

CAMPOS *eléctricos*

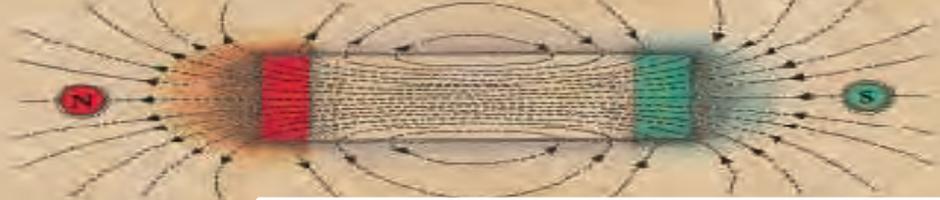
MAGNÉTICOS

50-HZ

*análisis del estado actual de conocimientos*  
2001







## índice

*Introducción* ..... página 7

*Cuestiones técnicas* ..... página 9

*Términos Eléctricos*

Electricidad y magnetismo

Cargas eléctricas

Tensión

Corriente eléctrica

Frecuencia

Sistema eléctrico

Elementos del sistema eléctrico

*Los Campos Eléctricos y Magnéticos*

Campo eléctrico

Campo magnético

El campo electromagnético. Ecuaciones de Maxwell

Energía del campo electromagnético: ondas electromagnéticas

El espectro de frecuencias

Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz

*Medición y cálculo de campos eléctricos y magnéticos*

*Fuentes y valores de campos electromagnéticos*

*Exposición a campos magnéticos: dosimetría*

*¿Qué sucede cuando se está expuesto a campos eléctricos o magnéticos?* ..... página 33

*¿Suponen los campos eléctricos y magnéticos un riesgo para la salud de las personas?* ..... página 37

*¿Qué mecanismos de acción se han investigado?*

*¿Qué problemas de salud se han investigado?*

*Fertilidad y Reproducción*



- *Cáncer*
- Leucemia y linfoma
- Cáncer de piel
- Cáncer de mama
- Tumores cerebrales
- *Otros efectos investigados*
- Absentismo laboral
- Depresión y suicidio en trabajadores eléctricos
- Otros problemas neurológicos

**5** *¿Qué opinan los organismos nacionales e internacionales?* ..... página 65

**6** *Actualización de la legislación* ..... página 71

**7** *Otros aspectos de interés* ..... página 75

- *Estudios sobre especies animales de interés comercial*
- *Interferencias con marcapasos y otros dispositivos*
- *Tubos Fluorescentes y líneas eléctricas*

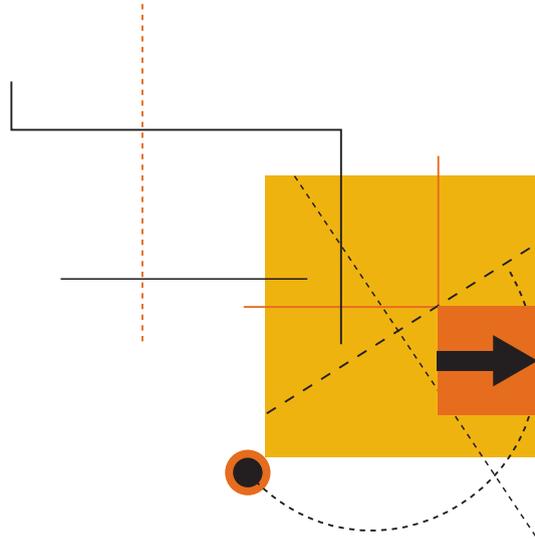
**8** *Reducción de la exposición a campo magnético* ..... página 79

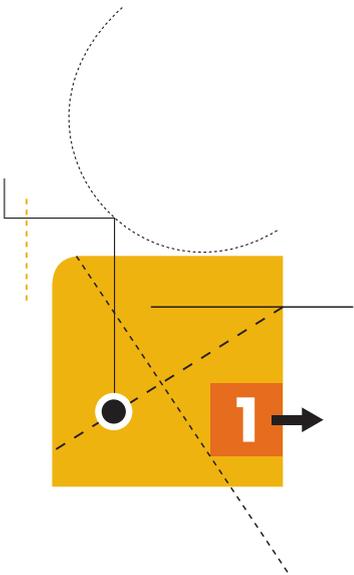
**9** *Actitud de las empresas eléctricas españolas* ..... página 85

**10** *Glosario* ..... página 87

**11** *Referencias* ..... página 89

- *Anexo I: Conceptos de epidemiología.*
- *Anexo II: Estudios epidemiológicos sobre líneas eléctricas y leucemia infantil.*
- *Anexo III: Clasificación de la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) de los campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz.*





# 1

## Introducción

En la primera edición de “*Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz. Análisis del estado actual de conocimientos (1998)*” se exponían argumentos que indicaban que los campos electromagnéticos de 50 Hz no suponen un riesgo para la salud. Desde entonces se han publicado nuevos estudios e informes científicos que refuerzan esta conclusión, avalada recientemente por el Ministerio de Sanidad y Consumo de España. La relevancia de estos hechos justifica por sí misma la conveniencia de reeditar esta publicación.

Durante este tiempo se han publicado tres estudios epidemiológicos de gran envergadura y calidad técnica sobre la posible incidencia de cáncer en niños que viven cerca de líneas eléctricas; de particular interés es el realizado en el Reino Unido, puesto que refleja las condiciones de exposición de los niños en Europa. También se han publicado algunos estudios sobre diversas enfermedades, no sólo cáncer, en trabajadores expuestos a campos electromagnéticos.

Nuevos estudios de laboratorio, tanto sobre células como sobre animales, han intentado explorar nuevos mecanismos de acción, otros efectos o confirmar los previamente descritos. En particular hay que destacar la finalización del programa de investigación EMF-RAPID (*Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination Program*), llevado a cabo por orden del Congreso de Estados Unidos y que proporciona una visión global sobre diferentes mecanismos de acción y posibles efectos de los campos electromagnéticos. Sus resultados y conclusiones -que los campos electromagnéticos de 50 Hz no están relacionados con el proceso cancerígeno- serán también objeto de comentario en esta publicación.

En España un extenso estudio sobre posibles mecanismos de acción llevado a cabo por la Facultad de Medicina de la Universidad de Valladolid en colaboración con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.) llega a las mismas conclusiones, al igual que otros programas de investigación realizados en diversos países, como Japón.

En el entorno legislativo hay que resaltar la aprobación de una Recomendación de la Unión Europea (1999/519/CE) sobre límites de exposición del público en general a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz, basada en una guía elaborada por ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección frente a Radiaciones No Ionizantes), organismo vinculado a la OMS. En España, el Ministerio de Sanidad y Consumo ha elaborado un informe que concluye que a los niveles recomendados por la Unión Europea no existe un peligro para la salud.



# 2

## Cuestiones técnicas

### TÉRMINOS ELÉCTRICOS

#### Electricidad y Magnetismo

Con el término genérico de *electricidad* se indica el conjunto de fenómenos físicos en los cuales intervienen cargas eléctricas, tanto si están en reposo como si están en movimiento. En este último caso se originan una serie de fenómenos físicos que son los que estudia el *magnetismo*. Por consiguiente, ambos tipos de fenómenos -los eléctricos y los magnéticos- están íntimamente relacionados y se estudian de manera conjunta a través de lo que se denomina *teoría electromagnética*.

La electricidad es una de las formas en las que se manifiesta la energía y se obtiene de otras fuentes energéticas llamadas primarias, como pueden ser las energías térmicas producidas mediante la combustión de diversas materias fósiles (carbón, gas, petróleo, etc.), la energía hidráulica producida por el movimiento del agua, la energía solar y, en definitiva, un sinnúmero de fuentes de energía disponibles en nuestro entorno.

#### Cargas eléctricas

Todo cuerpo material está formado por partículas elementales llamadas *átomos*. El átomo, en estado neutro, está formado por un núcleo que tiene un número de cargas positivas (*protones*) igual al de las cargas negativas (*electrones*) que se encuentran a su alrededor. Los *iones* son átomos que han cedido o capturado electrones. En definitiva, **los iones, protones y electrones son los portadores de la electricidad**. Puede decirse que un aislante perfecto no permite el movimiento de cargas en su interior, mientras que un conductor perfecto no opone resistencia alguna a ese movimiento.

La unidad de *carga eléctrica* en el Sistema Internacional es el *Culombio*, cuyo símbolo es C. Un culombio es la carga equivalente a un conjunto de  $6 \times 10^{18}$  electrones.

Las cargas de igual signo se repelen y las de distinto signo se atraen, de tal manera que la separación de cargas de signo opuesto exige la realización de un trabajo contra el campo eléctrico existente. Las formas en las que se manifiesta este trabajo son diversas: acciones mecánicas, térmicas, químicas, etc.

## Tensión

La *tensión* o *diferencia de potencial* entre dos puntos es el trabajo necesario para mover las cargas eléctricas entre dichos puntos (Figura 1). Su unidad de medida es el *voltio* (V).

## Corriente eléctrica

Se define como *corriente eléctrica* el movimiento de cargas eléctricas a través de un medio conductor o a lo largo de un circuito (Figura 1). La *intensidad* de la corriente eléctrica es la cantidad de cargas que circula por un conductor por unidad de tiempo, y su unidad de medida es el *amperio* (A).

Al poner en contacto mediante un conductor dos elementos entre los que existe una diferencia de potencial se genera una *corriente eléctrica*. En el conductor se produce un flujo ordenado de cargas eléctricas -electricidad- en el sentido de los potenciales decrecientes. Si la diferencia de potencial entre las dos superficies se mantiene constante, mediante una máquina eléctrica adecuada, por el conductor circulará una corriente constante en dirección e intensidad.

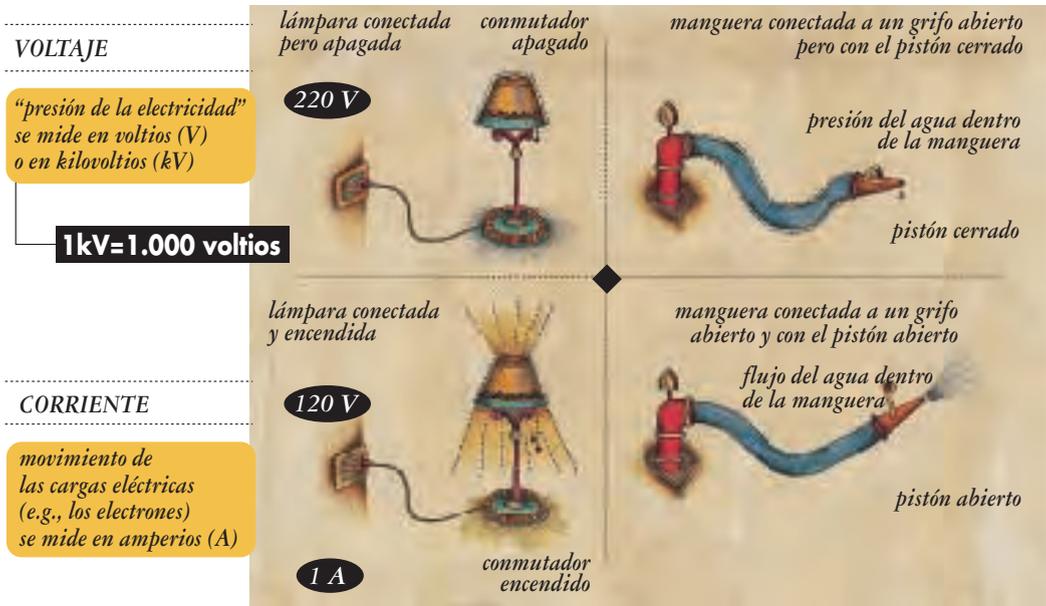


Figura 1. Tensión y corriente eléctrica.

## Frecuencia

Existen dos tipos de corriente eléctrica: continua y alterna.

*Corriente continua* (CC) es la que fluye de un punto a otro siempre en el mismo sentido. Un ejemplo es la corriente que circula cuando se conecta un aparato a una pila eléctrica.

*Corriente alterna* (CA) es la que fluye de un punto a otro cambiando de sentido periódicamente con el tiempo. La *frecuencia* de este cambio es una magnitud característica que se expresa en ciclos por segundo o *hertzios* (Hz): siendo 1 Hz = 1 ciclo por segundo (Figura 2). La *longitud de onda* es la distancia recorrida por la corriente eléctrica durante un ciclo. Cuando aumenta la frecuencia (ciclos por segundo), disminuye la longitud de onda.

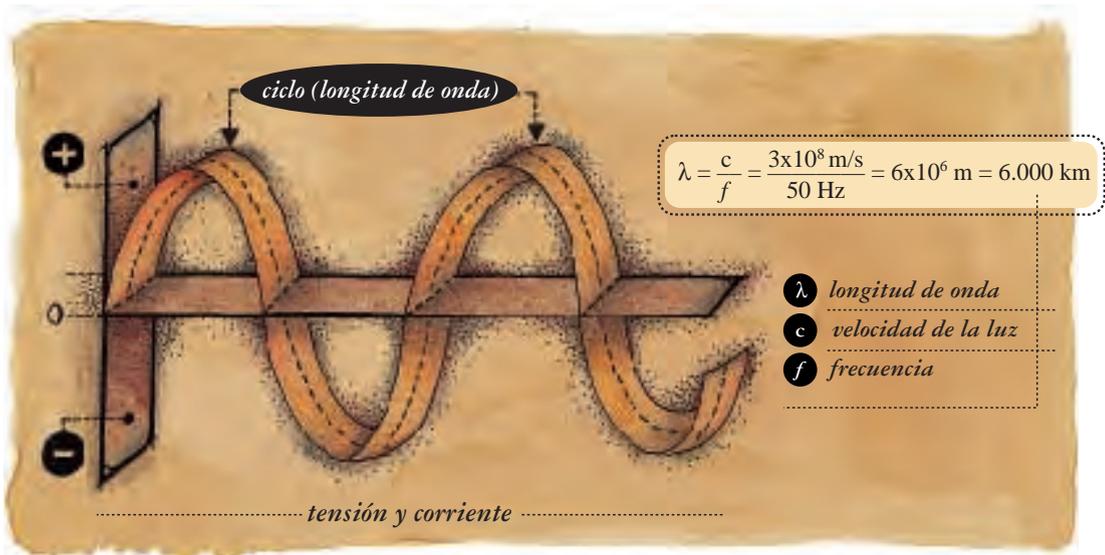


Figura 2. Frecuencia y ciclos. Longitud de onda a 50 Hz.

### Sistema eléctrico

Un *sistema eléctrico* puede ser definido como el conjunto de elementos que hacen posible disponer de energía eléctrica en cualquier punto en el que se considere adecuada o necesaria su utilización.

Las características más importantes de un sistema eléctrico son la *frecuencia*, la *intensidad* y la *tensión*, es decir, los conceptos que se han definido anteriormente.

La frecuencia es fija para cada sistema eléctrico, pero puede variar de unos sistemas a otros. Por ejemplo, en Europa tiene un valor de 50 ciclos por segundo (50 Hz), mientras que en Estados Unidos y en Canadá tiene un valor de 60 Hz. En cualquier caso, sus valores siempre están dentro de lo que se denomina **frecuencia extremadamente baja o frecuencia industrial**.

La intensidad circulante en un punto del sistema depende de la energía demandada por los consumidores, por lo que su valor puede variar continuamente.

Por lo que se refiere a la tensión, motivos técnicos, económicos y de seguridad obligan a que sea distinta en los puntos de producción, en los puntos de consumo y en los distintos tramos de las líneas que los unen. Por ello, es necesario disponer en los distintos puntos del trayecto que recorren estas líneas de elementos *transformadores*, capaces de aumentar o disminuir la tensión.

### Elementos del sistema eléctrico

El sistema eléctrico está integrado por una variada serie de elementos (Figura 3), entre los que cabe destacar los siguientes: centros de generación, líneas de transporte en alta tensión (AT), estaciones transformadoras (AT/MT), líneas de distribución en media tensión (MT), centros de transformación (MT/BT), líneas de distribución en baja tensión (BT), aparatos de medida y elementos consumidores.

## ► Centros de generación

Son los elementos del sistema que producen la energía eléctrica.

Según el recurso energético que utilicen pueden clasificarse en instalaciones de energías renovables (hidráulicas, eólicas, solares,...) y no renovables (carbón, gas, fuelóleo, nuclear...).

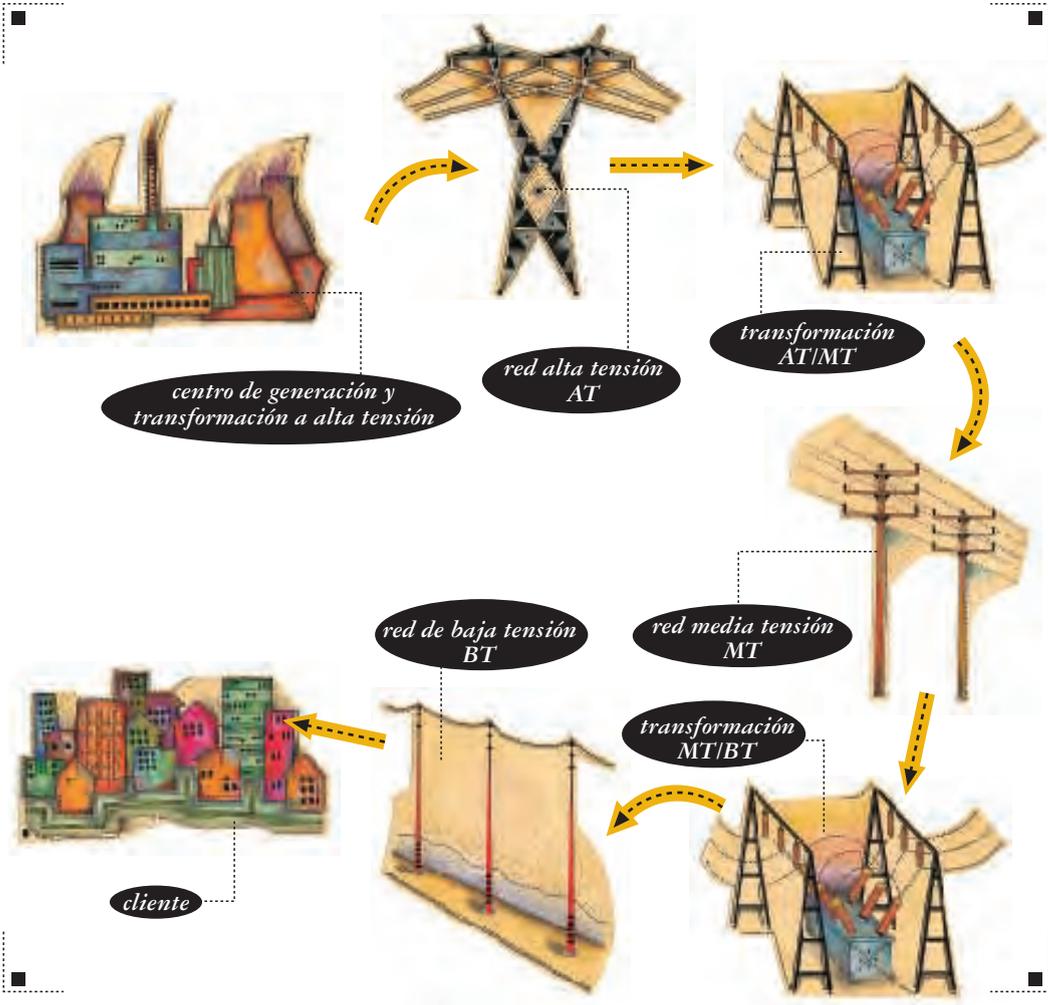


Figura 3. Esquema de sistema eléctrico.

## ► Líneas de transporte en alta tensión (AT)

Forman una malla que cubre todo el territorio y permiten el suministro de la energía desde los centros de generación que resulten más adecuados en cada momento. Hay en ella distintos escalones de tensión, desde los 30.000 a los 400.000 voltios.

Las líneas de alta tensión son necesarias para:

- Transportar eficientemente la energía eléctrica a largas distancias.
- Satisfacer la demanda creciente de los centros de consumo.
- Disminuir la intensidad de la corriente y el número de líneas necesarias para transportarla.

► **Estaciones transformadoras (AT/MT)**

Los transformadores adecúan la tensión a los distintos escalones de la red de transporte o a la tensión de la red de distribución en media tensión.

► **Líneas de distribución en media tensión (MT)**

Llevan la energía a los centros de transformación.

En grandes poblaciones suelen formar mallas, generalmente subterráneas, que unen los distintos centros de transformación. La tensión en estas líneas varía desde 1.000 a menos de 30.000 voltios.

► **Centros de transformación (MT/BT)**

Reducen la tensión de forma apropiada para que la corriente pueda ser utilizada por los consumidores.

► **Líneas de distribución en baja tensión (BT)**

Llevan la energía a los elementos consumidores. Tienen menos de 1.000 voltios.

► **Aparatos de medida**

Miden la energía consumida y facilitan su comercialización.

Se sitúan en las instalaciones que son propiedad del consumidor de la energía.

► **Elementos consumidores**

Son los distintos aparatos y máquinas que utilizan la energía eléctrica para funcionar.

## LOS CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

### Campo eléctrico

El concepto de *campo eléctrico* fue introducido en la teoría electromagnética para describir las fuerzas existentes entre cargas eléctricas. El campo eléctrico en un punto del espacio producido por una o varias cargas eléctricas se define en términos de la fuerza que experimenta una unidad de carga estacionaria situada en dicho punto. El campo eléctrico  $\vec{E}$  se expresa en voltios por metro (V/m), o su múltiplo kV/m (1 kV/m = 1.000 V/m).

Como cada carga está rodeada de un campo eléctrico, es razonable considerar que las cargas son las fuentes que producen estos campos.

Si ambas cargas son de distinto signo la fuerza que se ejerce será atractiva, y si son de distinto signo será repulsiva (Figura 4).

La intensidad del campo eléctrico creado por una carga es inversa-

*Dado un conjunto de cargas eléctricas, si se coloca cerca una pequeña carga de prueba  $q$  inmóvil, esta carga experimentará una fuerza  $\vec{F}$ . Esta fuerza es proporcional a la carga y su cociente representa una propiedad local de ese punto del espacio, denominado campo eléctrico  $\vec{E}$ .*

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

mente proporcional al cuadrado de la distancia, lo cual hace que disminuya rápidamente cuando la distancia a la carga aumenta.

El valor del campo eléctrico es función de la tensión del sistema eléctrico; es decir, **cuanto mayor sea la tensión del dispositivo más intenso será el campo eléctrico que genere.**

Existe un campo eléctrico natural, creado por las cargas eléctricas presentes en la ionosfera. Su valor varía desde 100-400 V/m en condiciones de buen tiempo, hasta 20.000 V/m en condiciones de fuerte tormenta (Figura 8).

