exposición. En particular, si la relación no es causal entonces no se obtendrá ningún beneficio por la reducción de la exposición'.

La evidencia científica disponible en la actualidad sobre si la exposición a largo plazo a campos magnéticos de baja frecuencia esté relacionada de forma causal con un aumento del riesgo de leucemia infantil es demasiado débil

### Informe del Grupo Independiente de Expertos Sobre Campos Electromagnéticos de Suecia. 2013

'Para campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja y **riesgo de leucemia** todavía se mantiene la conclusión del informe anterior: se ha observado una asociación, pero no se ha establecido una relación causal. La evidencia sobre el

cáncer de mama se inclina en contra de un aumento del riesgo. No ha habido mucha información sobre exposiciones paternas y riesgo de cáncer infantil'.

Considerando informes previos de una asociación entre exposición a campos magnéticos y ciertas **enfermedades neurológicas**, es de interés mencionar la observación de un aumento de riesgo de

Existe poca evidencia para apoyar la hipótesis de que exposiciones paternas a CEM se relacionen con riesgo de cáncer en los hijos

problemas neurológicos en un estudio de supervivientes de descargas eléctricas [quienes posiblemente estaban también expuestos a campos magnéticos elevados] porque podría indicar que son las descargas eléctricas y no los campos magnéticos los involucrados en el desarrollo de enfermedades neurológicas. Sin embargo, debido al reducido número de casos el estudio no es informativo para las enfermedades de mayor interés, esclerosis lateral amiotrófica, esclerosis múltiple, enfermedad de Alzheimer,

de Parkinson y demencia vascular.

Asimismo, se dispone de poca información nueva sobre exposición paterna y **riesgo de cáncer en la infancia**, por lo que no cambia la conclusión del informe anterior: 'existe poca evidencia para apoyar la hipótesis de que exposiciones paternas se relacionen con cáncer en los hijos'.

### Red Europea sobre Evaluación de Riesgos por la Exposición a Campos Electromagnéticos (*European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Fields Exposure, EHFRAN*)

*Proyecto financiado dentro del Programa Marco en el campo de la Salud 2008-2013. Revisión de 2012*

[http://effran.polimi.it/docs/D2\\_Finalversion\\_oct2012.pdf](http://effran.polimi.it/docs/D2_Finalversion_oct2012.pdf)

Se ha analizado la evidencia para cada efecto sobre la salud. Las evidencias se han tomado de evaluaciones previas del EMF-NET (2009) y de SCENIHR 2009 unidas, cuando ha sido necesario, con datos más recientes descritos en esta evaluación.

Para ninguna de las enfermedades hay una evidencia suficiente de relación causal entre exposición a campos de baja frecuencia y riesgo de cada enfermedad.

Hay una evidencia limitada para la asociación entre campos

magnéticos y riesgo de leucemia en niños. Esta valoración refleja el estado actual de los conocimientos puesto que estudios epidemiológicos han mostrado una asociación entre exposiciones domésticas a campos de frecuencia

industrial por encima de aproximadamente 0,3 / 0,4  $\mu$ T y una duplicación del riesgo de leucemia infantil con cierto grado de consistencia, pero esta asociación por sí sola no es suficiente para concluir una relación causal.

### SCENIHR (Comité Científico sobre Riesgos Nuevos y Emergentes para la Salud) Dirección de Salud y Protección del Consumidor, Unión Europea]

*Conclusiones del informe de 2015*

'Los nuevos estudios epidemiológicos son coherentes con los hallazgos previos de un aumento de riesgo de leucemia infantil con exposiciones promedio diarias por encima de 0,3 a 0,4  $\mu$ T.

Como se dijo en opiniones anteriores de SCENIHR, en los estudios experimentales no se han identificado mecanismos y no existe soporte de los estudios experimentales que pueda explicar estos hallazgos lo cual, unido a las limitaciones de los estudios epidemiológicos, impide una interpretación causal'.