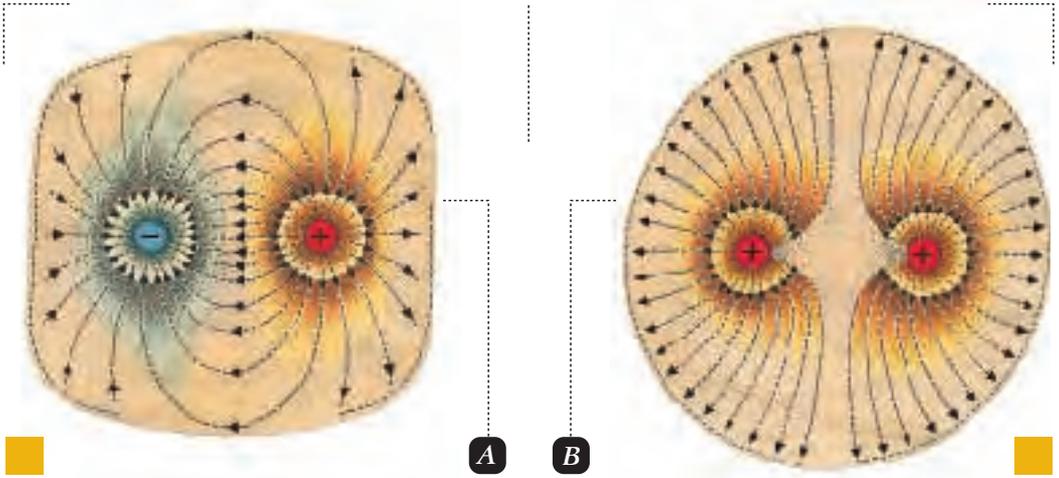


Figura 4. A) Líneas de campo eléctrico entre dos cargas iguales y de signo opuesto.  
B) Líneas de campo eléctrico entre dos cargas iguales y del mismo signo.

### Campo magnético

El campo magnético es un concepto introducido en la teoría electromagnética para explicar las fuerzas que aparecen entre corrientes eléctricas.

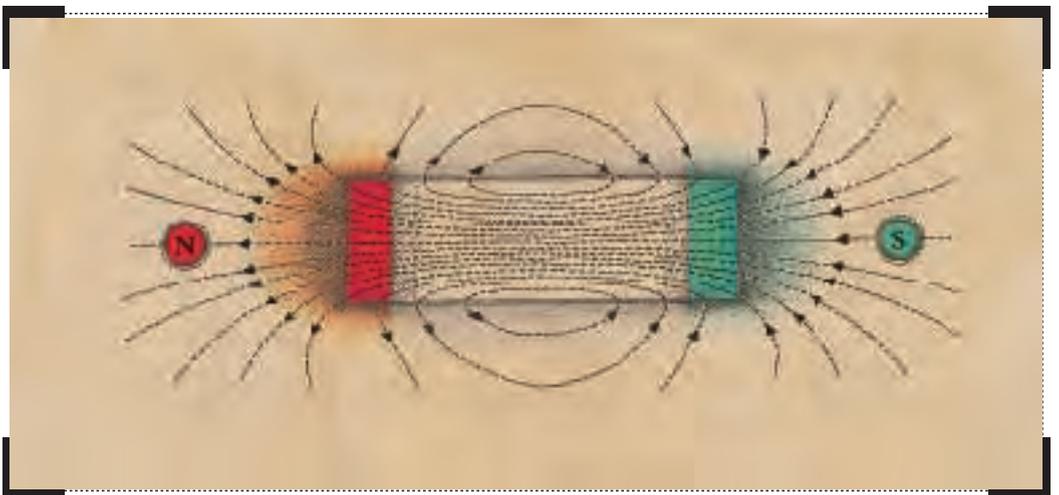
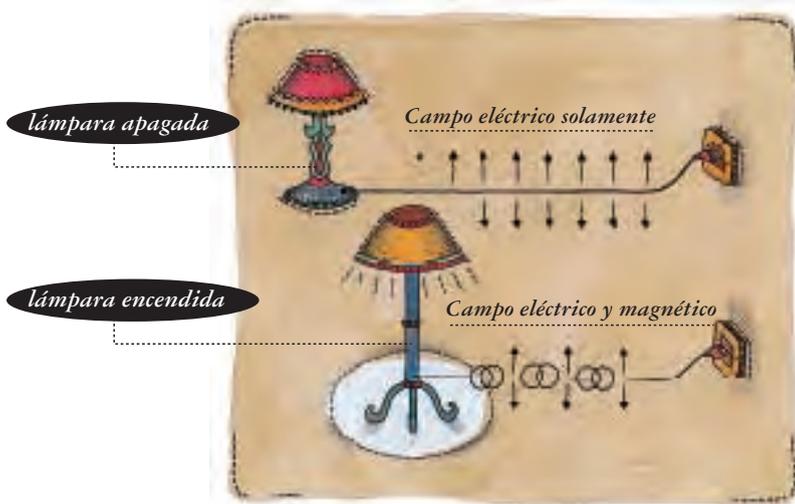


Figura 5. Líneas de campo magnético de un imán en forma de barra.

Los campos magnéticos son producidos por cargas en movimiento, es decir, por corrientes eléctricas; aunque también se pueden producir campos magnéticos con imanes permanentes (ver Figura 5).

El campo magnético  $\vec{H}$  en un punto dado del espacio se define como la fuerza que se ejerce sobre un elemento de corriente situado en dicho punto, y se expresa en amperios por metro (A/m).

Así pues, el campo eléctrico existe siempre que haya cargas eléctricas, mientras que sólo hay campo magnético cuando esas cargas están en movimiento, es decir, cuando hay un flujo de corriente eléctrica (Figura 6).

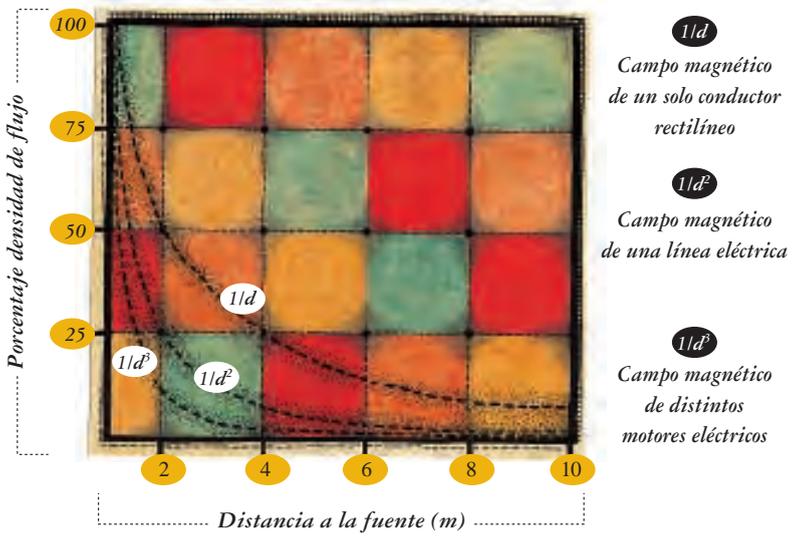


La intensidad del campo magnético debido a una corriente  $I$  que recorre un sólo conductor rectilíneo sobre un punto situado a una distancia  $d$ , se expresa como:

$$|\vec{H}| = \frac{I}{2 \pi d}$$

Figura 6. El flujo de corriente crea un campo magnético.

El campo magnético, al igual que el campo eléctrico, disminuye rápidamente cuando aumenta la distancia respecto de la fuente que lo genera (Figura 7).



Como se observa en la figura 7, el campo magnético originado por las líneas eléctricas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que nos separa de la línea.

Figura 7. Disminución de la intensidad del campo magnético según el número de conductores y distancia a los mismos.

La permeabilidad magnética depende del medio. En el vacío se designa como  $\mu_0$ . En el aire y en la mayoría de los materiales no magnéticos (entre los que se incluyen los tejidos humanos) coincide prácticamente con  $\mu_0$  cuyo valor es  $4\pi \times 10^{-7}$  henrios/metro. En este tipo de materiales  $\vec{B}$  y  $\vec{H}$  pueden utilizarse indistintamente.

Es más habitual representar el campo magnético mediante la *inducción magnética* o *densidad de flujo magnético*  $\vec{B}$ . Este término se relaciona con  $\vec{H}$  mediante la permeabilidad magnética  $\mu$ .

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

La unidad de medida del campo magnético en el Sistema Internacional es el Tesla (T) o sus fracciones, en particular el **microtesla** ( $\mu\text{T}$ ). En algunos países se utiliza también el Gauss (G). Las equivalencias son:

$$\begin{aligned} 1\mu\text{T} &= 10^{-6} \text{ T} \\ 1\text{T} &= 10.000 \text{ G} \\ 1\mu\text{T} &= 10 \text{ mG} \end{aligned}$$

Toda corriente eléctrica produce un campo magnético. Cuanto mayor sea la intensidad de la corriente eléctrica que recorre un conductor, más elevado será el campo magnético que genere.

Existe un campo magnético natural estático debido, supuestamente, a las corrientes que circulan en el núcleo de la Tierra. La intensidad del campo magnético terrestre varía con la latitud: desde  $25 \mu\text{T}$  en el ecuador magnético ( $30 \mu\text{T}$  en el geográfico) hasta aproximadamente  $67 \mu\text{T}$  en los polos. En España el campo magnético estático natural está alrededor de  $40 \mu\text{T}$ .

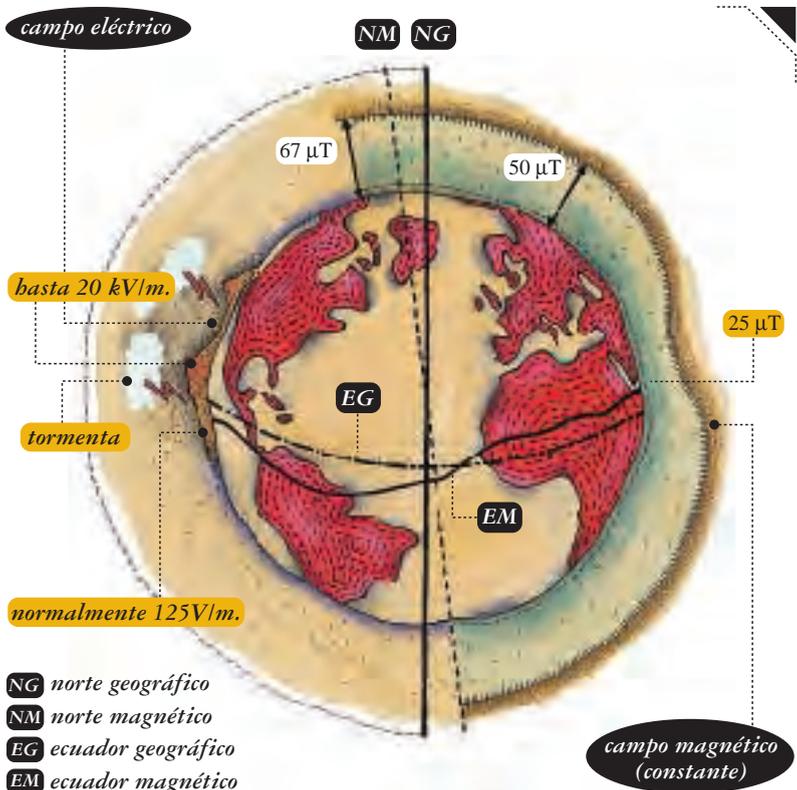


Figura 8. Campo estático natural de la tierra.

## El campo electromagnético. Ecuaciones de Maxwell

La relación de los campos eléctricos y magnéticos con las fuentes de carga y de corriente que los crean viene determinada por unas relaciones conocidas como ecuaciones de Maxwell, que sintetizan diversas leyes experimentales descubiertas por otros científicos. Estas ecuaciones fueron expuestas por James Clerk Maxwell en 1873 en su obra *Electricity and Magnetism* y describen todos los fenómenos electromagnéticos, siendo válidas para todo tipo de medios y frecuencias, desde 0 Hz hasta las más altas.

## Energía del campo electromagnético: ondas electromagnéticas

Uno de los principales teoremas de la física es el principio de conservación de la energía: nada se crea ni se destruye, únicamente se transforma. La forma matemática que toma este principio cuando se aplica a fenómenos electromagnéticos se denomina teorema de Poynting.

Una de las propiedades del campo electromagnético es transmitir energía a grandes distancias por medio de ondas, en ausencia de cualquier medio material. Esta energía se asocia con el producto vectorial del campo eléctrico y del magnético. Dicho producto se denomina *vector de Poynting* ( $\vec{S}$ ) y representa la densidad de flujo de energía de una onda electromagnética por unidad de tiempo (Figura 9).

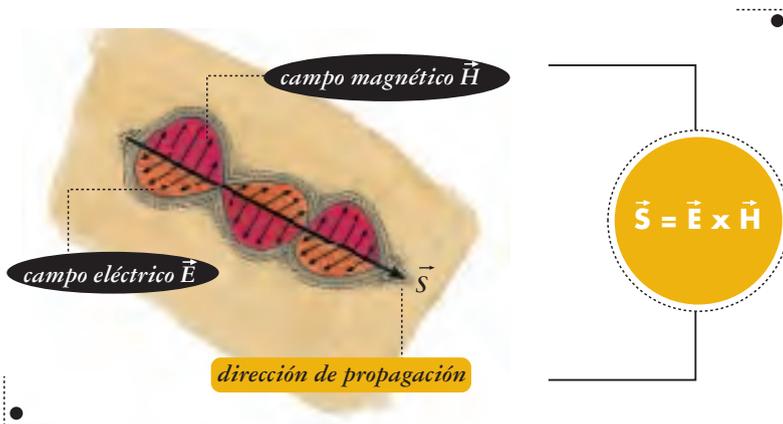


Figura 9. Vector de Poynting.

## El espectro de frecuencias

El espectro electromagnético cubre toda la gama de frecuencias (Figura 10). La frecuencia determina el tipo de efectos que puede producir la onda electromagnética en el organismo.

Cuanto más alta es la frecuencia más corta es la distancia entre una

*Ley de Gauss*

$$\text{div } \vec{D} = \rho$$

*Ley de Faraday*

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\delta \vec{B}}{\delta t}$$

*Carácter solenoidal del campo magnético*

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

*Ley de Ampere-Maxwell*

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \frac{\delta \vec{D}}{\delta t}$$

Una de las implicaciones más importantes de las ecuaciones de Maxwell y que causó más impacto en la época de su publicación fue la predicción de la existencia de las ondas electromagnéticas, comprobado experimentalmente por Hertz en 1888. Era la primera vez en la historia de la ciencia en la que un análisis matemático se adelantaba al descubrimiento físico.

onda y la siguiente, y mayor la cantidad de energía que transmite. Debido a esto, el **transporte de energía eléctrica se realiza a una frecuencia extremadamente baja**, para minimizar las pérdidas en forma de ondas.

El espectro de frecuencias se puede dividir en dos partes claramente diferenciadas: radiaciones ionizantes y no ionizantes.

A frecuencias altas la radiación es muy energética y puede *ionizar* átomos, es decir, arrancarles electrones, de tal manera que quedan eléctricamente cargados (iones). En este rango de frecuencias (trillones de Hz) se encuentran los rayos X, los rayos gamma, etc. Estas radiaciones, denominadas *ionizantes*, pueden producir alteraciones genéticas y determinadas enfermedades, como el cáncer.

Los campos electromagnéticos situados, por ejemplo, en el espectro de frecuencias de los hornos microondas tienen suficiente energía como para generar calor, pero no producen ionización en la materia. Pertenecen al rango de radiaciones *no ionizantes*.

Los campos generados por la energía eléctrica tienen una frecuencia 50/60 Hz, y, por lo tanto, niveles de energía muy bajos que no producen ni calor ni ionización, y se sitúan en el espectro electromagnético muy lejos de cualquier radiación ionizante. Otros ejemplos se muestran en la Tabla 1.

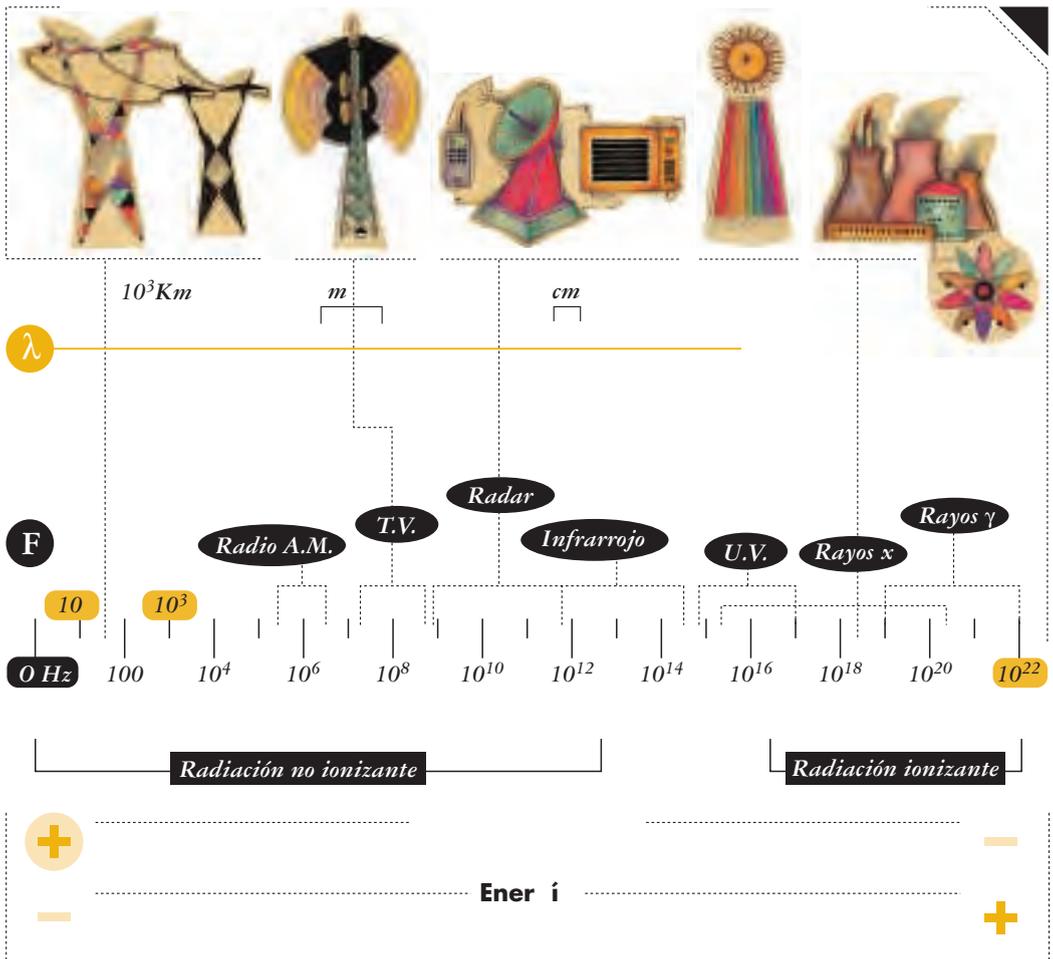


Figura 10. El espectro de frecuencias.

Fuente	Frecuencia
Transporte ferroviario	< 50 Hz
Líneas eléctricas	50 Hz
Pantallas de televisión	15.000 Hz
Emisora de radio AM	1.000.000 Hz
Emisora de radio FM	100.000.000 Hz
Telefonía móvil (GSM)	1.800.000.000 Hz
Hornos microondas	2.450.000.000 Hz
Luz visible	500.000.000.000.000 Hz
Rayos X	100.000.000.000.000.000 Hz

Tabla 1. Ejemplos de algunas fuentes de campo electromagnético y sus frecuencias correspondientes.

## Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz

En España, al igual que en toda Europa, la energía eléctrica se utiliza en forma de corriente alterna con una frecuencia de 50 Hz, denominada *frecuencia industrial*.

La fuente de los campos eléctricos y magnéticos a 50 Hz son las cargas eléctricas que circulan por los conductores y que se mueven alternativamente a esa frecuencia. Esta oscilación tan pequeña permite considerar a ambos campos como cuasiestáticos. Es decir, a estas frecuencias el campo eléctrico y el mag-

nético pueden considerarse como independientes, no acoplándose ni propagándose como una onda, al contrario de las radiofrecuencias utilizadas para las emisiones de radio y televisión o en telefonía móvil, cuya misión es transmitir información a largas distancias.

Estos campos están muy próximos a los campos estáticos, como pueden ser los naturales de la Tierra, y son muy diferentes de los de alta energía, como los rayos X, lo que es importante a la hora de estudiar sus posibles efectos biológicos.

## MEDICIÓN Y CÁLCULO DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

Aunque en los años 60, cuando comenzó la preocupación por la posible incidencia de los campos eléctricos y magnéticos en la salud, se daba prioridad al interés sobre la medida del campo eléctrico, por la mayor facilidad para medirlo y percibirlo fisiológicamente, desde principios de los años 80 la tendencia y el interés científico se han orientado hacia el campo magnético, hasta el punto de que actualmente es rara la publicación de algún trabajo sobre campo eléctrico. Siguiendo esta tendencia, la mayor parte de este documento se centra en el campo magnético.

El parámetro que se mide de manera más habitual es la intensidad de campo magnético, aunque cada día se sugiere el estudio de otros, como *puntas de intensidad, promedio, transitorios, polarización del campo, orientación respecto al campo natural*, etc., sin que hasta el momento haya un consenso en cuanto a qué parámetro puede ser más representativo.

Los campos eléctricos (CE) y los magnéticos (CM) de 50 Hz generados por las instalaciones eléctricas se pueden medir con instrumentos adecuados o ser calculados con precisión mediante fórmulas conocidas desde hace muchos años.

Cuando la obtención de datos se realiza de forma directa, mediante un medidor, hay que tener en cuenta que el campo eléctrico se ve afectado por la presencia de objetos, como el propio cuerpo de la persona que lo mide.

En medidas efectuadas con equipos adecuados, se observa una cierta diferencia en la forma en que disminuye la densidad de flujo de un campo magnético según sea emitido por un ele-

mento que se pueda considerar “puntual”, como un pequeño electrodoméstico, o “lineal”, como una línea eléctrica.

En el primer caso la disminución es inversamente proporcional al cubo de la distancia y en el segundo proporcional al cuadrado (ver Figuras 7, 11 y 14). Por este motivo, en los ambientes domésticos el campo es mucho más alto cuando se está muy cerca de los aparatos y decrece rápidamente con la distancia.

Hoy en día se dispone de programas de cálculo por ordenador que reproducen con gran fidelidad los campos generados por los conductores, de tal manera que cada vez es más frecuente recurrir a estas herramientas para determinar los campos generados con distintos niveles de carga e, incluso, para estimar dosis en ciertos periodos de tiempo. En las Figuras 11 y 12 se representan cálculos de este tipo para distintas instalaciones.

Existe un detallado documento denominado “Protocolo para la medición del campo magnético”, elaborado por UNESA, que precisa el método y las recomendaciones prácticas para obtener gráficos representativos y homogéneos.

## FUENTES Y VALORES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Para ilustrar los valores de campo magnético a los que se puede estar expuesto se han elegido cinco ambientes representativos de actividades generales y profesionales. Estos cinco ambientes son:

- Líneas eléctricas aéreas.
- Medio urbano.
- Domicilios.
- Industria ligera.
- Subestación eléctrica.

Dado que las intensidades eléctricas de los elementos de distribución (líneas, transformadores, cuadros eléctricos, etc.) son muy variables a lo largo del día, se ha recurrido en estos casos a indicar el campo magnético que se produciría para una determinada intensidad (generalmente 100 amperios en el caso de las líneas, o bien la existente cuando las máquinas funcionan al 60% de carga).

Los valores de campo medidos o calculados en estas circunstancias, y a las distancias que se indican en las figuras y tablas, son las siguientes:

### ► Líneas eléctricas aéreas

La intensidad de campo magnético de fondo de 50 Hz en zonas no urbanizadas suele oscilar en torno a 0,01  $\mu$ T.

En la Figura 11 se han representado dos líneas eléctricas de alta tensión (400 y 132 kV) y dos de media tensión en dos versiones, 20 kV (con cable desnudo) y 13 kV (con cable aislado y trenzado).

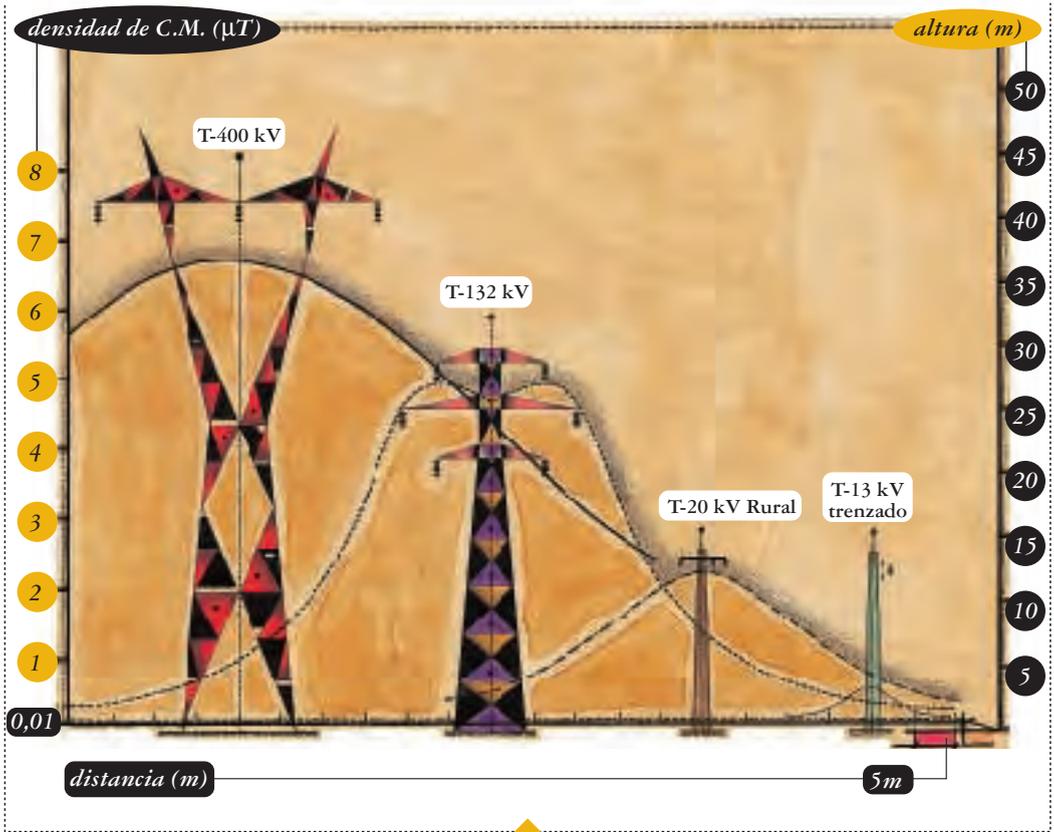


Figura 11. Líneas eléctricas aéreas. Densidad de campo magnético medida a 1 metro del suelo.

### ► Medio urbano

En este tipo de entorno el nivel de fondo suele ser del orden de  $0,05 \mu\text{T}$ .

La Figura 12 muestra los valores registrados durante el recorrido por una calle típica de una ciudad con líneas subterráneas de baja (380 V), media (20 kV) y alta tensión (132 kV). Se incluye un centro de transformación (MT/BT) subterráneo de los denominados “bajo acera”, cuya función típica es abastecer a una o varias manzanas y una línea de baja tensión con cable aislado tendida “por fachada”.

### ► Domicilio

En la Tabla 2 se indican los valores de campo magnético generados por los electrodomésticos más corrientes y por algunos elementos de la vivienda. Cabe mencionar que los valores obtenidos varían mucho con la configuración, la marca del aparato y el punto en el que se toma la medida.

### ► Industria ligera

Se trata de un pequeño taller en el que se ha medido el campo magnético próximo a algunas máquinas, representándose los valores en un cuadro (Tabla 3). Como en el caso de los domicilios, las medidas varían mucho con la marca y forma de las herramientas, así como con la posición en la que se coloca el medidor; en esta tabla se han incluido los puntos en los que el campo magnético era mayor.

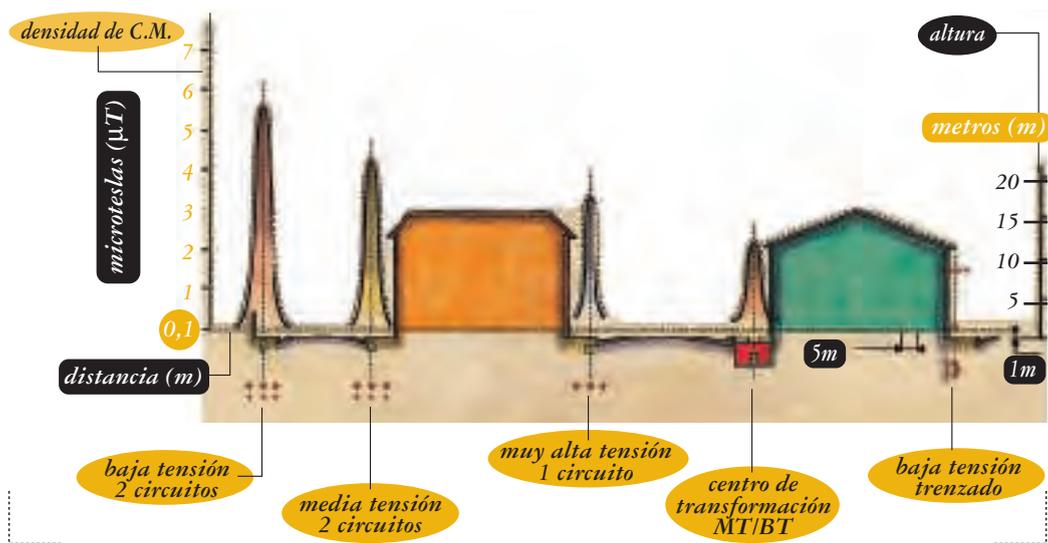


Figura 12. Medio urbano. Densidad de campo magnético medida a 1 metro del suelo.

APARATO	Campo magnético de 50Hz ( $\mu\text{T}$ )		
	domicilio		
	a 10 cm	a 30 cm	a 1 m
Frigorífico	0,06	0,05	0,02
Afeitadora	0,24	0,01	0,01
Cocina eléctrica	0,29	0,11	0,03
Reloj despertador	0,59	0,23	0,03
Teléfono portátil	0,80	0,02	0,02
Tostadora	1,14	0,13	0,00
Secador de pelo	1,34	0,20	0,01
Televisor	1,40	0,50	0,09
Freidora	1,70	0,08	0,01
Acondicionador	1,80	0,38	0,12
Picadora	2,84	0,33	0,04
Suelo radiante	3,01	0,38	0,02
Aspiradora	5,16	1,52	0,31
Lámpara halógena	10,64	1,42	0,14
Lavadora	16,14	8,20	2,38
Zona de acometida	16,82	9,52	2,76
Hornos de microondas	30,04	6,04	0,61

Tabla 2. Campo magnético en domicilios, medido en tres puntos diferentes.

APARATO	Campo magnético de 50Hz ( $\mu T$ )		
	10 cm	30 cm	1 m
Pantalla de alumbrado	0,05	0,05	0,05
Taladro	0,13	0,09	0,03
Sierra	0,24	0,13	0,04
Torno	0,56	0,08	0,04
Cargador de baterías	1,42	0,31	0,02
Calentador de aire	2,52	0,30	0,13
Compresor	3,18	0,54	0,05
Taladro portátil	34,56	7,10	0,89
Montacargas	38,72	2,96	0,50
Piedra esméril	56,32	10,24	0,98
Máquina de soldar	564,00	191,00	78,40

Tabla 3. Valores de campo magnético para algunos equipos de la industria ligera.

► Subestaciones eléctricas

Se ha elegido una subestación de tipo “exterior” o de intemperie, destinada a la transformación AT/MT (alta/media tensión) para el abastecimiento de una ciudad de unos 50.000 habitantes.

En la Figura 13 se representan gráficamente las isolíneas de densidad de flujo magnético.

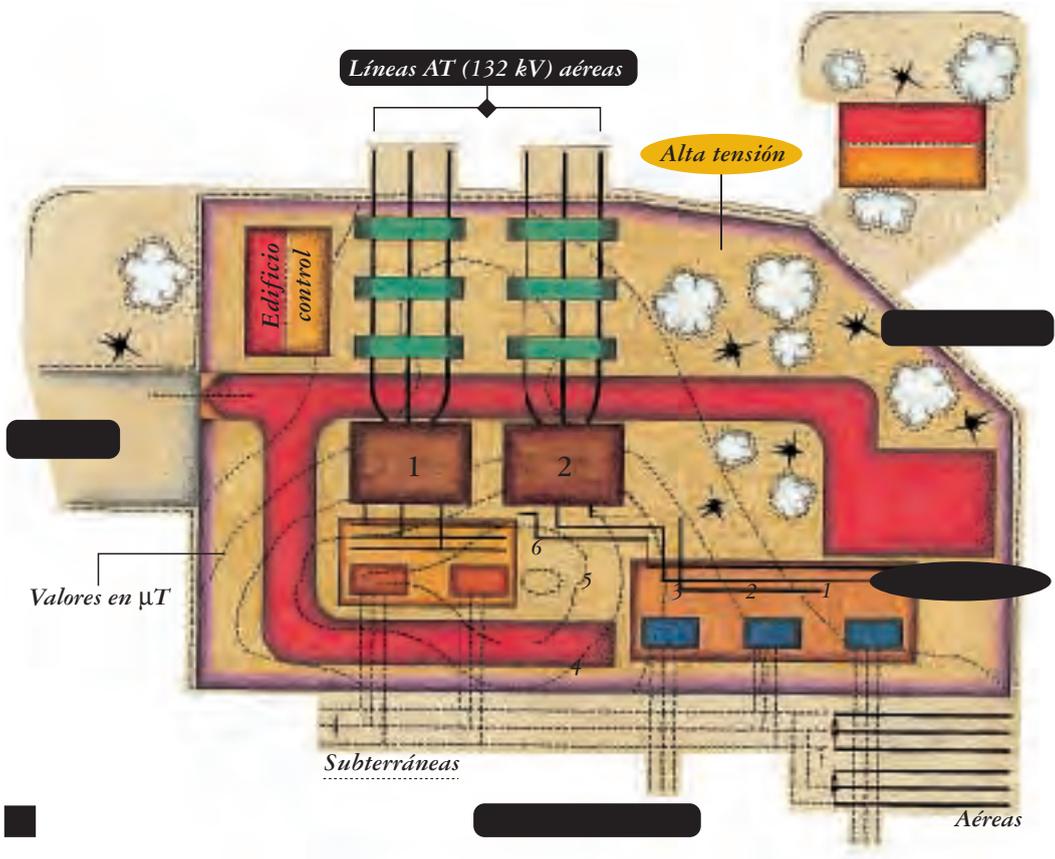


Figura 13. Centro de Transformación AT/MT.

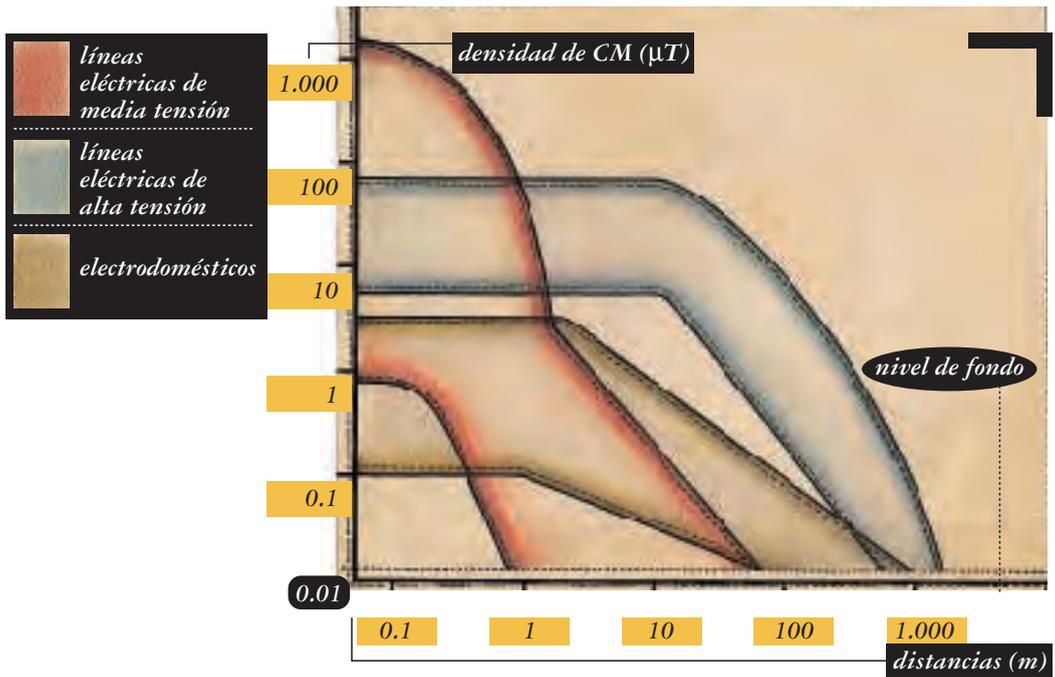


Figura 14. Rangos de densidad de campo magnético en función de las distancias a distintos equipos.

Por su parte, la Figura 14 representa, de una manera conjunta, los rangos e intensidades de campo magnético que pueden inducir los electrodomésticos y las líneas eléctricas de distribución y transporte.

A grandes rasgos se puede decir que los aparatos electrodomésticos y las máquinas eléctricas son capaces de generar campos muy intensos, si se tiene en cuenta la pequeña distancia a la que se suelen encontrar sus usuarios.

## EXPOSICIÓN A CAMPOS MAGNÉTICOS: DOSIMETRÍA

En términos médicos se suele definir el concepto de dosis como la exposición a un agente que produce un efecto biológico.

Se puede producir un mismo efecto tomando, por ejemplo, una determinada cantidad de un medicamento cada 8 horas o una cantidad menor cada 4 horas. También se sabe que, si se excede una cierta dosis, puede producirse un efecto no deseado.

Por el contrario, con los campos magnéticos no se sabe si esto ocurre así. En otras palabras, no se sabe qué aspecto del campo magnético, si es que hay alguno, al que se está sometido es importante a la hora de producir un efecto sobre la salud de un individuo.

Para analizar en detalle la exposición a campos magnéticos se dispone de aparatos que pueden registrar la intensidad de campo a la que se está sometido a intervalos de tiempo definido.

Utilizando estos datos y un programa de ordenador adecuado se puede visualizar cómo se distribuyen las distintas exposiciones a lo largo de periodos de tiempo variables (minutos, horas o días). Estas medidas dan una visión más real de cuál es la exposición a campos magnéticos en las actividades más habituales.

La Figura 15 ilustra la densidad de campo magnético de 50 Hz registrado en un periodo de 24 horas por uno de los autores de esta publicación. En ella se aprecia que la exposición a campo magnético es permanente, aunque varía en función de la proximidad a las distintas fuentes de campo; y que de vez en cuando aparecen “picos” que coinciden con el uso de determinados aparatos.

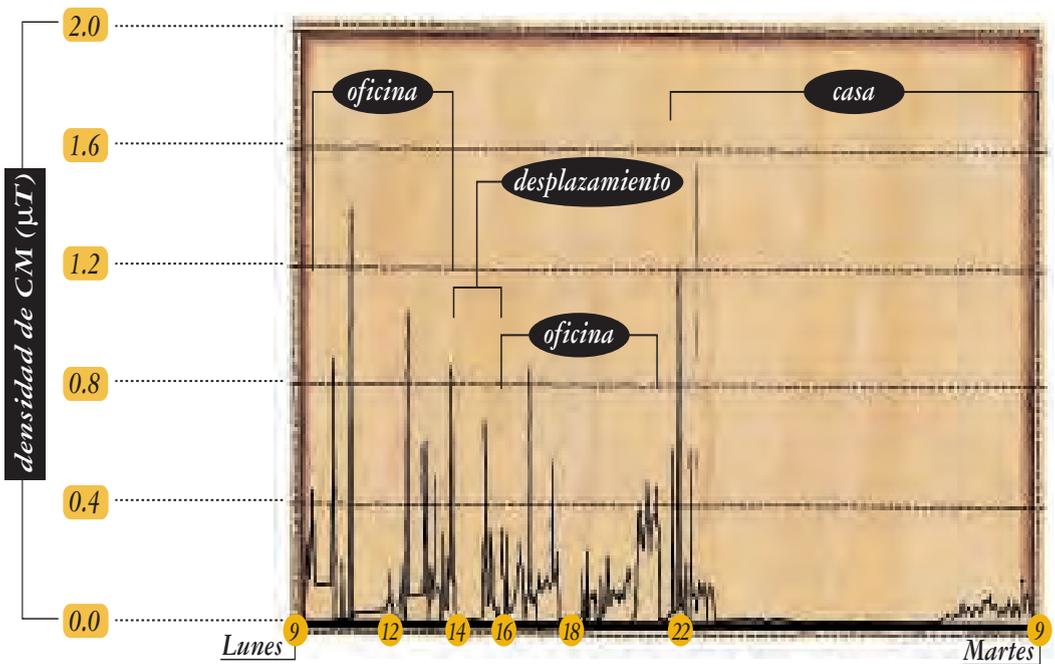


Figura 15. Dosimetría de 24 horas para una persona en ambientes doméstico y laboral.

El análisis directo de esta gráfica no permite establecer “a priori” cuál es el parámetro de la exposición que puede ser de interés biológico.

Podría ser el nivel medio al que se está expuesto diariamente; quizás sólo se deban de tomar en cuenta exposiciones por encima de un valor umbral; puede ser también que debamos entender como dosis el número de veces que se entra o sale de un campo magnético. Los científicos están todavía analizando todos estos detalles para poder definir el concepto de dosis.

A efectos comparativos se representa en la Figura 16 un registro de 24 horas de otra persona que trabaja en un terminal de ordenador en la misma oficina que la persona de la figura anterior y que, además, vive cerca de una línea de 220 kV. Se aprecia una línea de base más alta para esta segunda persona durante las horas que está en su casa.

Estos nuevos dosímetros están siendo utilizados actualmente en muchas investigaciones para determinar las “dosis” que puede recibir un individuo. De los estudios realizados con ellos se deduce que no solo las líneas eléctricas sino también electrodomésticos, medios de transporte y equipos industriales contribuyen a la dosis que recibe una persona.

Además, hay que decir que estos dosímetros registran la densidad de campo magnético de 50 Hz, pero al mismo tiempo estamos sometidos a otros muchos de frecuencias muy superiores (ondas de radio y televisión, telefonía móvil, radares, sistemas antirrobo, etc.).

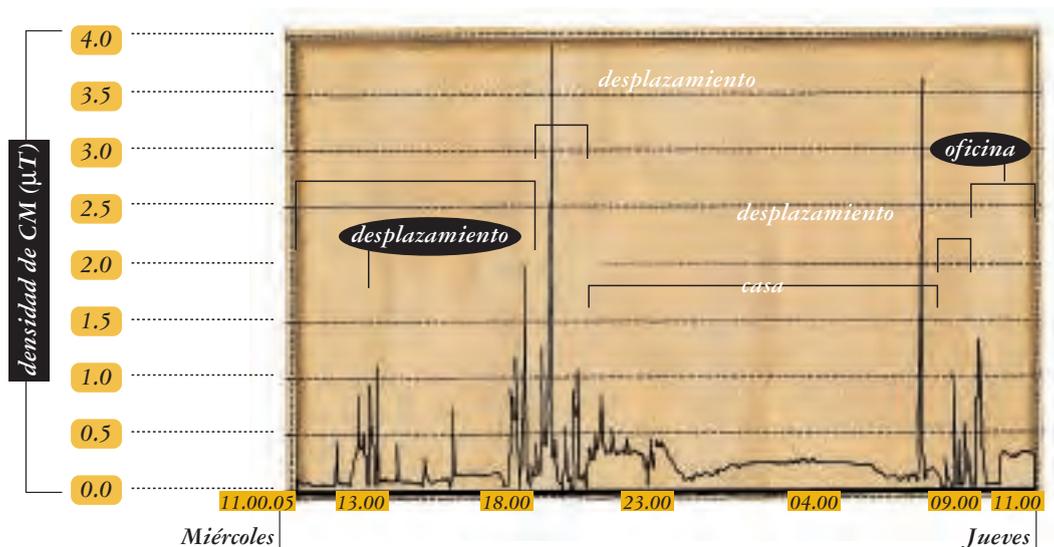


Figura 16. Dosimetría de 24 horas para una persona que, además de trabajar en el mismo ambiente que el caso reflejado en la Figura 15, vive bajo una línea de 220 kV.

### ► Estudios en ambientes residenciales

En diversos estudios se ha constatado que normalmente el nivel del campo magnético de frecuencia industrial que existe en el interior de una vivienda varía entre 0,05 y 0,6  $\mu\text{T}$  (microteslas) en Estados Unidos y entre 0,01 y 0,5  $\mu\text{T}$  en Europa (datos del Reino Unido).

En Estados Unidos un estudio realizado sobre unos 1.000 domicilios muestra que el nivel medio de campo magnético es de 0,09  $\mu\text{T}$ ; y que el 15% de las viviendas supera 0,2  $\mu\text{T}$ . Sin embargo, en Europa el nivel medio es de 0,05  $\mu\text{T}$ ; y algo menos del 5% de las viviendas supera 0,2  $\mu\text{T}$ .

En un estudio llevado a cabo en Francia los resultados muestran que en el 50% de las viviendas el valor registrado está por debajo de 0,01  $\mu\text{T}$ , y únicamente el 5% tenía un campo magnético por encima de 0,12  $\mu\text{T}$ .

Estas diferencias se deben, entre otras posibles razones, a que en Estados Unidos se utiliza menor tensión de suministro doméstico (125 voltios) que en Europa (220 V), necesitándose por tanto el doble de intensidad de corriente (amperios) para abastecer la misma potencia, lo que conlleva un aumento proporcional en la densidad de flujo de campo magnético.

Además, en toda ciudad moderna hay multitud de conducciones eléctricas canalizadas bajo las calles. En Gotemburgo (Suecia) se ha medido el nivel de campo magnético a 1 metro de

altura del suelo a lo largo de 12 km de calles céntricas peatonales, resultando una intensidad media de 0,34  $\mu\text{T}$ . El 50% de las medidas están por debajo de 0,2  $\mu\text{T}$ , en el 44% están entre 0,2 y 1,0  $\mu\text{T}$ , y el 6% restante está por encima de 1,0  $\mu\text{T}$ .