'Los estudios epidemiológicos no proporcionan una evidencia convin-

cente de un aumento de riesgo de enfermedades neurodegenerativas, incluyendo demencias, relacionadas con la exposición a campos magnéticos de frecuencia industrial. Además, no muestran evidencia de efectos adversos para el embarazo en relación con campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja'.

'En general, los estudios no proporcionan una evidencia convincente de que haya relación causal entre exposición a campo magnético de frecuencia extremadamente baja y síntomas autoreferidos'.

Los estudios epidemiológicos no proporcionan evidencias convincentes de aumento de riesgo de enfermedades neurodegenerativas, incluyendo demencias, relacionadas con la exposición a campos magnéticos de frecuencia industrial

## Legislación a c t u a l

### **Recomendación de la UE (1999/519/EC) relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos**

Esta recomendación tiene como objetivo proteger la salud de los ciudadanos y se aplica en especial a las zonas pertinentes en las que las personas pasan un lapso de tiempo significativo. Los niveles fijados en dicha recomendación están

encaminados a proporcionar un elevado nivel de protección de la salud contra la exposición a los campos electromagnéticos, tanto en lo que se refiere a los efectos agudos o a corto plazo como a los efectos a largo plazo. La implementación de estos límites en Europa se ha revisado en 2002 y 2008 sin que se reclame la modificación de los mismos.

**En ella se recomienda que la exposición a campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz de frecuencia no supere 5 kV/m y 100  $\mu$ T, respectivamente, en sitios donde el público pueda permanecer mucho tiempo.**

Transcurridos diez años de esta recomendación, se preguntó a la Comisión sobre su vigencia.

### **Respuesta de la Comisión a la Resolución del Parlamento Europeo**

‘Desde la adopción de la Resolución del Parlamento [P6\_TA(2008)0410] la Comisión ha conseguido una opinión actualizada [Enero 2009] de su Comité Científico para Nuevos y Emergentes Riesgos para la Salud (SCENIHR) sobre los efectos para la salud de la exposición a campos electromagnéticos.

La opinión revisa el estado del conocimiento científico en este área basado en todos los datos publicados y usando como valoración el peso de la evidencia. La Comisión está considerando las implicaciones de la nueva opinión de SCENIHR. La información científica disponible no proporciona evidencia de que sea necesario revisar los límites de

la Recomendación del Consejo [1999/519/EC]’.

En relación a este aspecto es interesante también lo que dice la OMS:

‘El uso de actitudes de precaución está justificado. Sin embargo no se recomienda que los valores límite en las guías de exposición se reduzcan a algún nivel arbitrario en nombre de la precaución. Tal práctica socava la base científica en la que se basan los límites y es probable que sea una forma cara y no necesariamente efectiva de proporcionar protección’.

**La OMS no recomienda que los valores límite en las guías de exposición se reduzcan a algún nivel arbitrario en nombre de la precaución**

## Relación de estudios publicados

**1** World Health Organization. Environmental health Criteria N° 238. Extremely Low Frequency Fields. 2007.

**2** International Agency for Research on Cancer. Volume 80. Non Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely low Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC Press Lyon, France 2002.

**3** Vijayalaxmi, Prihoda TJ. Genetic damage in mammalian somatic cells exposed to extremely low frequency electro-magnetic fields: a meta-analysis of data from 87 publications [1990-2007]. Int J Radiat Biol 2009 Mar 1985; 196-213.

**4** Albert GC, McNamee JP, Marro L, Bellier PV, Prato FS, Thomas AW. Assessment of genetic damage in peripheral blood of human volunteers exposed [whole-body] to a 200 mV, 60 Hz magnetic field. Int J Radiat Biol 2009 Feb 1985; 144-152.

**5** Celikler S, Aydemir N, Vatan O, Kurtuldu S, Bilaloglu R. A biomonitoring study of genotoxic risk to workers of transformers and distribution line stations. Int J Environ Health Res 2009 Dec 19; 421-430.