### AMBIENTES RESIDENCIALES

País	Campo magnético de 50-60 Hz	
Reino Unido (Viviendas)	Nivel medio 0,05 $\mu\text{T}$	Rango 0,01-0,5 $\mu\text{T}$
Estados Unidos (Viviendas)	Nivel medio 0,09 $\mu\text{T}$	Rango 0,05-0,6 $\mu\text{T}$
Francia (Viviendas)	50% < 0,01 $\mu\text{T}$	5% > 0,12 $\mu\text{T}$
Suecia (Calle)	Nivel medio 0,34 $\mu\text{T}$	50% < 0,2 $\mu\text{T}$ 5% > 1,0 $\mu\text{T}$

#### ► Estudios en ambientes laborales

Hoy en día, cualquier trabajo conlleva una exposición a un campo magnético en mayor o menor medida. Esta exposición es mal conocida todavía, tanto por la escasez de estudios como por la gran variabilidad entre los mismos, puesto que cada uno utiliza una forma de medir y una forma de expresar los resultados.

Tabla 4. Intensidad de campo magnético en ambientes residenciales de diversos países.

AMBIENTES LABORALES	Campo magnético de 50 Hz $\mu\text{T}$	
	media	rango
Trabajos con máquinas de mover terrenos	0,05	0,03-0,08
Conductores de vehículos a motor	0,12	0,08-0,14
Secretarías, administrativos	0,12	0,08-0,14
Médicos	0,12	0,11-0,15
Profesores (escuela, universidad)	0,15	0,11-0,18
Trabajadores de telefónica	0,16	0,1-0,23
Contables	0,17	0,11-0,22
Periodistas	0,21	0,13-0,28
Trabajadores de Radio y TV	0,23	0,14-0,33
Programadores ordenador	0,24	0,13-0,25
Dentistas	0,27	0,18-0,35
Ingenieros y técnicos eléctricos y electrónicos	0,31	0,12-0,36
Trabajadores del metal y fundición	0,36	0,13-0,25
Conductores de ferrocarril	0,57	0,18-0,88
Otros trabajadores del metal	1,59	0,18-0,6
Soldadores	1,9	0,62-2,38
Trabajadores de la madera, deforestación	2,48	0,21-4,78

Tabla 5. Intensidad de campo magnético (media aritmética de la jornada laboral) en diferentes profesiones en Suecia.

Posiblemente, el estudio más amplio sobre trabajadores en general es el realizado en Suecia (Tabla 5) sobre más de 1.000 trabajadores, desde profesores, artistas y soldadores hasta trabajadores eléctricos. Considerando a todos ellos en conjunto, la exposición media es de 0,28  $\mu\text{T}$ , con un amplio margen que va de 0,05 a 2,48  $\mu\text{T}$ .

En esta tabla, se muestran algunos ejemplos de los valores encontrados. Cabe advertir que estos valores son la media aritmética de todos los registrados durante una jornada de trabajo, y no sólo los registrados en una tarea concreta, como puede ser soldar, por ejemplo. Los valores para tareas concretas serían, en algunos casos, mucho mayores.

Los trabajadores del sector eléctrico han sido estudiados con mayor detalle. Para el caso de España, la

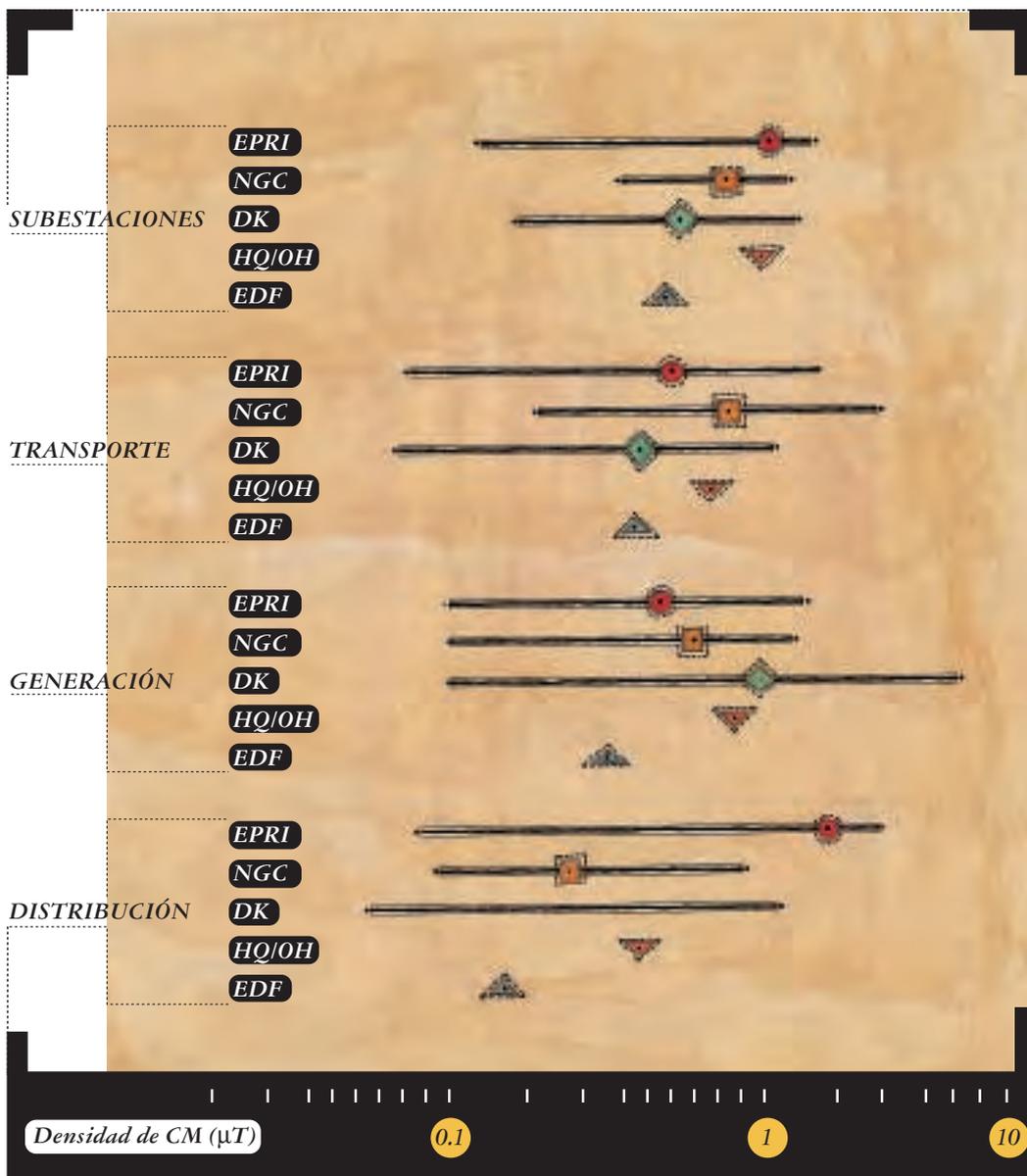


Figura 17. Tabla comparativa de exposiciones medias (media ponderada en el tiempo, TWA) en diferentes países. EPRI: Electrical Power Research Institute (EE.UU.), NGC: National Grid Company (Gran Bretaña), DK: Dinamarca, HQ/OH: HydroQuebec/Ontario Hydro (Canadá), EDF: Electricité de France (Francia).

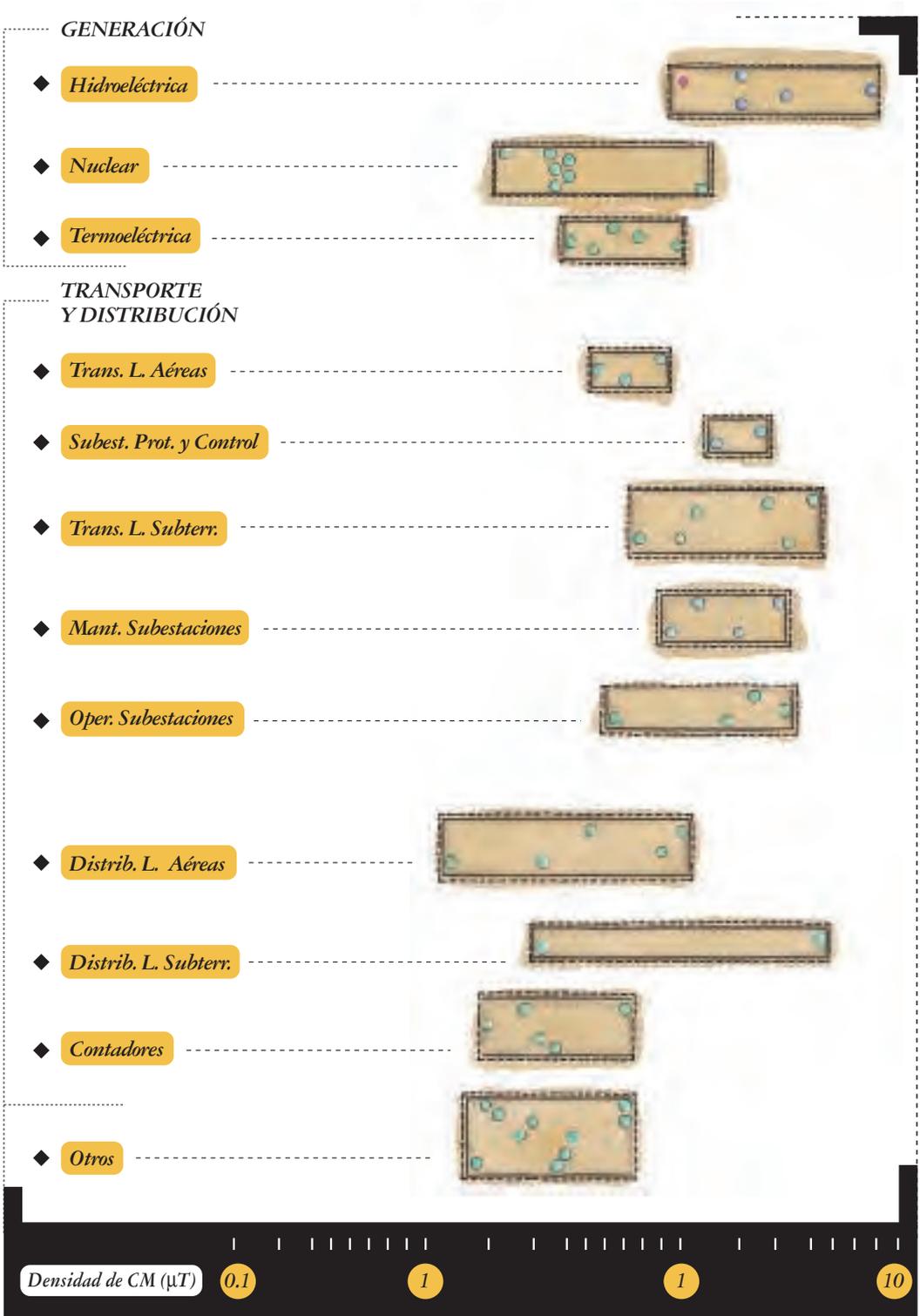


Figura 18. Dosimetrías de campo magnético en el estudio franco canadiense (medias aritméticas ponderadas en el tiempo, TWA) en diferentes puestos de trabajo.

## SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL

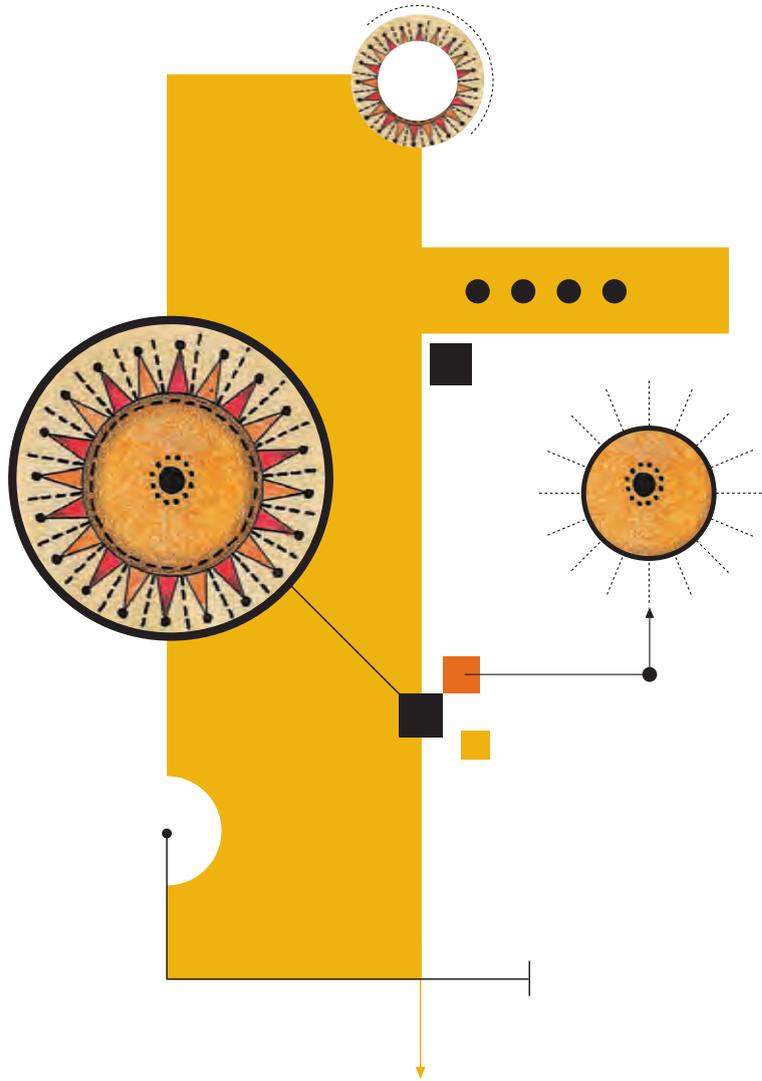
	<i>Campo magnético de 50 Hz( <math>\mu</math>T)</i>	
	<b>media</b>	<b>máximo</b>
Brigada de media tensión (15-20 kV)	0,4	31,2
Brigada de oficinas (Trabajo con ordenador)	0,5	10,6
Brigada de operaciones y averías (6-20 kV)	1,1	551,8
Brigada de mantenimiento en baja tensión (6-20 kV)	1,8	301,6
Brigada de mantenimiento de edificios (220/380V)	1,8	398,5
Brigada de trabajos en tensión en media tensión (15 kV)	2,0	57,7
Trabajo dentro de subestaciones (220 kV)	3,5	8,4
Trabajo dentro de subestaciones (400 kV)	6,0	75,0
Inspección de líneas de alta tensión (400 kV)	15,2	22,0

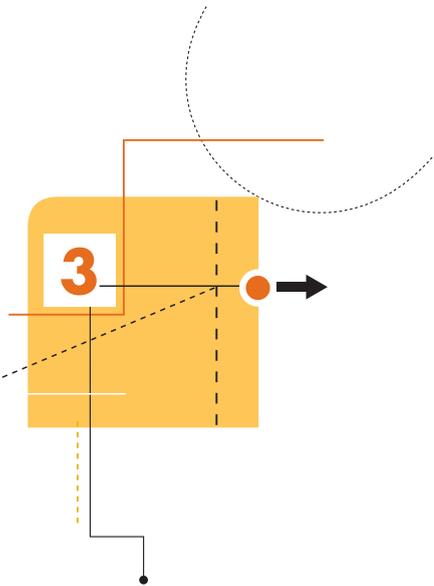
Tabla 6. Intensidad de campo magnético (media ponderada en el tiempo, TWA) en algunos trabajos del sector eléctrico español.

Tabla 6 ofrece un ejemplo de las dosis correspondientes a algunos puestos de trabajo del sector eléctrico y representa la media ponderada en el tiempo (TWA, del inglés *Time Weighted Average*) y el nivel máximo de la jornada laboral.

Estos valores se corresponden bastante bien con los calculados, por ejemplo en Estados Unidos, en donde se ha hallado que los trabajadores eléctricos reciben dosis que van de 0,96 a 2,7  $\mu$ T; y los no eléctricos, de 0,17 a 0,41  $\mu$ T (Figura 17).

El estudio más amplio sobre dosimetrías en trabajadores del sector eléctrico es el realizado por dos compañías eléctricas canadienses y una francesa. La Figura 18 muestra los resultados obtenidos, que coinciden bastante con los datos españoles apuntados anteriormente.





## ¿Qué sucede cuando se está expuesto a campos eléctricos o magnéticos?

En el interior y el exterior de todas las células del cuerpo humano hay gran cantidad de cargas eléctricas libres, cuyo desplazamiento genera multitud de corrientes eléctricas. El cuerpo humano funciona en gran parte gracias a estas corrientes eléctricas *endógenas*; por ejemplo, el latido del corazón o la transmisión de señales nerviosas.

La densidad de corriente natural en el cuerpo humano es aproximadamente de 1 a 10 mA/m<sup>2</sup>, aunque puede ser muy superior en zonas determinadas, por ejemplo, una contracción ventricular del corazón puede alcanzar 1.400 mA/m<sup>2</sup> y en algunas situaciones se puede llegar incluso a 10.000 mA/m<sup>2</sup>.

Como se ha comentado anteriormente, existe un campo magnético terrestre natural, estático, de aproximadamente 40 μT de intensidad. Este campo, incluso siendo estático, puede inducir corrientes en una persona cuando ésta se mueve dentro del mismo. Por ejemplo, girar la cabeza hacia un lado lentamente induce corrientes equivalentes a las que se inducirían si se estuviera expuesto a un campo magnético de 0,2 μT. Si se mueve la cabeza hacia abajo rápidamente, en un gesto de asentimiento, se generan corrientes equivalentes a una exposición de 2 μT.

Además, la exposición a un campo eléctrico o magnético hace que estas cargas experimenten cierta fuerza y se muevan. De esta forma, se crean o inducen corrientes eléctricas en el interior del organismo, cuya magnitud depende de la intensidad del campo al que está expuesto. Estas corrientes *inducidas* tienen diferente sentido según sean generadas por un campo eléctrico o por un campo magnético (Figura 19).

La magnitud de la corriente inducida -que se suele expresar en forma de densidad, intensidad de corriente por unidad de superficie (A/m<sup>2</sup>)- depende de muchos factores, tales como la intensidad del campo externo, la distancia del cuerpo a la fuente, la presencia de objetos que puedan apantallar o concentrar el campo, la forma y postura que tenga el cuerpo, etc. Así, la corriente que se induce en una persona bajo una línea no es la misma si está de pie o si está sentada.

La densidad de la corriente endógena es muy superior a la densidad de la corriente inducida por la exposición a cualquier electrodoméstico, transformador o línea eléctrica. Ésta es una de las razones por la que algunos científicos mantienen que los campos electromagnéticos no pueden tener efectos biológicos nocivos.

Se puede calcular la magnitud de estas corrientes inducidas. Y se sabe que, incluso justo debajo de una línea de alta tensión los niveles son tan bajos que las corrientes no pueden penetrar en las células y se quedan fuera de las mismas.

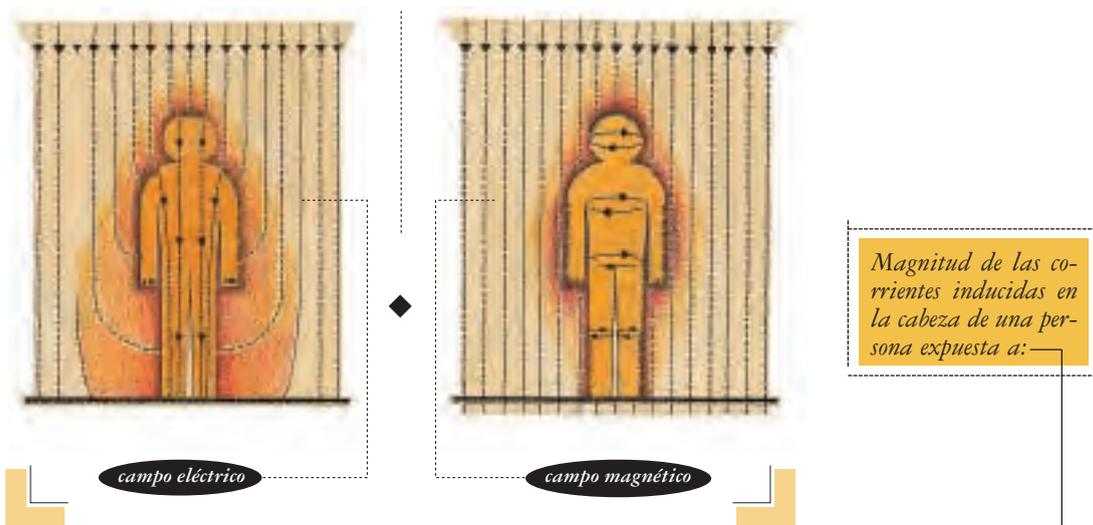


Figura 19. Corrientes inducidas en el cuerpo humano por los campos eléctricos y los campos magnéticos.

1 kV/m : 0,05 mA/m<sup>2</sup>

1 µT : 0,0015 mA/m<sup>2</sup>

La guía de ICNIRP, avalada por el Comité Científico Director de la Unión Europea, se basa en los únicos efectos nocivos conocidos y comprobados de los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial, que son los **efectos a corto plazo** (agudos) que se producen cuando la densidad de corriente inducida supera cierto valor umbral. Estos efectos se resumen en la siguiente tabla:

Densidad de corriente inducida	Efectos biológicos
< 1 mA/m <sup>2</sup>	No hay efectos biológicos.
1-10 mA/m <sup>2</sup>	Efectos biológicos mínimos, no significativos.
10-100 mA/m <sup>2</sup>	Posibles efectos sobre el sistema visual (fosfenos) y el sistema nervioso (pequeñas contracciones musculares), sin riesgos para la salud.
100-1.000 mA/m <sup>2</sup>	Estimulación de tejidos excitables, por ejemplo nervios o músculos (contracciones musculares y arritmias), con posibles riesgos para la salud.
> 1.000 mA/m <sup>2</sup>	Posibles extrasístoles y fibrilación ventricular, con riesgos comprobados para la salud.

Tabla 7. Efectos biológicos a corto plazo de la densidad de corriente inducida.

Como consecuencia de este movimiento de cargas también se produce un campo eléctrico inducido en el interior de los organismos expuestos. A modo de ilustración, cabe señalar que cuando se está expuesto a un campo magnético variable de 0,2-20  $\mu\text{T}$  se generan en el cuerpo campos eléctricos de entre 0,000004 y 0,0004 V/m (voltios por metro). Este valor es muy inferior a los aproximadamente 0,02 V/m que existen de forma natural en el cuerpo humano por el movimiento normal de electrones en su interior, un fenómeno denominado *ruido térmico*.