**6** Scaringi M, Temperani P, Rossi P, Bravo G, Gobba F. [Evaluation of the genotoxicity of the extremely low frequency-magnetic fields (ELF-MF) in workers ex-posed for professional reasons]. G Ital Med Lav Ergon 2007 Jul -Sep 29;420-421.

**7** Trillo MA, Martínez MA, Cid MA, Ubeda A. Retinoic acid inhibits the cytoproliferative response to weak 50 Hz magnetic fields in neuroblastoma cells. Oncol Rep 2013, 29(3): 885-94.

Martínez MA, Ubeda A, Cid MA, Trillo MA. The Proliferative Response of NB69 Human Neuroblastoma Cells to a 50 Hz Magnetic Field is mediated by ERK1/2 Signaling. Cell Physiol Biochem 2012 29; 675-686.

**8** Kirschenlohr H, Ellis P, Hesketh R, Metcalfe J. Gene expression profiles in white blood cells of volunteers exposed to a 50 Hz electromagnetic field. Radiat Res 2012 Sep 178; 138- 149.

**9** Fedrowitz M, Loscher W. Gene expression in the mammary gland tissue of female Fischer 344 and Lewis rats after magnetic field exposure [50 Hz, 100 mV] for 2 weeks. Int J Radiat Biol 2012 88(5); 425-9.

**10** Chung MK, Kim YB, Ha CS, Myung SH. Lack of a co-promotion effect of 60 Hz rotating magnetic fields on N-ethyl-N-nitrosourea induced neurogenic tu-mors in F344 rats. Bioelectromagnetics 2008 29(7); 539-48.

**11** Coulton LA, Harris PA, Barker TA, Pockley AG. Effect of 50 Hz electromagnetic fields on the induction of heat-shock protein gene expression in human leukocytes. Radiat.Res. 161(4), 430-434. 2004.

Henderson B, Kind M, Boeck G, Helmsberg A, Wick G. Gene expression profiling of human endothelial cells exposed to 50 Hz magnetic fields fails to produce regulated candidate genes. Cell Stress.Chaperones. 11(3), 227-232. 2006.

**12** Sommer AM, Lerchl A. The risk of lymphoma in AKR/J mice does not rise with chronic exposure to 50 Hz magnetic fields [1 mu T and 100 mu T]. Radiat.Res. 162(2), 194-200. 2004.

Sommer AM, Lerchl A. 50 Hz magnetic fields of 1 mT do not promote lymphoma development in AKR/J mice. Radiat.Res. 165(3), 343-349. 2006.

**13** Chung MK, Yu WJ, Kim YB, Myung SH. Lack of a co-promotion effect of 60 Hz circularly polarized magnetic fields on spontaneous development of lymphoma in AKR mice. Bioelectromagnetics 2010 31(2); 130-139.

**14** Bernard N, Alberdi AJ, Tanguy ML, Brugere H, Helissey P, Hubert C y cols. Assessing the potential leukemogenic effects of 50 Hz magnetic fields and their harmonics using an animal leukemia model. J Radiat Res [Tokyo] 2008 Nov 49; 565-577.

**15** Negishi T, Imai S, Shibuya K, Nishimura I, Shigemitsu T. Lack of promotion effects of 50 Hz magnetic fields on 7,12-dimethylbenz[a]anthracene-induced malignant lymphoma/lymphatic leukemia in mice. Bioelectromagnetics 2008 Jan 29; 29-38.

**16** Chung MK, Kim YB, Ha CS, Myung SH. Lack of a co-promotion effect of 60 Hz rotating magnetic fields on N-ethyl-N-nitrosourea induced neurogenic tumors in F344 rats. Bioelectromagnetics 2008 Oct 29; 539.

**17** Fedrowitz M, Loscher W. Exposure of Fischer 344 rats to a weak power frequency magnetic field facilitates mammary tumorigenesis in the DMBA model of breast cancer. Carcinogenesis 2008 Jan 29; 186-193.

**18** Grellier J, Ravazzani P, Cardis E. Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe. Environ Int 2014 Jan 62; 55-63.

**19** Skinner J, Mee TJ, Blackwell RP, Maslanjy MP, Simpson J, Allen SG y cols. Exposure to power frequency electric fields and the risk of childhood cancer in the UK. Br J Cancer 2002 87(11); 1257-1266.

**20** Draper G, Vincent T, Kroll ME, Swanson J. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. Brit.Med.J. 330(7503), 1290-1292A. 2005.

**21** Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y y cols. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: A case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. INT.J.CANCER 119(3), 643-650. 2006.

**22** Kroll ME, Swanson J, Vincent TJ, Draper GJ. Childhood cancer and magnetic fields from high-voltage power lines in England and Wales: a case-control study. Br J Cancer 2010 Sep 28 103;1122-1127

**23** Malagoli C, Fabbri S, Teggi S, Calzari M, Poli M, Ballotti E y cols. Risk of hematological malignancies associated with magnetic fields exposure from power lines: a case-control study in two municipalities of northern Italy. Environ Health 2010 Mar 30 2009; 16.

**24** Wunsch-Filho V, Pelissari DM, Barbieri FE, Sant'Anna L, de Oliveira CT, de Mata JF y cols. Exposure to magnetic fields and childhood acute lymphocytic leukemia in Sao Paulo, Brazil. Cancer Epidemiol 2011 Dec 35; 534-539.

**25** Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Draper G, Hagihara J, Lowenthal RM y cols. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer 2010; 103(7):1128-1135.

**26** Ahlbom A.; Day N.; Feychting M. y cols. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer 2000, 83(5), 692-698.

**27** Sermage-Faure C, Demoury C, Rudant J, Goujon-Bellec S, Guyot-Goubin A, Deschamps F y cols. Childhood leukaemia close to high-voltage power lines - the Geocap study, 2002- 2007. Br J Cancer 2013 198(9): 1899-906.

**28** Pedersen C, Raaschou-Nielsen O, Rod NH, Frei P, Poulsen AH, Johansen C y cols. Distance from residence to power line and risk of childhood leukemia: a population-based case-control study in Denmark. Cancer Causes Control 2014, 25(2):171-7.

**29** Bunch KJ, Keegan TJ, Swanson J, Vincent TJ, Murphy MF. Residential electric fields and the risk of high-voltage powerlines: childhood cancer risk in Britain 1962-2008. Br J Cancer 2014, 110(5): 1402-1408.

**30** Foliart DE, Pollock BH, Mezei G, Iriye R, Silva JM, Ebi KM y cols. Magnetic field exposure and long-term survival among children with leukaemia. Br J Cancer 2006; 94: 161-164.

**31** Svendsen AL, Weihkopf T, Kaatsch P, Schuz J. Exposure to magnetic fields and survival after diagnosis of childhood leukemia: a German cohort study. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 2007; 16: 1167-1171

**32** Schuz J, Grell K, Kinsey S, Linet MS, Link MP, Mezei G y cols. Extremely low-frequency magnetic fields and survival from childhood acute lymphoblastic leukemia: an international follow-up study. Blood Cancer J 2012, 2(12):e98.

**33** Does M, Scelo G, Metayer C, Selvin S, Kavet R, Buffler P. Exposure to electrical contact currents and the risk of childhood leukemia. Radiat Res 2011 Mar 175;390-396.

**34** Saito T.; Nitta H.; Kubo O. y cols. Power-frequency magnetic fields and childhood brain tumors: a case-control study in Japan. J Epidemiol 2010, 20 (1) 54-61.

**35** Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM y cols. A pooled analysis of extremely low-frequency magnetic fields and childhood brain tumors. Am J Epidemiol. 2010 172(7):752-61.

**36** Schmiedel S and Blettner M. The association between extremely low-frequency electromagnetic fields and childhood leukaemia in epidemiology: enough is enough? Br J Cancer, 2010; 103(7): 931-932.