*Para inducir 10 mA/m<sup>2</sup> habría que exponer a un individuo a un campo superior a 500  $\mu\text{T}$ , una intensidad 50 veces superior a la que puede encontrarse bajo una línea de muy alta tensión.*

*Magnitud de los campos eléctricos inducidos en la cabeza de una persona expuesta a:*

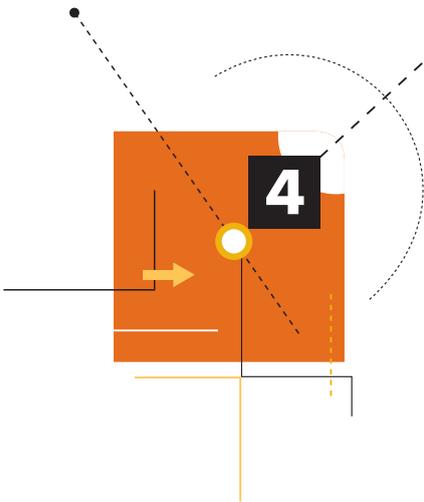
$$1 \text{ kV/m} = 0,0005 \text{ V/m}$$

$$1 \mu\text{T} = 0,000015 \text{ V/m}$$

Estudios sobre voluntarios han determinado que algunas personas pueden percibir campos eléctricos de entre 2 y 10 kV/m. Estas personas describen una sensación de “cosquilleo” que se produce porque el campo eléctrico hace vibrar el pelo de la cabeza y del cuerpo. En el caso del campo magnético, únicamente bajo altísimas intensidades (del orden de 10.000  $\mu\text{T}$ ) pueden percibirse unos destellos de luz (llamados *magnetofosfenos*) análogos a los que se producen cuando nos fro-tamos los ojos. En cualquier caso, el hecho de percibir los campos no implica ningún efecto nocivo.

Se han realizado multitud de exámenes médicos sobre voluntarios expuestos a una gran variedad de intensidades de campo eléctrico y magnético, sin que se hayan detectado variaciones significativas en ningún parámetro biológico.

En pacientes sometidos a diagnósticos mediante Resonancia Nuclear Magnética a intensidades de hasta 2.000.000  $\mu\text{T}$  no se han registrado tampoco efectos negativos. Por último, cabe recordar que existen equipos de uso médico que utilizan campos magnéticos de alta intensidad para, por ejemplo, consolidar fracturas óseas.



# 4

## ¿Suponen los campos eléctricos y magnéticos un riesgo para la salud de las personas?

En la actualidad no se puede afirmar que los campos electromagnéticos de 50 Hz existentes en nuestro entorno supongan un riesgo para la salud de las personas.

Se sabe que los campos electromagnéticos, en algunos experimentos y bajo determinadas condiciones, manifiestan ciertos efectos biológicos, por ejemplo, los magnetofosfenos citados en el apartado anterior. Lo que no se ha podido comprobar es que estos efectos biológicos observados impliquen o signifiquen un riesgo para la salud.

A continuación se detallan los estudios más importantes encaminados a establecer si los campos electromagnéticos de 50 Hz pueden representar un peligro para la salud. Nos referiremos a una gran variedad de mecanismos investigados, que son los que deben dar una plausibilidad biológica a los estudios realizados sobre poblaciones expuestas, así como a estudios de laboratorio (en células y animales) y epidemiológicos (en personas) sobre muy diferentes problemas para la salud, pero con especial atención al tema del cáncer, principalmente a la leucemia infantil.

### ¿QUÉ MECANISMOS DE ACCIÓN SE HAN INVESTIGADO?

Los estudios *in vitro* (ver glosario) han analizado básicamente, dos aspectos. Por una parte, y por analogía con la radiación ionizante (rayos X), se ha intentado comprobar si los campos electromagnéticos de 50 Hz pueden modificar o alterar la estructura del material hereditario (el ADN). Esto es importante, puesto que si pudiesen hacerlo cabría esperar de ellos múltiples efectos biológicos, como un potencial para producir malformaciones y transformaciones cancerígenas.

En estos momentos, y éste es uno de los aspectos en el que los científicos están más de acuerdo, se puede decir que los campos electromagnéticos de 50 Hz no son capaces de alterar la estructura del material hereditario, tampoco aumentan los efectos que otros agentes puedan tener sobre el mismo ni interfieren con la

A la frecuencia de 50 Hz la energía del fotón es  $10^{14}$  veces más pequeña que la necesaria para romper el más débil enlace químico.

reparación de los daños al material hereditario provocados por agentes físicos o químicos. Por ello, se puede concluir que estos campos no actúan como “iniciadores” del proceso cancerígeno.

<i>Energía (en electrón voltio,eV) de distintos tipos de ondas electromagnéticas:</i>	
<i>Radiación ionizante</i> .....	<i>&gt; 12,4 eV</i>
<i>Luz visible</i> .....	<i>1,6-3,1 eV</i>
<i>Microondas</i> .....	<i>0,00001 eV</i>
<i>Radio FM</i> .....	<i>0,000001 eV</i>
<i>50 Hz</i> .....	<i>0,00000000000002 eV</i>

**1 eV = 1,6 x 10<sup>-19</sup> Julios**

Se han investigado otros posibles mecanismos de interacción con los sistemas biológicos, en un intento por explicar los hipotéticos efectos biológicos. Los resultados de diferentes experimentos llevados a cabo dentro del Programa EMF-RAPID, en Japón y en España permiten confirmar lo dicho en la edición anterior: Los campos electromagnéticos no tienen efectos sobre el movimiento de iones como el calcio (de gran importancia en la respuesta celular), el ritmo de fabricación de algunas proteínas y otros compuestos químicos (en especial los relacionados con el cáncer), la respuesta celular normal a ciertas hormonas, el ritmo de crecimiento y división celular y no parece que alteren la comunicación intercelular (que puede modular el control del crecimiento de las células).

En la Tabla 8 se enumeran los mecanismos investigados.

<b>Mecanismo investigado</b>	<b>Resultados</b>
<i>Alteración en la estructura del material genético y/o alteraciones en su reparación</i>	<i>Ningún efecto</i>
<i>Alteraciones en síntesis de ADN</i>	<i>Ningún efecto</i>
<i>Alteraciones en la expresión de algunos genes relacionados con el cáncer (oncogenes)</i>	<i>En general, ningún efecto. resultados positivos únicamente de un grupo de investigación.</i>
<i>Efectos sobre células preleucémicas</i>	<i>Ningún efecto</i>
<i>Transformación tumoral</i>	<i>En general ningún efecto. Un único experimento positivo</i>
<i>Alteración del movimiento iónico</i>	<i>En general, sin efectos</i>
<i>Alteración en la respuesta a la melatonina en células de cáncer de mama</i>	<i>Bloqueo de la acción de la melatonina</i>
<i>Alteración en ODC (compuesto relacionado con la proliferación celular)</i>	<i>En general, sin efectos</i>
<i>Alteración en interleukinas (sistema inmune)</i>	<i>Ningún efecto</i>

Tabla 8. Algunos ejemplos de experimentación “in vitro” usando 50/60 Hz.

Actualmente se sigue investigando en otras áreas, por ejemplo sobre un posible efecto en la respuesta inmune de un organismo expuesto a campos electromagnéticos, aunque hasta el momento no se ha encontrado ningún efecto biológicamente significativo por debajo de 200  $\mu\text{T}$ ; también se investiga la posibilidad de que estos campos pudieran afectar a la velocidad a la que se producen ciertas reacciones químicas, pero la evidencia preliminar indica que ésta sólo se alteraría en presencia de campos extraordinariamente intensos, imposibles de encontrar en un medio doméstico o laboral normal.

## Melatonina

La melatonina es una hormona que se produce principalmente por la noche en una glándula del cerebro llamada pineal y que, en algunos animales, regula la actividad sexual, algunos parámetros de conducta y ciertas funciones fisiológicas, como la liberación de otras hormonas. Algunas de estas funciones (en especial la liberación de otras hormonas sexuales) parecen darse también en el hombre.

El interés por la melatonina surge, sobre todo, de unos experimentos en los que ratas a las que se les quitaba la glándula pineal y a las que se les administraba un producto cancerígeno, desarrollaban tumores de mama con mayor frecuencia que aquéllas a las que no se les quitaba dicha glándula. Además, las ratas operadas a las que se les administraba melatonina tenían una menor incidencia de tumores de mama que aquéllas que, estando operadas, no recibían melatonina.

Se sabe que la luz visible, que es una zona del espectro electromagnético, modula la síntesis de esta hormona; la exposición a luz por la noche impide el normal aumento nocturno de la melatonina. Por ello, los científicos se han preguntado si otras zonas del espectro electromagnético, como la de 50 Hz, podrían modificar también su producción.

Estudios *in vitro* previos indicaban que la melatonina podía bloquear el crecimiento incontrolado de una línea celular de cáncer de mama. Si los campos electromagnéticos disminuyeran los niveles de melatonina se podría postular que las células cancerosas quedarían sin bloqueo y podrían entonces crecer sin control. Los nuevos estudios sobre melatonina y crecimiento de células cancerosas muestran que en la mayor parte de células cancerosas estudiadas la melatonina no tiene efecto alguno sobre su crecimiento y que en el único tipo celular en el que se ve alguna modificación, ésta se debe más a las condiciones en que se hace el experimento que a la propia melatonina.

Sobre **animales** (roedores principalmente) los resultados siguen siendo contradictorios; para explicar por qué unos estudios muestran resultados negativos y otros positivos se han invocado factores como la edad de los animales (diferente sensibilidad con la edad), o incluso diferencias en la coloración del pelo de los animales usados en la experimentación.

Se han realizado nuevos estudios sobre **voluntarios** expuestos a campos electromagnéticos de 50 Hz a diferentes intensidades y periodos de tiempo que confirman los hallazgos anteriores. Por ejemplo, un estudio sobre 30 varones expuestos durante 4 noches consecutivas y otro sobre 22 mujeres expuestas durante una noche a campos magnéticos de 28  $\mu\text{T}$  no encuentran alteración alguna sobre los niveles de melatonina en muestras obtenidas por las mañanas.

Igualmente, en un **estudio de exposición doméstica** sobre unas 200 mujeres que viven a menos de 150 metros de una línea eléctrica de alta tensión (735 kV), se observa que los nive-

les de un producto de degradación de la melatonina (llamado 6-OHMS, y que mide indirectamente los niveles de ésta) son similares a los de las que vivían a más de 400 metros de líneas eléctricas de cualquier tipo. Los niveles de campo eléctrico y magnético en las viviendas del grupo expuesto son el triple y el doble respectivamente de los niveles en el grupo no expuesto.

En cuanto a **trabajadores**, un análisis reciente sobre 60 mujeres clasificadas según su exposición laboral en tres niveles de exposición mide los niveles de 6-OHMS durante tres semanas consecutivas. Este estudio analiza la relación entre la excreción de ese producto el viernes por la mañana con respecto al lunes por la mañana en un intento de ver si los niveles de 6-OHMS se recuperan durante el fin de semana (supuestamente como consecuencia de no haber estado expuestas a un campo electromagnético durante ese tiempo). La relación entre esos dos valores es prácticamente de 1, indicando que no hay variación en los niveles durante el fin de semana. Las pocas variaciones que se observan no se correlacionan con los niveles de campo electromagnético al que están expuestas estas trabajadoras.

Un estudio muestra niveles bajos de este mismo producto de degradación de la melatonina en trabajadores del sector eléctrico. En ese estudio no se observa que la excreción de este producto esté relacionada con la intensidad del campo magnético, pero sí con un parámetro que de alguna forma describe las fluctuaciones del campo magnético durante el periodo de trabajo. Este efecto se observa sobre todo en aquellos cuyo trabajo se realiza en ambientes con poca luz (los niveles de luz visible normal tienen un efecto importante en la producción de melatonina). Los mismos autores de este último estudio, analizando a otros trabajadores, hallan que este efecto sólo se observaba en aquellos que trabajaban en ambientes con campos circular o elípticamente polarizados y no en otros con exposiciones comparables.

La razón por la cual algunos estudios con ratas y ratones muestran resultados positivos, mientras que la gran mayoría de los estudios sobre animales superiores y sobre voluntarios son negativos, no tiene una explicación clara. Quizás podría deberse a la diferente localización anatómica de la glándula pineal (la que produce la melatonina) o al hecho de que los roedores son animales nocturnos (que es cuando se produce la melatonina) y podrían tener entonces una mayor sensibilidad.

La Tabla 9 resume los estudios realizados sobre la melatonina.

*Ninguno de los componentes de la hipótesis de la melatonina, es decir, que los campos electromagnéticos pueden reducir el nivel de melatonina y que esta reducción puede causar un aumento del riesgo de cáncer, tiene un sólido soporte experimental. En seres humanos no hay evidencia alguna que apoye ninguno de los componentes de esta hipótesis.*

▶ Tipo de estudio	RESULTADOS
▶ Estudios "in vitro"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La melatonina no modifica el crecimiento de células cancerosas (mama, cuello uterino, huesos y sangre).</li> <li>• Únicamente un tipo de célula de cáncer de mama modifica su crecimiento, posiblemente en relación con el método experimental, no con la melatonina.</li> </ul>
▶ Estudios en animales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En general, disminuye la melatonina en roedores, pero no en otros animales, como ganado estabulado bajo líneas de alta tensión</li> </ul>
▶ Voluntarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 voluntarios expuestos a 28 y 127 <math>\mu\text{T}</math> durante varias noches no muestran alteraciones significativas en los niveles de melatonina</li> </ul>
▶ Exposición doméstica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mujeres que viven a menos de 150 metros de una línea de 735 kV tienen niveles de melatonina similares a mujeres que viven a más de 400 metros de cualquier línea eléctrica</li> </ul>
▶ Trabajadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 60 mujeres expuestas durante el día no muestran variaciones en niveles de melatonina (6-OHMS).</li> <li>• En un estudio sobre 142 varones se ven alteraciones en los niveles de melatonina en relación con las fluctuaciones del campo electromagnético, no con su intensidad.</li> </ul>

Tabla 9. Resumen de nuevos estudios sobre melatonina.

## Radicales Libres

Los radicales libres son átomos o moléculas que han perdido algún electrón de las capas más externas como consecuencia de roturas en sus enlaces, por lo que tienen electrones libres (desemparejados) con una gran capacidad para reaccionar (o recombinarse) con otras moléculas de forma muy rápida, en microsegundos. Se generan de forma natural en las reacciones bioquímicas que tienen lugar en el organismo, y son paramagnéticos.

Teóricamente un campo magnético puede actuar sobre estos radicales aumentando su concentración o prolongando el tiempo que pueden estar activos. Existen evidencias de que un campo magnético estático extraordinariamente intenso (100.000  $\mu\text{T}$ ) puede alterar la dinámica de reacciones en las que están involucradas radicales libres.

La recombinación de los radicales libres puede dañar otras moléculas, por ejemplo el ADN, produciendo un daño genotóxico que a su vez puede traducirse en mutaciones o alteraciones en la transcripción de esta molécula.

Se ha propuesto que campos intensos de frecuencia industrial pueden tener un efecto similar, aunque lo importante es si este fenómeno se puede dar a las intensidades que se encuentran habitualmente en viviendas o en las cercanías de instalaciones eléctricas.

Esto no parece posible, puesto que en un campo de 50 Hz cada ciclo dura 20 milisegundos (1 ms =  $10^{-3}$  segundos), mientras que los radicales libres reaccionan con otras moléculas en microsegundos (1 ms =  $10^{-6}$  s). Así pues, un campo de 50 Hz se comporta en realidad como un campo estático durante el tiempo que duran las reacciones químicas de estos radicales. Dado que en la Tierra existe un campo magnético estático natural entre 30 y 70  $\mu\text{T}$ , sólo 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.

Por otra parte, se ha comprobado experimentalmente que no se incrementa el daño genético en células expuestas a un campo magnético de hasta 5.000  $\mu\text{T}$ , aunque se aumenten los niveles de radicales libres (incrementando el estrés oxidativo por medio del peróxido de hidrógeno), por lo que no podemos concluir que los campos electromagnéticos, a estas intensidades, modifiquen la interacción de los radicales libres con moléculas importantes como el ADN.

### Deposición de aerosoles

Un investigador británico de la Universidad de Bristol sostiene la hipótesis de que el campo eléctrico [pero no el magnético] generado por las líneas eléctricas actúa como un colector e incrementa la exposición a las partículas nocivas presentes en la atmósfera; entre estas partículas están los contaminantes en forma gaseosa, los productos radiactivos e incluso bacterias y virus. Esto explicaría el incremento del riesgo de ciertos tipos de enfermedades entre las personas que viven cerca de líneas de alta tensión sugerido por algunos estudios epidemiológicos.

Esta hipótesis, formulada originalmente en 1996 pero que ha sido objeto de nuevas especulaciones, no cuenta con el apoyo del resto de la comunidad científica; en particular ha sido fuertemente criticada por el Consejo Nacional de Protección Radiológica del Reino Unido, que es el organismo gubernamental encargado de velar por la seguridad del público y trabajadores frente a las radiaciones electromagnéticas. Otros investigadores, por ejemplo de la Universidad de Dublín, no han podido corroborar esta hipótesis experimentalmente.

En la Tabla 10 se resumen los mecanismos propuestos por los cuales el campo eléctrico generado por una línea eléctrica podría afectar a las partículas nocivas presentes en la atmósfera de tal manera que resulten más dañinas para la salud de las personas, y las principales objeciones que les han presentado otros científicos.

MECANISMO PROPUESTO	OBJECIONES
<i>El campo eléctrico hace oscilar a las partículas cargadas, incrementando la deposición de partículas sobre la piel.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para que el incremento de deposición fuera significativo serían necesarios campos eléctricos mucho más intensos que los generados por las líneas eléctricas.</li> <li>• Este mecanismo conduciría a un incremento de enfermedades de la piel, lo cual no se ha observado cerca de líneas eléctricas de alta tensión.</li> </ul>
<i>El campo eléctrico hace oscilar a las partículas cargadas en las vías respiratorias y pulmones, incrementando la deposición de partículas.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La piel apantalla casi por completo el campo eléctrico externo.</li> <li>• Este mecanismo conduciría a un incremento de enfermedades del aparato respiratorio, lo cual no se ha observado cerca de líneas eléctricas de alta tensión.</li> </ul>

<p><i>Las partículas nocivas se depositan sobre los conductores y caen sobre las personas arrastradas al suelo por la lluvia.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es habitual permanecer debajo de los conductores eléctricos cuando llueve.</li> <li>• Este mecanismo conduciría a un incremento de enfermedades de la piel, lo cual no se ha observado cerca de líneas eléctricas de alta tensión.</li> </ul>
<p><i>Las fuentes de campo eléctrico atraen a las partículas, incrementando su concentración en la atmósfera.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si las partículas son atraídas por los cables conductores disminuirá su concentración en la atmósfera.</li> <li>• La fuerza de la gravedad será superior a la atracción, excepto en la superficie de los cables conductores, alejando las partículas; y éstas serán dispersadas por el viento.</li> <li>• No se ha observado experimentalmente un incremento en la concentración de partículas nocivas (contaminantes, radón...) en la cercanía de las líneas eléctricas.</li> </ul>
<p><i>Variación del campo estático natural de la Tierra.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La variación del campo estático reduciría la concentración de partículas presentes en la atmósfera, reduciendo la probabilidad de que se depositen en la piel o sean inhaladas.</li> </ul>
<p><i>Los iones generados por el efecto corona incrementan la carga eléctrica de las partículas y su tamaño.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo se han detectado incrementos de iones por efecto corona de forma muy esporádica, unos minutos al año y en malas condiciones climatológicas.</li> <li>• Estos iones no tienen efectos nocivos sobre la salud.</li> </ul>
<p><i>El campo eléctrico tiende a aglutinar las partículas, haciéndolas más grandes.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aunque este efecto es muy débil, habrá menos partículas ultrafinas presentes en la atmósfera, que son las que más se inhalan y las más dañinas para la salud.</li> </ul>

Tabla 10. Resumen de los mecanismos propuestos por los que el campo eléctrico incrementa la deposición de aerosoles.

La conclusión final es que, aunque desde el punto de vista de la física sean posibles, ninguno de estos mecanismos puede llegar a ser perjudicial, puesto que o bien no se producen en las condiciones reales o bien sus efectos son mínimos; alguno de ellos incluso contribuye a reducir la concentración de estos contaminantes en el medio ambiente.

*La hipótesis de que la exposición al campo eléctrico generado por líneas eléctricas incrementa la exposición a partículas contaminantes presentes en la atmósfera no está respaldada ni por razonamientos teóricos ni por los experimentos.*

Por lo tanto y en conclusión, aparte del fenómeno de inducción de corrientes eléctricas no existe en la actualidad ningún mecanismo biológico que involucre a los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja, a las intensidades comúnmente encontradas, en la producción de efectos biológicos nocivos.

Para evaluar el posible efecto que cualquier agente puede producir en la salud se llevan a cabo estudios de laboratorio (experimentales), tanto *in vitro* como *in vivo* (ver glosario), y estudios epidemiológicos.

Los estudios de laboratorio sobre células, animales y voluntarios, aunque pueden no reflejar situaciones reales, permiten controlar una multitud de variables, sobre todo las condiciones reales de exposición a campos electromagnéticos.

Los estudios epidemiológicos investigan lo que realmente interesa, la salud de las personas en su ambiente natural, pero tienen como principal defecto que en la mayoría de los casos no se conocen bien los niveles de campo electromagnético a los que han podido estar expuestos los participantes en el estudio.

En el Anexo I se explican algunos conceptos básicos sobre epidemiología; básicamente lo que hace un estudio epidemiológico es buscar si existe o no una asociación entre una enfermedad (por ejemplo, cáncer de pulmón) y un agente (tabaco, radón, amianto...). El nivel de asociación o el grado de riesgo debe establecerse según una fórmula matemática que estima si la asociación puede ser fruto del azar (riesgo estadísticamente no significativo) o no (riesgo estadísticamente significativo).

### Fertilidad y reproducción

#### ► Estudios de laboratorio

En la edición anterior se decía que estos dos aspectos han sido estudiados de forma muy exhaustiva y que no hay indicios de que los campos de frecuencia industrial tengan un efecto adverso sobre la fertilidad y el desarrollo. Sin embargo, dentro del programa RAPID de Estados Unidos se han llevado a cabo 2 experimentos en animales.

El primero de ellos evalúa los efectos de campos de 60 Hz e intensidades de 2 y 200  $\mu\text{T}$  (entre 10 y 40 veces la intensidad a la que puede estar expuesta una persona en su domicilio) y 1.000  $\mu\text{T}$  sobre varias generaciones de ratas expuestas de forma continua (18,5 horas al día). También investiga un grupo de ratas expuestas de forma intermitente (campos encendidos durante una hora y apagados la hora siguiente) a una intensidad de 1.000  $\mu\text{T}$ .

No se aprecia ningún efecto tóxico sobre ninguna de las tres generaciones expuestas de forma continua en lo que se refiere a fertilidad, tamaño de las camadas o peso al nacer. Tampoco se evidencia un mayor número de malformaciones congénitas en los animales expuestos, todo ello de acuerdo con investigaciones anteriores. Una alteración que sí se observa en algunas ratas macho expuestas de forma intermitente a 1.000  $\mu\text{T}$  es un aumento de peso de la glándula adrenal, que puesto que no se ve ni en las ratas hembra ni en otras de otros grupos

expuestos (ni en otros experimentos anteriores) y además es un aumento pequeño, no se considera ni significativo desde el punto de vista biológico ni relacionado con la exposición a campos electromagnéticos.

El segundo estudio analiza la exposición a campos magnéticos de 60 Hz y 180 Hz (el tercer armónico) o ambos combinados, con una intensidad total de 200  $\mu$ T. Tampoco se ven alteraciones significativas en los grupos expuestos.