**37** Savitz DA. The etiology of epidemiologic perseveration: when enough is enough. Epidemiology. 2010;21 (3):281-283.

**38** Marcilio I, Gouveia N, Pereira Filho ML, Kheifets L. Adult mortality from leukemia, brain cancer, amyotrophic lateral sclerosis and magnetic fields from power lines: a case-control study in Brazil. Rev Bras Epidemiol 2011 Dec 1914;580-588.

**39** Elliott P, Shaddick G, Douglass M, de Hoogh K, Briggs DJ, Toledano MB. Adult Cancers Near High-voltage Overhead Power Lines. Epidemiology 2013; 24(2):179-183.

**40** Bunin GR. y cols. Neuroblastoma and parental occupation. Am J Epidemiol 1990; 131 (5): 776-780.

**41** De Roos AJ. y cols. Parental occupational exposures to electromagnetic fields and radiation and the incidence of neuroblastoma in offspring. Epidemiology 2001; 12; 508- 517.

**42** Johnson CC. y cols. Childhood nervous system tumours: an assessment of risk associated with paternal occupations involving use, repair or manufacture of electrical and electronic equipment. Int J Epidemiol 1989; 18 (4):756-762.

**43** Kuitjen RR. y cols. Parental occupation and childhood astrocytoma: results of a case-control study. Cancer Res 1992; 52(4): 782-786.

**44** Li P. y cols. Maternal occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and the risk of brain cancer in the offspring. Cancer Causes Control 2009; 20; 945-955.

**45** MacCarthy AM. y cols. Paternal occupation and neuroblastoma: a case control study base don cancer registry data for Great Britain 1962-1999. Br. J. Cancer 2010; 102. 615-619.

**46** Nasca PC. y cols. An epidemiologic case-control study of central nervous system tumors in children and parental occupational exposures. Am J Epidemiol 1988; 128 (6): 1256 - 1265.

**47** Spitz MR. y cols. Neuroblastoma and paternal occupation. A case-control analysis. Am J Epidemiol 1985; 121 (6): 924-929.

**48** Wilkins JR. y cols. Paternal occupational exposure to electromagnetic fields and neuroblastoma in offspring. Am. J. Epidemiol. 1990, 131; 995-1008.

**49** Wilkins JR. y cols. Brain tumor risk in offspring of men occupationally exposed to electric and magnetic fields. *Scand J Work Environ Health* 1996; 22 (5): 339 - 345.

**50** Wilkins JR. y cols. Paternal occupation and brain cancer in offspring: a mortality based case-control study. *Am. J. Ind. Med.* 1988, 14, 299-318.

**51** McKinney PA. y cols. Parental occupation at periconception: findings from the UK childhood cancer study. *Occup Environ Med.* 2003; 60:901-909.

**52** Sorahan T. y cols. Maternal occupational exposure to electromagnetic fields before, during, and after pregnancy in relation to risks of childhood cancers: findings from the Oxford Survey of Childhood Cancers, 1953-1981 deaths. *Am J Ind Med* 1999; 35(4):348- 357.

**53** Feychting M. y cols. Parental occupational exposure to magnetic fields and childhood cancer. *Cancer Causes Control* 2000;11: 151-156.

**54** Hug K. y cols. Parental occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and childhood cancer: a German case-control study. *Am J Epidemiol* 2010; 171:27-35.

**55** Smulevich VB. y cols. Parental occupation and other factors and cancer risk in children: II. Occupational factors. *Int J Cancer.* 1999; 83(6): 718-22.

**56** Infante-Rivard C. y cols. Maternal occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields during pregnancy and childhood leukemia. *Epidemiology* 2003;14:437-441.

**57** Pearce MS. y cols. Paternal occupational exposure to electromagnetic fields as a risk factor for cancer in children and young adults: a case-control study from the North of England. *Pediatr Blood Cancer* 2007; 49:280-286.

**58** Reid A. y cols. Risk of childhood acute lymphoblastic leukemia following parental occupational exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. *Br J Cancer* 2011; 105 (9): 1409-1413.