Fuera del programa RAPID se ha llevado a cabo un estudio sobre ratas expuestas a un campo magnético de 13 ó 130  $\mu$ T, y la tasa de implantación embrionaria; este estudio detectaría si aumenta el número de abortos espontáneos subclínicos (abortos que suceden antes de que se pueda detectar clínicamente un embarazo) por la exposición. A pesar de que los niveles de melatonina disminuyen en estos animales, posiblemente por el efecto del campo magnético, no se vio una mayor incidencia de abortos en las ratas expuestas.

### ► Estudios epidemiológicos

En lo que se refiere a estudios epidemiológicos sobre fertilidad y reproducción en personas, se han publicado recientemente dos estudios sobre mujeres que usan mantas eléctricas o camas de agua calentadas eléctricamente y el riesgo de aborto espontáneo. En conjunto, estos dos estudios investigan a más de 4.000 mujeres que usan uno de estos electrodomésticos y en ningún caso encuentran un aumento en el riesgo de perder un embarazo. Uno de estos estudios examina además la proximidad de las casas de estas mujeres a líneas eléctricas y no encuentra una relación entre riesgo de aborto y vivir cerca de instalaciones eléctricas susceptibles de crear campos electromagnéticos intensos.

Otro nuevo estudio investiga los efectos de estos electrodomésticos en la incidencia de dos tipos de malformaciones congénitas: defectos del tubo neural (como espina bífida) y malformaciones de boca y cara (como el labio leporino). En el análisis de más de 600 casos de cada una de estas anomalías no se observa que las mujeres que usan más estos dispositivos tengan mayor incidencia que las que las usan menos.

Estos estudios se unen a otros cinco anteriores que, además de investigar la incidencia de abortos, analizan la incidencia sobre el crecimiento del feto durante el embarazo y algún tipo de malformaciones; en estos estudios (realizados en mujeres que usaban mantas eléctricas o vivían cerca de líneas de alta tensión) no se ve que exista un riesgo aumentado para ninguno de estos problemas. La única excepción es un estudio que encuentra, en mujeres con problemas previos de fertilidad, un riesgo aumentado de tener un niño con algún tipo de malformación de las vías urinarias.

*Las dos últimas revisiones publicadas sobre los efectos de los campos electromagnéticos en la fertilidad y reproducción concluyen que los estudios sobre mamíferos expuestos son en su mayoría negativos: no interfieren con el crecimiento fetal, no ocasionan una mayor incidencia de malformaciones congénitas o de abortos, y el desarrollo neurocomportamental de los animales es normal. Los resultados de todos ellos no apoyan la hipótesis de que los campos electromagnéticos afecten al proceso de reproducción.*

En la Tabla 11 se resumen los resultados obtenidos sobre exposición a campos electromagnéticos y fertilidad y reproducción:

<b>Tipo de Estudio</b>	<b>Exposición</b>	<b>Resultados</b>
<b>Laboratorio</b>	Ratas (14 estudios) Ratones (10 estudios) Vacas (1 estudio)	Ausencia de efectos en la gran mayoría.
<b>Epidemiológico</b>		
• Doméstico	Uso de mantas eléctricas (8 estudios)  Cercanía a línea eléctrica (3 estudios)	No se observan un riesgo estadísticamente significativo.  Un estudio encuentra un riesgo ligeramente aumentado de perder el embarazo en las primeras semanas.
• Laboral	Trabajadores del sector eléctrico (12 estudios)	Alguno refiere disminución de la libido. No hay relación con aborto precoz en mujeres del sector. Un estudio refiere mayor riesgo de parto prematuro en mujeres trabajadoras. No se han investigado malformaciones congénitas.

Tabla 11. Resumen de estudios que han investigado la repercusión de la exposición a campos electromagnéticos en la fertilidad y la reproducción.

## Cáncer

Las investigaciones actuales muestran que la carcinogénesis es un proceso causado por una serie de alteraciones en el material genético de las células (el ADN) y que se desarrolla en varias fases (Figura 20). Según un modelo propuesto, estas fases son:

- **Iniciación:** como consecuencia de una serie de daños en su material genético, las células normales se convierten en células precancerosas. En la iniciación intervienen agentes *genotóxicos*.
- **Promoción:** las células precancerosas se convierten en cancerosas al impedirse, por ejemplo, la reparación del daño genético, al hacer a la célula más vulnerable a otros agentes genotóxicos o al estimular la división de una célula dañada.
- **Progresión:** desarrollo del tumor propiamente dicho y de su potencial para provocar metástasis en otros órganos. En la promoción y progresión intervienen los llamados agentes *epigenéticos*.

De la extensa experimentación sobre agentes cancerígenos se conocen agentes genotóxicos y agentes promotores (o co-promotores). Los agentes promotores, al contrario que los genotóxicos (iniciadores) no son capaces de iniciar el proceso canceroso, sólo colaboran a su mantenimiento y progresión.

En un análisis de iniciación se analiza la capacidad de provocar alteraciones en el material hereditario.

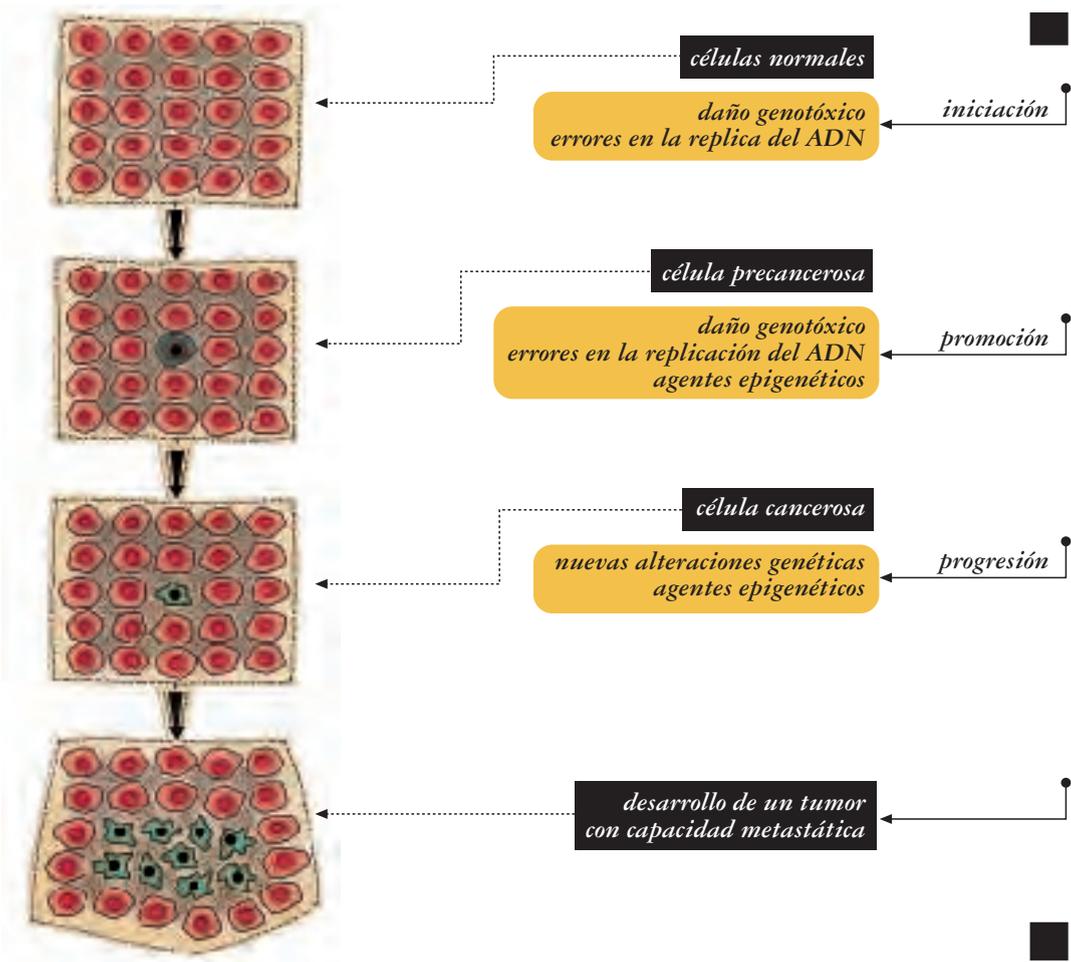


Figura 20. Un modelo de carcinogénesis. Algunos investigadores no hablan ya de de estas tres fases, sino que se refieren a sucesivos eventos genotóxicos (iniciadores) y modificaciones epigenéticas, que sin producir mutaciones favorecen la carcinogénesis.

En un análisis de promoción se expone a los animales a una genotoxina a una dosis que produciría cáncer en algunos, pero no en todos los animales; y otro grupo de animales se exponen a la genotoxina más el agente que se desea probar si tiene actividad promotora. Si el agente más la genotoxina provoca más cánceres de los que se producen con la genotoxina sola, entonces el agente es un promotor.

En los últimos años se ha investigado de forma exhaustiva la posible relación de los campos electromagnéticos de 50 Hz con la iniciación/promoción/progresión de diversos tipos de cáncer, y sus resultados han llevado al Comité de Estados Unidos que revisó las investigaciones del Programa de Investigación EMF-RAPID a concluir que *“los resultados de los experimentos en animales llevados a cabo en el EMF-RAPID, así como otros, no apoyan la hipótesis de que los campos magnéticos estén involucrados en el proceso cancerígeno”*.

a) Estudios de laboratorio

Desde el año 1998 se han publicado 7 estudios sobre leucemia y 2 sobre inducción de linfomas, lo que sumado a los estudios anteriores a esa fecha hace un total de unos 15 estudios sobre inducción de estas patologías en más de 5.000 animales de experimentación bajo muy diferentes condiciones de exposición. Estos estudios analizan la incidencia de estas patologías en animales expuestos a campos magnéticos a lo largo de toda su vida (estudios de exposición crónica), la promoción del cáncer tras la administración de un agente físico o químico, la “facilitación” de la expresión de leucemia o linfoma en animales genéticamente predispuestos y la progresión en un modelo animal en el que se implantan células leucémicas. Los resultados han sido:

- **Estudios de exposición crónica.** Se han expuesto ratas y/o ratones a campos magnéticos durante 24 ó 28 meses de forma continuada (20-22 horas al día) y a intensidades que varían entre 2, 200 ó 1.000  $\mu\text{T}$ . También se ha analizado la exposición a 1.000  $\mu\text{T}$  de forma intermitente (el campo se activa y desactiva en ciclos de 1 hora) durante los mismos dos años. En este último caso se observa una disminución significativa de linfomas en ratones hembras; en los demás casos no hay un aumento significativo de leucemias o linfomas. En ratas tampoco se observa un aumento de leucemias/linfomas, ni los estudios histológicos evidencian lesiones pretumorales.
- En otros 3 estudios, uno en el que se aplican campos de 20 y 2.000  $\mu\text{T}$  además de comenzar la exposición desde el día 20 de la gestación (exposición prenatal), otro con exposiciones de 1.400  $\mu\text{T}$  y un último en el que la exposición llega hasta los 5.000  $\mu\text{T}$ , la incidencia de leucemia y linfomas es similar a la del grupo control (no expuesto a campo magnético).
- En la edición anterior se mencionaban 2 estudios, del mismo grupo investigador, que encuentran una mayor incidencia de linfoma en ratones expuestos a 25.000  $\mu\text{T}$ ; estos resultados no han sido confirmados hasta la fecha.
- **Estudios de promoción.** Se ha llevado a cabo un nuevo y muy amplio (1.700 ratones) estudio de promoción de leucemia/linfoma tras la inducción con radiación ionizante. Los animales son expuestos a 1.400  $\mu\text{T}$  más de dos años tras la inducción con radiación ionizante. No se observa ningún efecto del campo sobre la incidencia de leucemia/linfomas. Un estudio previo de menor tamaño y duración muestra los mismos resultados.
- **Estudios sobre animales transgénicos.** En 3 estudios diferentes se utilizan dos tipos de animales genéticamente alterados y predispuestos a padecer leucemias y linfomas. Ninguno detecta que los campos magnéticos (de 1, 2, 100, 200 ó 1.000  $\mu\text{T}$ ) den lugar a estas patologías tras exposiciones que varían entre 23 semanas y 18 meses.
- **Progresión tumoral tras la implantación de células leucémicas.** 3 estudios analizan la progresión de la leucemia en animales expuestos a campos de 1.000  $\mu\text{T}$  tras la inyección de un número variable de células leucémicas. Ninguno muestra que la exposición a los campos magnéticos acelere la progresión de la leucemia. Un último estudio analiza la exposición de 340 ratas durante más o menos un mes a 100  $\mu\text{T}$  (18 horas al día, 7 días a la semana) tras la inyección de células de leucemia mieloide aguda, no encontrando tampoco efecto alguno del campo magnético en la progresión de la enfermedad.

*En conjunto estos resultados, y los de los estudios in vitro que analizan la expresión de genes ligados al cáncer, corroboran la opinión de que no hay una evidencia experimental que haga suponer que los campos electromagnéticos estén relacionados con leucemia o linfoma.*

En la Tabla 12 se resumen los estudios sobre incidencia de leucemias y/o linfoma en ratas y ratones.

<b>Tipo de estudio y exposición</b>	<b>Tiempo de exposición</b>	<b>Resultados</b>
▶ <b>Campo magnético sólo</b> (4 estudios) De 2 a 5.000 $\mu T$	<i>Continua (18-20 horas/día) o intermitente (intervalos de una hora) durante 24 meses. Incluye un grupo expuesto durante periodo prenatal.</i>	<i>No aumenta la incidencia de leucemia o linfoma en ninguno de los estudios.</i>
▶ <b>Campo magnético más un agente promotor del cáncer</b> (radiación ionizante o DMBA) (1 estudio) 1.000 $\mu T$ 1.400 $\mu T$	<i>Expuestos 3 horas/día, 16 semanas. Continua, 18 horas/día, 24 meses.</i>	<i>No aumenta la incidencia de leucemia o linfomas.</i>
▶ <b>Campo magnético más un agente promotor del cáncer</b> (etilnitrosourea) <b>en animales transgénicos</b> (3 estudios) 1, 2, 100, 200 y 1.000 $\mu T$	<i>Continua, 18 horas/día entre 23 semanas y 18 meses.</i>	<i>No aumenta la incidencia de leucemia o linfoma.</i>
▶ <b>Campo magnético y progresión tumoral</b> 100 $\mu T$ (1 estudio) 1.000 $\mu T$ (3 estudios)	<i>Continua, 18-20 horas/día durante 1-2 meses.</i>	<i>No aumenta la incidencia de leucemia o linfoma.</i>

Tabla 12. Resumen de los estudios sobre incidencia de leucemias y/o linfomas en ratas y ratones expuestos a campos electromagnéticos.

## b) Estudios epidemiológicos sobre leucemia infantil

En 1979 dos autores americanos publicaron un trabajo en el que afirmaban que niños que habían muerto de leucemia en la ciudad de Denver en un periodo de tiempo determinado tenían una probabilidad de dos a tres veces mayor de haber vivido en una casa que estuviese cerca de un conjunto de líneas o instalaciones susceptibles de generar campos electromagnéticos elevados, que los niños que no tenían ese tipo de cáncer.

Se habló por primera vez de la hipótesis de los campos electromagnéticos como agentes cancerígenos, aunque en realidad ni éste ni otros estudios posteriores medían realmente el nivel de campo electromagnético en las casas donde vivían estas personas. En vez de medirlo utilizaban un método basado en el “código o configuración de los cables”, que se establecía en función del tamaño, número y distancia respecto de la línea eléctrica, y que permitía clasificar las casas en aquéllas con “exposición alta, media o baja”.

Algunos estudios posteriores negaron esta asociación, pero otros encontraron también una relación parecida. Por último, en algunos países no encontraron asociación alguna entre campo electromagnético y leucemia infantil, aunque sí con otro tipo de tumores.

En 1993 se publicó un estudio del **Instituto Karolinska de Suecia** sobre niños y adultos que vivían cerca de líneas de alta tensión que atrajo la atención de los medios de comunicación. El resultado principal es que el riesgo de padecer leucemia es mayor en niños con un nivel de exposición superior a 0,2  $\mu\text{T}$  (basado en 7 casos analizados). También se observa que el riesgo aumenta conforme las casas están más cerca de la línea de alta tensión; a 50 metros de la línea el riesgo de leucemia se triplica y es casi estadísticamente significativo. No se observa un riesgo aumentado para ningún otro tipo de tumor.

Por el contrario, en otros países nórdicos como **Noruega, Dinamarca y Finlandia**, usando una metodología parecida, no se encuentran riesgos aumentados de leucemia por el hecho de vivir en la proximidad de instalaciones eléctricas.

El informe del **Registro de Cáncer de Finlandia** de agosto de 1993 concluye que *“la incidencia de cáncer en niños en la proximidad de líneas eléctricas no difiere de la media en niños que viven en otros lugares de Finlandia”*.

El estudio coordinado por el **Instituto Nacional del Cáncer de Estados Unidos** y publicado en 1997 merece también una especial atención. Este estudio tiene las siguientes cualidades:

- El número de casos de leucemia (638) es cuatro veces mayor que el analizado en cualquier otro estudio anterior.
- La exposición a campo magnético se estima en parte según el código o configuración de los cables próximos a la casa pero además se mide la dosis de campo magnético que los niños reciben durante 24 horas (primero colocando dosímetros en sus mochilas y luego instalándolos en sus casas).
- Estas mediciones se realizan en los dos años siguientes al diagnóstico de la enfermedad (en estudios anteriores, la estimación de la exposición se llega a realizar décadas después del diagnóstico).

*La conclusión del estudio es que no se encuentra un riesgo elevado de leucemia en relación con una exposición superior a 0,2  $\mu\text{T}$  en viviendas ni se encuentra relación alguna con el hecho de vivir cerca de distintos códigos o configuraciones de cables.*

En algunos países también se ha analizado la incidencia de tumores en adultos que viven cerca de líneas, pero sólo en dos de ellos se encuentra una incidencia ligeramente aumentada. En el más reciente y de mayor envergadura, realizado en Finlandia, no se detecta relación alguna entre vivir cerca de líneas de alta tensión y una mayor incidencia de cáncer en general.

En los últimos tres años se han publicado 6 nuevos estudios originales y 2 revisiones de alguno ya publicado. Por el tamaño de la muestra analizada hay que resaltar los **estudios canadienses** dirigidos por McBride y Green y el británico del UKCCS (**Grupo de Estudio del Cáncer Infantil del Reino Unido**), publicados en 1999 y 2000.

Los *estudios canadienses* tienen una metodología similar y se pueden comparar con el del Instituto Nacional del Cáncer de Estados Unidos ya comentado. Los tres estudios estiman la exposición a campos electromagnéticos utilizando medidas personales (monitorización individual) y parámetros como códigos de cables y medidas puntuales en el interior y exterior de las casas.

Los principales resultados son:

- **Asociación con los códigos de cables.** Ninguno de los tres estudios encuentra un riesgo aumentado de leucemia por el hecho de vivir cerca de una configuración de cables de alta intensidad. La asociación con los códigos de cables ha sido hasta hace poco la única asociación que se había mantenido en algunos estudios de leucemia infantil. Los tres últimos estudios rebaten dicha asociación.
- **Asociación con medidas puntuales.** Las medidas realizadas en el dormitorio de los niños, así como en otros cuartos, no se asocia en ninguno de los estudios con un riesgo significativo de leucemia. Sólo en el estudio de Green se encuentra una asociación significativa entre leucemia y las medidas realizadas en el exterior de la casa. La importancia de este resultado disminuye al no observarse un aumento del riesgo conforme aumenta el nivel de campo magnético en el exterior de la casa.
- **Asociación con medidas personales.** Los dos estudios canadienses usan dosímetros personales para estimar la exposición de los niños. McBride consigue medir 293 niños con leucemia y 339 controles, mientras que Green consigue una muestra menor, 88 casos y 133 controles. Green encuentra un riesgo significativamente disminuido de leucemia en relación con el campo eléctrico, y significativamente aumentado en relación con el campo magnético (por encima de 0,07  $\mu\text{T}$ ); cuando analiza los datos separando los niños según se les haya diagnosticado la leucemia antes o después de los seis años de edad, encuentra que la asociación es mayor para los menores de seis años. McBride, sobre una muestra mayor de niños, no ve ninguna asociación con leucemia en general o linfoblástica aguda en particular.

El único aspecto del estudio de Green que difiere de los anteriores es la relación entre leucemia y nivel de campo magnético estimado por dosimetrías personales. Esta asociación sólo aparece cuando se analizan niños menores de seis años y cuando se ajustan los riesgos según algunos factores no muy bien documentados. La falta de un razonamiento válido para aplicar estos ajustes o para la selección del grupo de edad a analizar con dosímetros personales, junto con la falta de una tendencia a aumentar el riesgo según aumenta la dosis recibida, impiden dar mucha validez a los resultados hasta que otros estudios no los confirmen. De hecho, este estudio no ha sido incluido en las revisiones más recientes como la del NRPB (Consejo Nacional de Protección Radiológica) británico.

El mayor estudio hasta la fecha es el realizado en el Reino Unido por el UKCCS. En total investigan 3.838 casos de cáncer. La medida del campo electromagnético toma en cuenta la exposición doméstica, en particular en el dormitorio del niño, la proximidad y el tipo de líneas eléctricas aéreas cerca de la vivienda, el tipo de electrodomésticos en la casa (suelo radiante, acumuladores de calor, mantas eléctricas...), medidas en colegios o guarderías donde el niño hubiera pasado por lo menos 15 horas cada semana durante el invierno anterior al diagnóstico y los datos de las compañías eléctricas relacionados con la carga de las líneas y otras características, que proporcionan un cálculo histórico de las exposiciones similar de alguna forma a lo realizado en el estudio del Instituto Karolinska.

La conclusión de los autores del estudio británico es que *“el estudio no proporciona evidencia de que la exposición a campos magnéticos asociados con la distribución de electricidad en el Reino Unido aumente el riesgo de leucemia infantil, cáncer del sistema nervioso central o cualquier otro tipo de cáncer de la infancia.”*

Este estudio ha sido criticado, porque tiene un número muy pequeño de casos expuestos a niveles elevados de campo magnético, en comparación con los estudios americanos. Esto se explica por la diferente configuración eléctrica en América respecto a Europa. En América, al funcionar la red a 125 voltios, se hace necesario transportar el doble de corriente para conseguir la misma potencia. Puesto que el campo magnético depende de la corriente, éste será mayor en América que en Europa.

Por lo tanto, lo que podemos concluir del estudio del UKCCS es que los campos magnéticos de 50 Hz, a las intensidades que se está expuesto en los países europeos, no suponen un riesgo de cáncer para los niños.

Sir Richard Doll -el epidemiólogo acreditado por haber puesto de manifiesto la relación entre tabaco y cáncer, y que preside el UKCCS- ha comentado *“Abora no existe justificación para nuevos estudios epidemiológicos en el Reino Unido. El cáncer infantil es una enfermedad muy preocupante y, a pesar de que hayan mejorado las tasas de supervivencia, es imperativo que descubramos sus causas. El componente magnético de los campos electromagnéticos ha estado bajo sospecha durante algún tiempo, pero este importante estudio proporciona una sólida evidencia de que la exposición a niveles de campo magnético como los encontrados en el Reino Unido no aumenta el riesgo de cáncer infantil.”*

En la Tabla 13 se resumen todos los estudios realizados hasta la fecha, y que han utilizado diferentes formas de estimar la exposición de los niños.

<b>Parámetro de la exposición</b>	<b>Nº de estudios (fechas)</b>	<b>Resultados</b>
<p>► <b>Descriptivo</b> El parámetro de exposición es la “configuración” o el llamado “Código” de cables.</p>	<p>8 estudios (entre los años 1979-1999)</p>	<p>En general no se encuentran riesgos aumentados. Dos estudios, el primero del año 1979 y otro de 1991 encuentran un riesgo significativo.</p>
<p>► <b>Distancia</b> El parámetro de exposición es la distancia de la casa a la línea eléctrica o a otras instalaciones eléctricas (transformadores, subestaciones...).</p>	<p>11 estudios (entre los años 1989-2000)</p>	<p>En general no se encuentran riesgos aumentados. Tan sólo dos estudios (uno es el del Instituto Karolinska de Suecia) encuentran riesgos significativos.</p>
<p>► <b>Campo calculado</b> Se estima la exposición en base a distancia a la línea, carga anual promedio de la misma y su configuración.</p>	<p>7 estudios (entre los años 1993-2000)</p>	<p>En general no se encuentran riesgos aumentados. Un estudio (el del Instituto Karolinska) encuentra un riesgo significativo.</p>
<p>► <b>Campo medido</b> Se utilizan medidas puntuales en las casa o dosímetros que registran la exposición de los niños durante una media de 24-48 horas.</p>	<p>9 estudios (entre los años 1986-2000)</p>	<p>En general no se encuentran riesgos aumentados. Tan sólo dos estudios (uno alemán y otro canadiense) encuentran riesgos significativos.</p>

Tabla 13. Resumen de estudios utilizando diferentes formas de estimar la exposición a campos electromagnéticos.

En el **anexo II** se enumeran todos los estudios epidemiológicos realizados hasta la fecha sobre exposición a campos electromagnéticos y riesgo de leucemia infantil.

En los próximos años se espera la publicación de, por lo menos, 2 estudios: uno del grupo inglés utilizando dosímetros y otro japonés que tomará en cuenta la presencia de otras características físicas de los campos electromagnéticos, como la presencia de *transitorios* electromagnéticos.

### c) Nuevos meta-análisis sobre leucemia infantil

En el año 2000 se han publicado 3 *meta-análisis* o análisis conjuntos de los datos de varios estudios. Estos estudios muestran una pequeña asociación entre campos intensos, tanto medidos como calculados, y un aumento en el riesgo de leucemia infantil para la categoría de máxima exposición, más de 0,4  $\mu$ T, aunque los resultados se basan en muy pocos casos (8 casos).

Hay que decir, sin embargo, que no es lo mismo medir que calcular el campo. Cuando se mide se toman en cuenta todas las posibles fuentes de exposición, mientras que cuando se calcula sólo se toma en cuenta una fuente (normalmente las líneas eléctricas de alta tensión presentes en el exterior de la vivienda), por lo que se subestima la exposición global de un sujeto. Por lo tanto, no se debe tomar la concordancia de ambos resultados como prueba de una asociación entre campo magnético y leucemia.

Teniendo en cuenta estas y otras aclaraciones, el Consejo de Salud de **Holanda**, entre otros, ha concluido que *“No es probable que niños (o adultos) que viven cerca de líneas de alta tensión estén sometidos a un riesgo por la exposición a campos magnéticos generados por esas líneas.”*

Por su parte en el informe del Consejo Nacional de Protección Radiológica del Reino Unido también se hace eco de estos meta-análisis y dice que algunos de sus resultados pueden deberse a ciertos sesgos en la selección de los individuos bajo estudio; basándose en todos los estudios hasta la fecha, incluidos estos últimos, no estima necesario cambiar los límites de exposición del público en general.

*El Consejo Nacional de Protección Radiológica del Reino Unido (NRPB) ha declarado a principio de 2001 que no es necesario cambiar la normativa actual de exposición a campos electromagnéticos.*

### d) Estudios en trabajadores

Desde el año 1982 se han llevado a cabo unos 40 estudios sobre profesiones “eléctricas”, que incluyen electricistas, trabajadores de líneas eléctricas, de telefonía, de radio y televisión, de centrales eléctricas, soldadores, etc.

Todos estos estudios han presentado tradicionalmente varios problemas metodológicos, entre los que destacan el escaso número de per-

sonas estudiadas (lo que les resta potencia estadística), la ausencia de medidas reales de campo magnético en los puestos de trabajo (no se sabe realmente quién está expuesto y quién no, ni a qué dosis o intensidades) y el hecho de que no se estudien posibles exposiciones a agentes cancerígenos, físicos o químicos, que pudieran estar presentes en el lugar de trabajo.

Un **estudio franco-canadiense** sobre trabajadores de las compañías eléctricas de estos dos países ha intentado solventar estos problemas, estudiando un colectivo grande (223.000 trabajadores), incluyendo análisis de la exposición a agentes cancerígenos (según la lista de la Organización Mundial de la Salud) y midiendo con dosímetros personales la exposición media de cada tipo de trabajo o tarea.

En este estudio no se encuentra una asociación entre ningún tipo de trabajo eléctrico y una mayor incidencia de cáncer. Ni los trabajadores de generación ni los de transporte y distribución presentan un riesgo significativamente aumentado de cáncer.

Analizando, no los tipos de trabajo sino la dosis de campo magnético recibida en el lugar de trabajo, se encuentra un riesgo aumentado (de hasta tres veces) para un determinado tipo de leucemia en trabajadores cuyas dosis eran superiores a la media. Este exceso de leucemia se debe a 12 casos detectados en una de las compañías canadienses; sin embargo, a esas dosis, en las otras empresas no se detecta dicho aumento de riesgo, lo que avala la idea de que el resultado es debido al azar. Los autores del trabajo concluyen que sus resultados no establecen que la exposición a campos electromagnéticos sea la responsable del aumento de leucemias.

Un **estudio americano** similar, sobre 139.000 trabajadores, no encuentra riesgos estadísticamente significativos para leucemias, ni considerando los diferentes tipos de trabajo, ni tomando en cuenta las dosis recibidas. Es interesante señalar que, en este estudio, la incidencia de leucemias en trabajadores de líneas eléctricas (que están expuestos a campos electromagnéticos elevados) es notablemente baja.

Las conclusiones de estos estudios coinciden con la opinión expresada por la **Comisión Internacional de Salud Laboral (ICOH, 1992)** de que *“los datos respecto de los campos eléctricos y magnéticos y sus efectos sobre la salud no justifican ningún cambio en las prácticas actualmente recomendadas en la operación industrial, aunque {la Comisión} tiene intención de seguir revisando el tema.”*

En los últimos años se han publicado dos estudios nuevos sobre cáncer en trabajadores eléctricos. El primero en Dinamarca, sobre una cohorte de 32.000 trabajadores encuentran 3.008 casos de cáncer, de los cuales 63 eran leucemias. El riesgo para este tipo de cáncer, así como para otros (como el cáncer de mama) no está aumentado ni siquiera cuando se clasifica a los trabajadores según diferentes niveles de exposición.

*El estudio danés, muy amplio y completo puesto que contiene los datos de prácticamente la totalidad de los casos de cáncer en trabajadores desde el año 1943, no encuentra un aumento de riesgo de ningún tipo de cáncer.*

El segundo, en el **Reino Unido**, sobre 84.000 trabajadores, investiga 111 casos de leucemia. Para calcular la exposición de los trabajadores se vale de una detallada matriz de exposición que incorpora en sus cálculos una media de campo magnético para cada localización de un

trabajo junto con el tiempo que dura cada trabajo; de esta forma se consigue una medida de campo magnético acumulada en el tiempo. No se encuentra un riesgo aumentado de ningún tipo de leucemia en estos trabajadores, ni para la exposición acumulada durante su vida laboral ni la acumulada durante los últimos cinco años.

También en los últimos años se han presentado nuevos análisis de los datos generados por estudios anteriores, en particular el estudio realizado en Estados Unidos sobre trabajadores de cinco compañías eléctricas. Para el caso de los linfomas, usando 51 casos e investigando varios tipos de exposición, los autores no encuentran una sola correlación que sea estadísticamente significativa; sugieren alguna relación con el nivel de campo eléctrico, pero la multitud de comparaciones utilizadas en el estudio puede dar lugar a este tipo de hallazgos por puro azar. Este tipo de estudios que utilizan tantas comparaciones sólo son útiles para formular hipótesis, no para extraer conclusiones.

Los mismos autores han hecho otro estudio similar analizando las leucemias y concluyen que existe una relación entre nivel de campo eléctrico (pero no con el magnético) y riesgo de leucemia. Sin embargo sus resultados se basan en trabajadores que pasan mucho tiempo expuestos a niveles iguales o superiores a 20 V/m, mientras que para los que están expuestos a más de 78 V/m el riesgo es menor. Tampoco ven una relación con la exposición a campo magnético.

**Basándose en todo lo anteriormente dicho, y sobre todo en las conclusiones de los últimos estudios epidemiológicos, no se puede afirmar que los campos electromagnéticos de 50 Hz existentes en nuestro entorno o en ambientes laborales sean un factor de riesgo para el desarrollo de leucemia y linfoma.**

## Cáncer de mama

### a) Estudios de laboratorio

Hasta la fecha se han publicado 17 estudios sobre ratas y ratones expuestos a campos electromagnéticos de 50-60 Hz. Un primer grupo es el que estudia la exposición durante toda la vida del animal (exposición continua durante 2 años) y el segundo analiza lo que se llama la promoción del cáncer de mama inducido por productos químicos, y lo hacen durante 13 ó 26 semanas tras la exposición al agente químico elegido.

Del primer tipo de estudio existen 4 publicaciones científicas que analizan, en total, más de 2.500 animales, algunos expuestos desde los 20 días de gestación. Los niveles de campo varían entre 2 y 5.000  $\mu\text{T}$  y alguno analiza la exposición intermitente (campo activado/desactivado a intervalos de una hora). Los resultados muestran que la exposición de ratas y ratones, tanto machos como hembras, a campos electromagnéticos durante dos años, no aumenta la incidencia de cáncer ni de patologías benignas de la mama (adenomas y fibroadenomas).

El segundo grupo (12 estudios) analiza la capacidad promotora de campos magnéticos de 0,3 a 30.000  $\mu\text{T}$ , (aunque la mayoría analiza el rango de 50 a 500  $\mu\text{T}$ ). Dicha capacidad promotora se estudia tras la administración de un producto químico que es capaz de iniciar el proceso cancerígeno. Sólo en 3 estudios (del mismo grupo de investigadores) se observa un aumento significativo en la incidencia de tumores de mama tras 13 ó 26 semanas de exposición a 50 y 100  $\mu\text{T}$ . En otro, la exposición a 100  $\mu\text{T}$  durante 26 semanas muestra una disminución significativa de estos tumores.

Considerados en conjunto, los resultados son o bien negativos o poco consistentes en relación a diferentes parámetros usados para investigar la actividad promotora del cáncer: incidencia de tumores, número de tumores por animal, tiempo que debe transcurrir para que aparezca el tumor, número total de tumores y tamaño de los mismos. Los estudios que encuentran un aumento en la incidencia de tumores provienen del mismo grupo de investigadores y no han podido ser corroborados por otros estudios independientes.

Por último, un nuevo estudio analiza la promoción del cáncer de mama tras inyectar células de un tipo de cáncer de mama en ratones y exponerlos a campos magnéticos de 2.000  $\mu\text{T}$  durante dos semanas. No se encuentran diferencias en la incidencia ni el tiempo necesario para desarrollar el tumor entre los grupos de expuestos y los controles.

Tipo de estudio y exposición	Tiempo de exposición	Resultados
▶ <b>Campo magnético sólo</b> (4 estudios) De 2 a 5.000 $\mu\text{T}$	Continua (18-20 horas/día) o intermitente (intervalos de una hora) durante 24 meses. Incluye un grupo expuesto durante periodo prenatal. (Total: 2.500 animales, machos y hembras)	No aumenta la incidencia de cáncer de mama ni de patologías benignas de la mama.
▶ <b>Campo magnético más un agente promotor del cáncer (DMBA)</b> (12 estudios) De 0,3 a 30.000 $\mu\text{T}$	Continua, 18,5-24 horas/día, de 13 a 27 semanas	Tres estudios, del mismo grupo investigador, encuentran un aumento en la incidencia en expuestos a 50 y 100 $\mu\text{T}$ . Estos resultados no se han confirmado por otros grupos.
▶ <b>Campo magnético y progresión tumoral</b> (1 estudio) 2.000 $\mu\text{T}$	Continua, 6 horas/día, 5 días por semana; expuestos dos semanas antes y/o después de inyectar el tumor.	No aumenta la incidencia ni disminuye el tiempo necesario para que aparezca el tumor.

Tabla 14. Estudios de laboratorio sobre ratas y ratones e incidencia de cáncer de mama.

## b) Estudios epidemiológicos

Desde 1983 y hasta la fecha se han publicado casi 20 estudios de exposición laboral, 8 de exposición doméstica, 1 que engloba ambas, y 6 sobre uso de mantas eléctricas (lo que supone una exposición elevada a campos electromagnéticos) y riesgo de cáncer de mama, tanto en mujeres como en hombres.

En general, 4 de los 18 estudios de exposición laboral muestran un riesgo ligeramente aumentado, aunque las conclusiones de uno de ellos fueron rebatidas posteriormente. En cuanto a exposición doméstica, tan sólo el estudio inicial de Wertheimer y Leeper en el año 1987 muestra una relación (aunque difícil de valorar por la metodología usada) entre vivir cerca de líneas eléctricas y cáncer de mama.

De todos estos estudios hay que destacar, por su tamaño, un estudio llevado a cabo en Taiwán sobre 1980 casos de cáncer de mama, el realizado en Finlandia entre los años 1979 y 1989 que engloba a 1.229 casos, y otro sueco (usando la misma metodología que el conocido como estudio del Instituto Karolinska sobre leucemia infantil) sobre 699 casos de cáncer de mama; ninguno refiere un aumento en la incidencia de cáncer de mama por vivir cerca de líneas eléctricas.

En la Tabla 15 se resumen estos estudios:

Tipo de estudio	Número de estudios	Resultados
<b>► Estudios sobre varones</b>		
Exposición doméstica	4 estudios	No hay relación con cáncer de mama.
Exposición laboral	19 estudios	Dos estudios encuentran una relación estadísticamente significativa.
<b>► Estudios sobre mujeres</b>		
Exposición doméstica	8 estudios	Sólo el primer estudio del año 1987 encuentra una relación significativa
Exposición laboral	18 estudios	Cuatro muestran una relación significativa. Un estudio combina la exposición doméstica y la laboral y no encuentra relación alguna con el cáncer de mama.
Uso de mantas eléctricas	6 estudios	Ninguno muestra un riesgo significativo. Uno de ellos además analiza la exposición a otros electrodomésticos.

Tabla 15. Estudios epidemiológicos sobre incidencia de cáncer de mama.

Por último, señalar que los autores del último estudio citado han realizado otro en el que combinan la exposición tanto doméstica como laboral en 440 casos y tampoco encuentran una incidencia aumentada de este tipo de cáncer.

Ninguno de los 6 estudios sobre mujeres que usaban mantas eléctricas encuentra un riesgo de cáncer de mama aumentado. Estos estudios son importantes puesto que la exposición a campos electromagnéticos debida a mantas eléctricas es de las más elevadas que se pueden encontrar. En estos colectivos de mujeres ha sido posible investigar el efecto de la edad (pre o postmenopausia) y el del tipo de cáncer (positivo o negativo para receptores de estrógenos), factores ambos que se han intentado relacionar con la hipótesis de la melatonina, y no se observa que exista un riesgo aumentado en ninguno de estos subgrupos.

Considerando los estudios de laboratorio del programa EMF-RAPID, así como los estudios epidemiológicos sobre mujeres expuestas, se puede concluir que no existe relación entre campos electromagnéticos de 50 Hz y el cáncer de mama.

## Cáncer de piel

### a) Estudios de laboratorio

En la edición anterior se mencionaba que había 6 estudios sobre promoción del cáncer de piel en animales, de los cuales sólo uno sugería una mayor incidencia. Este resultado no se pudo replicar en el mismo laboratorio donde se originó. En la actualidad se han añadido otros 3 estudios también sobre promoción, y 2 que son parte de estudios más extensos dentro del

Programa Nacional de Toxicología (NTP) de Estados Unidos y que analizan la incidencia de diversos cánceres en animales expuestos únicamente a campos electromagnéticos (estudios de iniciación del cáncer) durante dos años.

Estos 2 estudios exponen de forma continua grupos de 100 ratas o ratones a intensidades de 2, 200 y 1.000  $\mu\text{T}$ ; también para esta última intensidad se realizan exposiciones intermitentes (campo encendido y apagado en intervalos de 1 hora). En ninguno de ellos se observa una mayor incidencia de cáncer de piel en ratas o ratones.

De los estudios sobre promoción que usan uno o dos agentes cancerígenos de forma conjunta, dos dan resultados negativos utilizando exposiciones continuas (seis horas al día, cinco días por semana) a intensidades de 2.000  $\mu\text{T}$  durante 23 semanas.

Un tercero usa un modelo experimental nuevo: ratones modificados genéticamente expuestos a luz ultravioleta e intensidades de 100  $\mu\text{T}$  de forma continua (24 horas al día durante 10 meses) o intermitente (en este caso, 1, 3, 13 y 130  $\mu\text{T}$  aplicados durante 20 minutos y seguido por una pausa de 2 horas). De esta forma encuentra un efecto estadísticamente significativo sobre la incidencia de tumores de piel cuando se analizan conjuntamente los datos del grupo expuesto de forma continua y el intermitente. Los autores de este estudio llaman la atención sobre el hecho inesperado de la ausencia de tumores en el grupo control expuesto a luz ultravioleta, lo cual podría tener repercusiones en el análisis estadístico.

## b) Estudios epidemiológicos

El único estudio epidemiológico que encuentra alguna relación con este tipo de cáncer es el del Registro del Cáncer de Dinamarca mencionado anteriormente. En él se encuentra entre los hombres, pero no entre las mujeres, un exceso de cáncer de piel (no melanoma) que los autores atribuyen a que estos trabajadores pasan una mayor parte del tiempo expuestos a radiación solar que otros trabajadores daneses. Este tipo de cáncer no se encuentra aumentado en ningún otro estudio epidemiológico.

**En conclusión, el conjunto de las investigaciones apunta a una ausencia de efecto de los campos magnéticos sobre la incidencia y la promoción del cáncer de piel.**

## Tumores cerebrales

### a) Estudios de laboratorio

En los mismos estudios del NTP descritos anteriormente se investiga también la incidencia de tumores cerebrales en animales expuestos a diferentes niveles de campos electromagnéticos. Ni en las ratas ni ratones expuestos a estos campos se observa un aumento en la incidencia de estos tumores. Estos dos nuevos trabajos se unen a dos anteriores que investigan, entre otros, este tipo de tumores, y que proporcionan suficiente evidencia de que los campos electromagnéticos por sí solos no son capaces de inducir tumores cerebrales.

En lo que se refiere a promoción de tumores cerebrales, dos estudios han finalizado recientemente. El primero usa un producto químico para inducir los tumores en ratas expuestas posteriormente a 2, 20, 200 y 2.000  $\mu\text{T}$ . Cada grupo consta de 50 ratas. No se observa diferencia alguna entre los grupos expuestos a campos y los controles. En el segundo estudio, se utiliza como agente iniciador del cáncer la radiación ionizante a dosis de 3, 4 y 5,1 Gy. La dosis

de campo magnético es bastante elevada, 1.400  $\mu\text{T}$ . Se encuentra tan pocos tumores cerebrales que no es posible realizar un análisis del experimento.

## b) Estudios epidemiológicos

En cuanto a la incidencia de tumores cerebrales en niños que viven cerca de líneas eléctricas, el amplio estudio del UKCCS mencionado en el apartado de la leucemia no encuentra un riesgo aumentado, si bien el número de casos incluidos en el estudio es muy pequeño. En dos estudios anteriores, exclusivamente dirigidos a investigar esta hipótesis, no se encuentran riesgos significativos analizando un número mayor de casos.

En lo que se refiere a trabajadores, un estudio a nivel nacional sobre trabajadores del sector eléctrico en Dinamarca tampoco encontró evidencia de que este tipo de tumor aumente entre los trabajadores más expuestos a campos electromagnéticos. El único aumento se observa en mujeres expuestas a los niveles más bajos de campos (entre 0,1-0,29  $\mu\text{T}$ ), aunque el resultado se basaba únicamente en dos casos. Por ello, los autores del estudio dicen que: *“No hemos encontrado relación entre exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja y tumores cerebrales.”*

Un estudio inglés sobre 84.000 trabajadores, que incluye 158 tumores cerebrales, tampoco encuentra un riesgo aumentado de padecer este tipo de cáncer.

**En resumen, del análisis de todos los estudios publicados sobre exposición a campos electromagnéticos, tanto en el domicilio como en el trabajo, se puede concluir que no existe una clara y contrastada evidencia de que la exposición a estos campos ocasiona un aumento en el riesgo de desarrollar tumores cerebrales.**

## OTROS EFECTOS INVESTIGADOS

### ► *Absentismo laboral*

Con el fin de averiguar si los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos elevados tienen un mayor número de problemas de salud, un estudio francés analiza dos grupos de trabajadores durante 15 años: personal que realiza trabajos de reparación y mantenimiento de líneas eléctricas sin interrumpir el flujo de energía (trabajos en tensión) y trabajadores de reparación y mantenimiento de subestaciones eléctricas.

Los trabajadores de líneas que trabajan a potencial (manipulando líneas eléctricas en funcionamiento) pueden tener exposiciones puntuales muy altas, hasta 7.000  $\mu\text{T}$  (media 160  $\mu\text{T}$  por 20 horas de trabajo en líneas y año). Su exposición laboral media es de alrededor de 9  $\mu\text{T}$ . No tienen exposición a campo eléctrico porque la ropa aislante que llevan apantalla el campo eléctrico.

Los trabajadores de subestaciones tienen exposiciones puntuales entre 35 y 700  $\mu\text{T}$  próximos a las líneas que llegan a la subestación. Sus exposiciones medias son en general más bajas, pero están expuestos más tiempo.

En este estudio se usa como controles (no expuestos) vendedores, técnicos, administrativos, mecánicos, etc. Por último, también se compara a los trabajadores a potencial con los traba-

trabajadores de líneas convencionales que trabajan con las líneas desactivadas (en descargo y, por tanto, sin exposición a campo electromagnético).

Los resultados indican que para los trabajadores de subestaciones el índice o tasa anual de absentismo es menor, de forma estadísticamente significativa, que la de los controles (2% frente a 2,5% de los controles). Estos trabajadores presentan absentismo menos a menudo y sus ausencias son más cortas que la de los controles.

La distribución de las causas de absentismo es diferente en los dos grupos. Las enfermedades respiratorias y psiquiátricas son menos frecuentes en los expuestos y en cambio los accidentes más frecuentes.