**59** Johansen C, Raaschou y cols. Risk for leukaemia and brain and breast cancer among Danish utility workers: a second follow-up. *Occup Environ Med* 2007; 64:782-4.

**60** Guxens M, Slottje P, Kromhout H, Huss A, Ivar MJ, Kauppinen T y cols. occupational exposure to extremely

low frequency magnetic fields or electric shocks and cancer incidence in four Nordic countries. *Occup Environ Med* 2014 71; Suppl 1: A50.

**61** Turner MC, Benke G, Bowman JD, Figuerola J, Fleming S, Hours M y cols. Occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and brain tumour risks in the INTEROCC study. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2014, 23, 1863-72.

**62** Koeman T, van den Brandt PA, Slottje P, Schouten LJ, Goldbohm RA, Kromhout H y cols. Occupational extremely low-frequency magnetic field exposure and selected cancer outcomes in a prospective Dutch cohort. *Cancer Causes Control* 2014, 25; 203-214.

**63** Nichols L, Sorahan T. Mortality of UK electricity generation and transmission workers, 1973-2002. *Occup Med (Lond)* 2005 55(7); 541-548.

**64** Sorahan T. Cancer incidence in UK electricity generation and transmission workers, 1973- 2008. *Occupational Medicine* 2012, 62(7): 496-505.

**65** Sorahan T. Magnetic fields and brain tumour risks in UK electricity supply workers. *Occup Med (Lond)* 2014, 64(3): 157-65.

**66** Sorahan T. Magnetic fields and leukaemia risks in UK electricity supply workers. *Occup Med (Lond)* 2014 64(3): 150-56.

**67** Kheifets L, Monroe J, Vergara X, Mezei G, Afifi AA. Occupational electromagnetic fields and leukemia and brain cancer: an update to two meta-analyses. *J Occup Environ Med* 2008;50:677-688.

**68** Consoles C, Merla C, Marino C, Benassi B. Electromagnetic fields, oxidative stress, and neurodegeneration. *Int J Cell Biol* 2012, Article ID 683897. doi: org/10.1155/2012/683897.

**69** Mattsson MQ, Simko M. Is there a relation between extremely low frequency magnetic field exposure, inflammation and neurodegenerative diseases? A review of in vivo and in vitro experimental evidence. *Toxicology* 2012, 30(1-3):1-12.

**70** Zhang C, Li Y, Wang C, Lv R, Song T. Extremely low-frequency magnetic exposure appears to have no effect on pathogenesis of Alzheimer's disease in alu-minum-overloaded rat. *PLoS One* 2013 Aug 12 8(8) e71087. doi: 10.1371/journal.pone.0071087. eCollection.

**71** Poulletier dG, Ruffie G, Taxile M, Ladeveze E, Hurtier A, Haro E et al. Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) and extremely-low frequency (ELF) magnetic fields: a study in the SOD-1 transgenic mouse model. *Amyotroph Lateral Scler* 2009 Oct -Dec 2010;370-373.

**72** Vergara X, Kheifets L, Greenland S, Oksuzyan S, Cho YS, Mezei G. Occupational Exposure to Extremely Low-Frequency Magnetic Fields and Neurodegenerative Disease: A Meta-Analysis. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2013; 55(2) 135-146.

**73** Van der MM, Vermeulen R, Nijssen PC, Mulleners WM, Sas AM, van Laar T et al. Extremely low-frequency magnetic field exposure, electrical shocks and risk of Parkinson's disease. *Int Arch Occup Environ Health* 2014 Jun 18.

**74** Vergara X, Mezei G, Kheifets L. Case-control study of occupational exposure to electric shocks and magnetic fields and mortality from amyotrophic lateral sclerosis in the US, 1991-1999. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2014 Jun 11. doi:10.1038/jes.2014.39.

**75** Huss A, Spoerri A, Egger M, Kromhout H, Vermeulen R. Occupational exposure to magnetic fields and electric shocks and risk of ALS: The Swiss National Cohort. *Amyotroph Lateral Scler Frontotemporal Degener* 2014 Sep 17:1-6

**76** Sorahan T, Kheifets L. Mortality from Alzheimer's, motor neuron and Parkinson's disease in relation to magnetic field exposure: findings from the study of UK electricity generation and transmission workers, 1973-2004. *Occup. Environ. Medicine* 2007, 64(12), 820-826.

**77** Sorahan T, Mohammed N. Neurodegenerative disease and magnetic field exposure in UK electricity supply workers. *Occupational Medicine* 2014; 64(6):454-460.

**78** Huss A, Spoerri A, Egger M, Roosli M, for the Swiss National Cohort Study. Residence Near Power Lines and Mortality From Neurodegenerative Diseases: Longitudinal Study of the Swiss Population. *Am J Epidemiol* 2009; 169(2):167-175.

**79** Frei P, Poulsen AH, Mezei G, Pedersen C, Cronberg Salem L, Johansen C et al. Residential Distance to High-voltage Power Lines and Risk of Neurodegenerative Diseases: a Danish Population-based Case-Control Study. *Am J Epi-demiol* 2013. 177 (9): 970-978.

**80** Marcilio I, Gouveia N, Pereira Filho ML, Kheifets L. Adult mortality from leukemia, brain cancer, amyotrophic lateral sclerosis and magnetic fields from power lines: a case-control study in Brazil. *Rev Bras Epidemiol* 2011 Dec 14(4):580-588.

**81** Al Akhras MA, Elbetieha A, Hasan MK, Al Omari I, Darmani H, Albiss B. Effects of extremely low frequency magnetic field on fertility of adult male and female rats. *Bioelectromagnetics* 2001. Jul 1922:340-344.

Al Akhras MA, Darmani H, Elbetieha A. Influence of 50 Hz magnetic field on sex hormones and other fertility parameters of adult male rats. *Bioelectromagnetics* 2006, 27(2), 127- 131.

**82** Tenorio BM, Jiménez GC, Morais RN, Torres SM, Albuquerque NR, Silva J, V. Testicular development evaluation in rats exposed to 60 Hz and 1 mT electromagnetic field. *J Appl Toxicol* 2011, 31, 3, 223-230.

**83** Elbetieha A, AlAkhras MA, Darmani H. Long-term exposure of male and female mice to 50 Hz magnetic field: Effects on fertility. *Bioelectromagnetics* 2002, 23(2), 168-172.

**84** Kim HS, Park BJ, Jang HJ, Ipper NS, Kim SH, Kim YJ et al. Continuous exposure to 60 Hz magnetic fields induces duration- and dose-dependent apoptosis of testicular germ cells. *Bioelectromagnetics* 2014 Feb 1935:100-107.

**85** De Bruyn L, de Jager L. Effect of long-term exposure to a randomly varied 50 Hz power frequency magnetic field on the fertility of the mouse. *Electromagn Biol Med* 2010 Jun 1929:52-61.

**86** Duan W, Liu C, Wu H, Chen C, Zhang T, Gao P et al. Effects of exposure to extremely low frequency magnetic fields on spermatogenesis in adult rats. *LID - 10.1002/bem.21816* [doi]. *Bioelectromagnetics* 2014 35, 1, 58-69.

**87** Negishi T, Imai S, Itabashi M, Nishimura I, Sasano T. Studies of 50 Hz circularly polarized magnetic fields of up to 350  $\mu$ T on reproduction and embryo-fetal development in rats:

**87** Exposure during organogenesis or during preimplantation. *Bioelectromagnetics* 2002, 23(5), 369-389.

**88** Chung MK, Kim JC, Myung SH. Lack of adverse effects in pregnant/lactating female rats and their offspring following pre- and postnatal exposure to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2004, 25(4), 236-244.

Chung MK, Kim JC, Myung SH, Lee DI. Developmental toxicity evaluation of ELF magnetic fields in Sprague-Dawley rats. *Bioelectromagnetics* 2003, 24(4), 231-240.

**89** Blaasaas KG, Tynes T, Lie RT. Risk of selected birth defects by maternal residence close to power lines during pregnancy. *Occup. Environ. Medicine* 2004, 61(2), 174-176.

Blaasaas KG, Tynes T, Lie RT. Residence near power lines and the risk of birth defects. *EPIDEMIOLOGY.* 2003, 14(1), 95-98.

**90** Malagoli C, Crespi CM, Rodolfi R, Signorelli C, Poli M, Zanichelli P et al. Maternal exposure to magnetic fields from high-voltage power lines and the risk of birth defects. *Bioelectromagnetics* 2012, 33, 5, 405-9.

**91** Li, D.K.; Odouli, R.; Wi, S.; Janevic, T.; Golditch, I.; Bracken, T.D.; Senior, R.; Rankin, R.; Iriye, R.A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. *Epidemiology* 2002, 13 (1) 9-20.

**92** Lee, G.M.; Neutra, R.R.; Hristova, L.; Yost, M.; Hiatt, R.A.A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages. *Epidemiology* 2002, 13 (1) 21-31.

**93** Auger N, Joseph D, Goneau M, Daniel M. The relationship between residential proximity to extremely low frequency power transmission lines and adverse birth outcomes. *J Epidemiol Community Health.* 2011; 65(1):83-5.

**94** Auger N, Park AL, Yacouba S, et al. Stillbirth and residential proximity to extremely low frequency power transmission lines: a retrospective cohort study. *Occup Environ Med.* 40 2012; 69(2):147-9.

**95** Wang Q, Cao Z, Qu Y, Peng X, Guo S, Chen L. Residential exposure to 50 Hz magnetic fields and the association with miscarriage risk: a 2-year prospective cohort study. *PLoS ONE* 2013, 8(12): e82113.

**96** De Vocht F, Hannam K, Baker P, Agius R. Maternal residential proximity to sources of extremely low frequency electromagnetic fields and adverse birth outcomes in a UK cohort. *Bioelectromagnetics* 2014, 35, 3, 201-209.

**97** Baliatsas C, Van K, I, Bolte J, Schipper M, Yzermans J, Lebrete E. Non-specific physical symptoms and electromagnetic field exposure in the general population: Can we get more specific? A systematic review. *Environ Int* 2012 Jan 13 1941:15-28.

**98** Rubin GJ, Das MJ, Wessely S. Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation studies. *Psychosom Med* 2005 Mar -Apr 1967:224-232.

**99** Rubin GJ, Nieto-Hernández R, Wessely S. Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly "electromagnetic hypersensitivity"): An updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics* 2010 Jan 1931:1-11.

**100** Rubin GJ, Hillert L, Nieto-Hernández R, van Rongen E, Oftedal G. Do people with idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields display physiological effects when exposed to electromagnetic fields? A systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics* 2011, 32 (8) 593-609

**101** Organización Mundial de la Salud (OMS). Campos electromagnéticos y salud pública. Hipersensibilidad electromagnética. Hoja descriptiva N° 296-Diciembre 2005. Disponible en

[http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/ehs\\_fs\\_296\\_spanish.pdf?ua=1](http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/ehs_fs_296_spanish.pdf?ua=1)

**102** EHFran. Red Europea sobre Evaluación de Riesgos por la Exposición a Campos Electromagnéticos, 2012,

[http://efhran.polimi.it/docs/D2\\_Finalversion\\_oct2012.pdf](http://efhran.polimi.it/docs/D2_Finalversion_oct2012.pdf)



**RED**  
**ELÉCTRICA**  
DE ESPAÑA

Paseo del Conde  
de los Gaitanes, 177  
28109 Alcobendas  
[Madrid]

[www.ree.es](http://www.ree.es)



Instituto de Magnetismo Aplicado  
Laboratorio "Salvador Velayos"  
UCM - ADIF - CSIC

Vía de Servicio  
A-6, 900,  
28232 Las Rozas de Madrid  
[Madrid]

[www.ima-ucm.es](http://www.ima-ucm.es)