En cuanto a los trabajadores de líneas a potencial, su tasa anual de absentismo, el porcentaje anual de ausentes, la frecuencia anual de absentismo y la duración del mismo no son significativamente diferentes de los controles, y son menores que las de los trabajadores de líneas convencionales (con menores exposiciones a campo magnético).

Por tanto este estudio muestra que la salud de los trabajadores expuestos no es diferente de la de los controles; casi todos los índices de absentismo son menores en los expuestos. En los dos tipos de trabajos considerados, expuestos a niveles diferentes de campo magnético, las causas de absentismo son similares y claramente diferentes de los controles.

### ► Depresión y suicidio en trabajadores eléctricos

Tal y como se acaba de comentar en el estudio francés, la frecuencia de enfermedades psiquiátricas (depresión entre ellas) no parece ser mayor en trabajadores expuestos a campos electromagnéticos elevados. Dos estudios anteriores al mencionado ya habían apuntado esta conclusión, aunque en uno de ellos, entre todos los trabajadores eléctricos los electricistas parecían tener una mayor sintomatología depresiva.

En lo que se refiere a suicidio, uno de los 5 estudios realizados propone una relación entre exposición a campos electromagnéticos de frecuencia industrial y la incidencia de suicidio. Este estudio es un nuevo análisis de los datos de la cohorte americana de 138.000 trabajadores. En un primer análisis no se había encontrado una mayor incidencia de suicidio comparada con la población americana en general. En el nuevo estudio se analizan las muertes en base a los niveles de campo electromagnético al que estaban expuestos.

Los autores concluyen que sus resultados “*proporcionan evidencia de una asociación entre suicidio y exposición campos electromagnéticos*”; sin embargo, el análisis de los datos muestra que la relación entre suicidio y exposición acumulada a campo magnético a lo largo de los años sólo es estadísticamente significativa en el caso de los expuestos a más de 0,36  $\mu\text{T}$ -año durante los últimos 5 años, pero no en los otros grupos que habían acumulado exposiciones mayores.

Por ejemplo, para una exposición acumulada total a lo largo de toda la vida profesional de más de 3  $\mu\text{T}$ -año, el riesgo no es estadísticamente significativo. Y en el análisis de la exposición acumulada durante los últimos 20 años el riesgo es menor que cuando se había estado expuesto menos tiempo (lo contrario de lo que cabría esperar). Además en el análisis de puestos de trabajo con niveles similares de campo magnético se encuentran riesgos diferentes, incluso opuestos.

Por último, es interesante señalar que en el estudio anteriormente comentado sobre absentismo y mortalidad en trabajadores expuestos a campos electromagnéticos en la compañía francesa de electricidad (EDF), donde se estudia un colectivo menor, pero expuesto a campos muy intensos, destaca un solo caso de suicidio entre estos trabajadores.

La tabla 16 resume estos estudios:

<p><b>Depresión</b> 2 estudios (entre 1985 y 1994)</p>	<p><i>No se asocia el nivel de campo eléctrico ni magnético con ansiedad o depresión. Por tareas, sólo en electricistas se encontraba un único indicador de depresión aumentado.</i></p>
<p><b>Suicidio</b> 5 estudios (entre 1990-2000)</p>	<p><i>En el primer estudio, trabajadores de radio y radar tenían un riesgo aumentado. En profesiones eléctricas, 3 estudios encuentran una mortalidad por suicidio menor que en la población general. Un sólo estudio encuentra riesgo aumentado en electricistas y disminuido en centrales generadoras.</i></p>

Tabla 16. Salud mental en trabajadores profesionalmente expuestos a campos electromagnéticos.

### ► Otros problemas neurológicos

En 1996 un estudio refirió que profesiones con “probable exposición” a campos electromagnéticos como eran sastres y costureras tenía un riesgo aumentado de padecer enfermedad de Alzheimer. No encontraron un riesgo aumentado de esta enfermedad en otras profesiones eléctricas.

Tres estudios posteriores no encuentran evidencia para dicha relación, aunque en ninguno de ellos se incluyeron profesiones como las mencionadas anteriormente. De todas maneras, si el riesgo de enfermedad de Alzheimer estuviera relacionado con los campos electromagnéticos, otras de las profesiones (con niveles de exposición similar) analizadas en estos últimos estudios hubieran dado resultados igualmente positivos. Por ello, es posible que el riesgo encontrado entre sastres y costureras sea debido a otros factores de su trabajo, distintos de los campos electromagnéticos.

La Esclerosis Lateral Amiotrófica es otra enfermedad neurológica que en 1986 se relacionó con los campos electromagnéticos en un pequeño estudio que incluía 19 casos de esta enfermedad. Otros estudios posteriores encuentran un riesgo elevado entre soldadores (expuestos a una gran variedad de campos electromagnéticos, además de humos y metales) y marginalmente aumentado en electricistas y operadores de centrales eléctricas.

En el último estudio (realizado en una amplia cohorte de trabajadores eléctricos daneses) sólo se encuentra una relación estadísticamente significativa cuando esta enfermedad se engloba junto con las demencias seniles. El autor de este estudio propone la hipótesis de que el agente desencadenante de la enfermedad pudiera ser, no el campo electromagnético, sino las des-

cargas eléctricas a las que algunos trabajadores están expuestos. Cita para apoyar esta hipótesis un estudio inglés y otro americano que encontraron una mayor incidencia de descargas eléctricas entre trabajadores con esta enfermedad que entre controles.

La tabla 17 resume estos estudios:

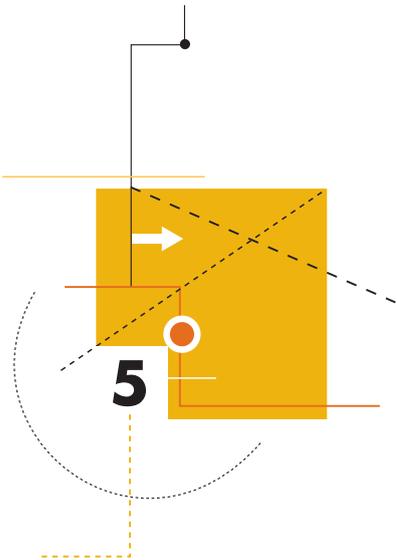
<p><b>Enfermedad de Alzheimer</b> 5 estudios (entre 1995-2000)</p>	<p>Riesgo ligeramente aumentado en profesiones como sastres (dos estudios del mismo autor). Los tres últimos estudios no encuentran relación alguna.</p>
<p><b>Esclerosis Lateral Amiotrófica</b> 6 estudios (entre 1986-2000)</p>	<p>Los primeros estudios muestran un riesgo ligeramente aumentado. En los más recientes no se encuentra relación alguna con la profesión o con los niveles de campo magnético.</p>
<p><b>Otras</b> - Enfermedad de Parkinson (2 estudios) - Esclerosis Múltiple (1 estudio)</p>	<p>No se encuentra relación alguna. No se encuentra relación alguna.</p>

Tabla 17. Enfermedades neurológicas en trabajadores profesionalmente expuestos a campos electromagnéticos.

En conclusión, no existe una clara evidencia de que los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos tengan un riesgo aumentado de padecer determinadas enfermedades neurológicas ni que la incidencia de enfermedades comunes les haga ausentarse de su trabajo con una incidencia mayor que la de los trabajadores no expuestos.

## CUADRO RESUMEN DE CONCLUSIONES FINALES DE LOS ESTUDIOS BIOLÓGICOS Y EPIDEMIOLÓGICOS

- ▶ *La conclusión de los estudios experimentales sobre células o tejidos aislados, sobre animales y sobre voluntarios no indican que los campos electromagnéticos de 50 Hz, a las intensidades comúnmente encontradas, tengan efectos nocivos.*
- ▶ *A las intensidades de campo electromagnético habituales e incluso a niveles bastante más altos, no se ha demostrado que exista un mecanismo biofísico o bioquímico plausible por el cual puedan producirse efectos nocivos. El mecanismo por el cual la modificación de los niveles de la hormona melatonina podría tener un papel en ciertos efectos biológicos no se ha comprobado que sea relevante en mamíferos o seres humanos.*
- ▶ *En estudios de laboratorio los campos electromagnéticos no han mostrado efectos sobre la fertilidad o reproducción de los animales o sobre los distintos estadios comúnmente aceptados de la carcinogénesis. Existen estudios de un mismo grupo de investigadores sobre una supuesta actividad promotora sobre el cáncer de mama inducido químicamente en animales, pero los intentos de replicar estos resultados por parte de otros investigadores hasta la fecha han fallado. No se conocen las causas para esta discrepancia.*
- ▶ *La controversia subsiste actualmente únicamente en el terreno de los estudios epidemiológicos, en particular sobre cáncer en niños que viven cerca de instalaciones eléctricas. Alguno de los primeros estudios encontraron una relación con el tamaño de las líneas y su distancia a las casas, pero cuando realmente se medían los campos a los que estaban expuestos, esta relación no existía. En los estudios más recientes, que han incorporado formas más precisas de medir la exposición de los niños a campos electromagnéticos, no se ha encontrado relación alguna con la incidencia de cáncer. Tampoco se ha encontrado una relación entre cáncer y distancia de las casas a líneas o instalaciones eléctricas. Esto incluye importantes nuevos estudios, financiados y dirigidos por Institutos del Cáncer de países como Estados Unidos, Canadá y Reino Unido.*
- ▶ *La gran mayoría de estudios epidemiológicos sobre adultos que viven o trabajan cerca de instalaciones eléctricas no han encontrado que los campos electromagnéticos representen un peligro para su salud.*



## ¿Qué opinan los organismos nacionales e internacionales?

► **Declaración de la Comisión Internacional de Salud Laboral (ICOH). 1992.**

“La reunión del Comité de Trabajo y Radiación de la ICOH concluyó que los datos respecto de los campos eléctricos y magnéticos y los efectos en la salud no justifican ningún cambio en las prácticas actualmente recomendadas en la actividad industrial, pero tiene intención de seguir revisando el tema.”

► **Revisión de Universidades Asociadas de Oak Ridge, Estados Unidos. 1992 (Revisado en 1993).**

“Este análisis indica que no existen pruebas concluyentes, en la literatura publicada, para apoyar la opinión de que los campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia, generados por fuentes tales como aparatos electrodomésticos, pantallas de visualización y líneas eléctricas locales, son peligrosos para la salud.”

“Esta revisión no justifica una gran ampliación del esfuerzo investigador sobre los efectos para la salud de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja. En el panorama de las necesidades de investigación en ciencias básicas y de salud, cualquier preocupación sobre la salud y la exposición a estos campos no debería recibir una gran prioridad.”

► **Academia Nacional de Medicina de Francia. 1993.**

“En un contexto epidemiológico incierto y en el estado actual de los conocimientos, la Academia Nacional de Medicina estima que los efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos creados por las líneas de distribución y transporte de electricidad, si existen, no representan más que un riesgo muy débil a escala individual y no constituyen, por esta razón, un problema de salud prioritario.”

► **Autoridades de Suecia. 1994.**

“El número de casos (de leucemia) encontrado es tan pequeño que es imposible deducir de esos trabajos que haya una relación entre campo magnético y cáncer. Los científicos todavía no saben si los campos magnéticos son la causa y, si lo son, cómo actúan.”

► **Informe de la Asociación Americana de Medicina (AMA). Estados Unidos. 1994.**

“No se ha documentado científicamente ningún riesgo para la salud en relación con los niveles de campo electromagnético comúnmente encontrados.”

► **Comité Sueco de Salud y Seguridad. 1995**

“Los datos epidemiológicos existentes no pueden usarse para apoyar ninguna conclusión definitiva sobre si la exposición a campos electromagnéticos aumenta el riesgo de cáncer... Sin embargo, la posibilidad de que haya una relación entre exposición y riesgo no puede descartarse.”

► **Comisión Europea. Dirección General de Empleo, Relaciones Industriales y Asuntos Sociales. 1996**

“La mayoría de los estudios biológicos sugieren que los campos electromagnéticos de baja frecuencia no tienen ningún efecto significativo sobre el desarrollo de los mamíferos. No existe una evidencia convincente de que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja sean capaces de influir en ninguna de las etapas aceptadas en la carcinogénesis.”

► **Academia Nacional de las Ciencias de Estados Unidos. Consejo Nacional de Investigación. 1997. ISBN 0-309-05447-8.**

“...la conclusión del Comité es que la evidencia actual no muestra que la exposición a estos campos represente un peligro para la salud de las personas. Específicamente, no hay evidencias concluyentes y consistentes que muestren que exposiciones a campos eléctricos y magnéticos domésticos produzcan cáncer, efectos adversos neurocomportamentales o efectos sobre la reproducción y el desarrollo.”

“...en muchos estudios persiste una asociación entre leucemia infantil y configuraciones de cables en viviendas, aunque no se ha identificado un agente causal para dicha asociación. Ninguna evidencia asocia los niveles de campo magnético medidos en la actualidad con la leucemia infantil.”

► **Informe del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). España. 1998.**

“Este informe presenta la revisión de la información científica y técnica más significativa, actualmente disponible a nivel internacional sobre efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50-60 Hz). Dicha información no proporciona evidencias de que la exposición a campos electromagnéticos generados por las líneas eléctricas de alta tensión suponga un riesgo para la salud de las personas o el medio ambiente.”

“Los estudios epidemiológicos y experimentales no demuestran que estos campos produzcan cáncer, efectos sobre la reproducción y el desarrollo o alteraciones mentales o del comportamiento. Desde el punto de vista físico y biológico, no se han podido identificar mecanismos que expliquen cómo estos campos podrían producir efectos adversos en el organismo.”

► **Informe de ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante). 1998. Health Physics, 74, 4, 494-522.**

“En la actualidad sólo se puede concluir que no hay una evidencia convincente de efectos cancerígenos y que los datos no se pueden usar como base para desarrollar recomendaciones de exposición”. Y más adelante: “los estudios de laboratorio sobre células y animales no han encontrado efectos establecidos de campos de baja frecuencia que sean indicativos de efectos adversos cuando la densidad de corriente inducida es de 10 mA/m<sup>2</sup> o menor.”

- ▶ **Informe de Consejo Nacional de Investigación (NRC) de Estados Unidos. 1999.** National Academy Press. ISBN-0-309-06543-7. Research on Power Frequency fields completed under the Energy Policy Act of 1992.

“Los resultados del Programa EMF-RAPID, no apoyan la afirmación de que el uso de la electricidad supone un peligro importante [y] no reconocido para la salud pública. La investigación básica sobre los efectos de los campos magnéticos de frecuencia industrial debe seguir, pero no es necesario un esfuerzo especial para financiarlos.”

- ▶ **Informe del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ambiental (NIEHS). Estados Unidos. 1999.** NIH Publication No. 99-4493.

“La evidencia científica para sugerir que la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja supone un riesgo para la salud es débil.

“La única evidencia de algún efecto sobre la salud proviene de débiles asociaciones epidemiológicas observadas con leucemia infantil y leucemia linfocítica crónica en adultos expuestos profesionalmente. Sin embargo, los estudios sobre mecanismos de interacción y la experimentación de laboratorio sobre animales no muestran efectos nocivos, aunque sí se han observado algunos efectos biológicos. No se ha observado un aumento de leucemias en animales expuestos en laboratorio.”

- ▶ **Comité Científico Director de la Unión Europea. 1999.**

“La literatura científica disponible no proporciona suficientes evidencias como para concluir que se den efectos a largo plazo como consecuencia de la exposición a campos electromagnéticos.”

- ▶ **Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). Grupo de expertos COMAR (Comité Man and Radiation). 1999.**

“Los miembros de COMAR creen que los datos no son suficientes como para apoyar la conclusión de que existe un nexo causal entre campos magnéticos débiles de frecuencia industrial y el cáncer.”

“La evidencia científica no apoya la existencia de cáncer u otros peligros para la salud y seguridad por la exposición a campos de frecuencia industrial a los niveles que se encuentran en los ambientes domésticos normales o en la mayoría de los ambientes laborales (promedio del campo magnético en 24 horas por debajo de 1 microtesla, que caracteriza la exposición de 99,5% de la población de Estados Unidos).”

- ▶ **Informe del Comité sobre Campos Electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja del Consejo de Salud de Holanda. 2001.** Publicación No. 2001/14.

“Se mantiene la creencia del Comité de que no es probable que niños (o adultos) que viven cerca de líneas eléctricas de alta tensión estén expuestos a un riesgo por los campos electromagnéticos generados por esas líneas.”

- ▶ **Informe del Grupo Asesor sobre Radiaciones No ionizantes del NRPB (National Radiological Protection Board). Reino Unido. 2001.** Doc. NRPB, 12 (1), 164 (2001).

“Los experimentos de laboratorio no han proporcionado una buena evidencia de que los campos electromagnéticos de frecuencia industrial sean capaces de producir cáncer y los estudios epidemiológicos sobre personas tampoco sugieren que causen cáncer en general. Existe, sin

embargo, cierta evidencia epidemiológica de que una exposición prolongada a niveles altos de campos magnéticos de frecuencia industrial se asocia con un pequeño riesgo de leucemia en niños. En la práctica, tales niveles de exposición se dan rara vez entre el público. En ausencia de una clara evidencia de un efecto cancerígeno en adultos, o de una explicación plausible derivada de experimentos sobre animales o células, la evidencia epidemiológica no es en este momento lo suficientemente sólida como para justificar una conclusión firme de que tales campos causan leucemia en niños. Sin embargo, a menos que investigaciones futuras indiquen que este hallazgo es debido al azar o a un artefacto no reconocido, queda la posibilidad de que una exposición intensa y prolongada a campos magnéticos en niños pueda aumentar el riesgo de leucemia.”

- ▶ **Informe final de la Comisión de expertos en materia de líneas eléctricas de alta tensión. Departamento de Industria Comercio y Turismo de la Generalitat de Cataluña. 2001.**

“...el conocimiento actual no confirma la existencia de ninguna consecuencia grave e irreversible para la salud humana causada por la exposición a los campos electromagnéticos de baja magnitud y frecuencia, como los generados en las líneas eléctricas.”

- ▶ **Nota de prensa de la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). 2001. [Se da información detallada de esta declaración en el Anexo III].**

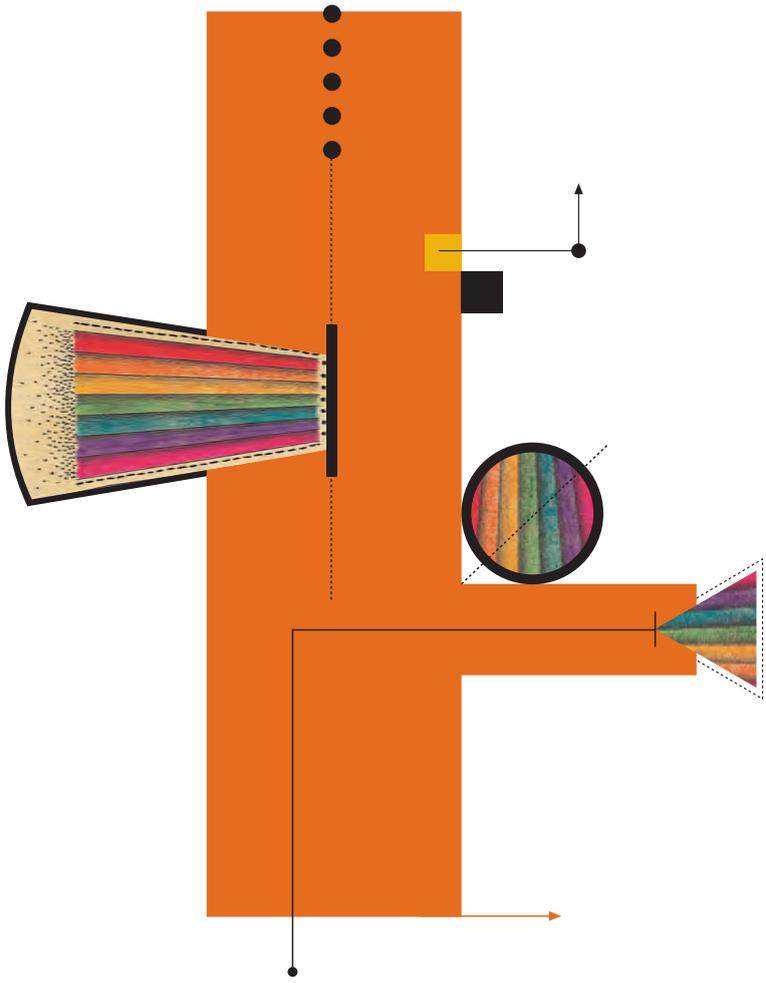
“IARC concluye que los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja son un posible cancerígeno para humanos... No se ha hallado ninguna evidencia de que la exposición residencial o laboral a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja incremente el riesgo de ningún otro tipo de cáncer infantil o en adultos... Los campos eléctricos y magnéticos estáticos y los campos eléctricos de frecuencia extremadamente baja no pueden clasificarse en cuanto a su poder cancerígeno.”

“Los estudios experimentales en animales no muestran un efecto cancerígeno o co-cancerígeno consistente de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja, y no se ha establecido una explicación científica para la asociación observada del incremento del riesgo de leucemia infantil con una mayor exposición residencial a campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja.”

- ▶ **Ministerio de Sanidad y Consumo de España. Dirección General de Salud Pública y Consumo. 2001.**

“La exposición a campos electromagnéticos no ocasiona efectos adversos para la salud, dentro de los límites establecidos en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea (1999/519/CE), relativa a la exposición del público a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz.

El cumplimiento de la citada recomendación es suficiente para garantizar la protección sanitaria de los ciudadanos.”





# 6

## Actualización de la legislación

Desde 1998 el hecho más relevante en la legislación a nivel europea ha sido la aprobación de la Recomendación del Consejo de la Unión Europea de 12 de Julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz (1999/519/CE).

Esta Recomendación se basa en gran medida en la guía elaborada en 1998 por ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante) -organismo científico vinculado a la Organización Mundial de la Salud-, y está avalada por el Comité Científico Director de la Comisión que en su reunión del 25-26 de Junio de 1998 dictaminó que: *“En lo que se refiere a la evaluación de efectos térmicos (agudos o a corto plazo) de los campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz la guía de ICNIRP proporciona una base apropiada para el desarrollo de límites de exposición contra estos riesgos. En lo que se refiere a exposiciones no-térmicas a campos electromagnéticos, la literatura disponible no proporciona suficiente evidencia como para concluir que se den efectos a largo plazo como consecuencia de esta exposición.”*

Esta recomendación tiene como objetivo proteger la salud de los ciudadanos y se aplica en especial a las zonas pertinentes en las que los ciudadanos 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.

Tanto es así, que en la Nota a pie de página en el apartado B, Restricciones Básicas y Niveles de Referencia, se dice que *“puesto que existen cerca de 50 factores de seguridad [Nota de los autores: la traducción es defectuosa, realmente se refiere a que se introduce un factor de seguridad de 50] entre los valores límite en relación con los efectos agudos y las restricciones básicas, esta Recomendación abarca implícitamente los posibles efectos a largo plazo en toda la gama de frecuencias.”*

Dichos valores límite se derivan de la Tabla 2, anexo III (Niveles de referencia) de dicho documento.

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

Por ser una recomendación no es de obligado cumplimiento, pero en una respuesta escrita a una pregunta parlamentaria sobre la repercusión de los campos electromagnéticos en la salud de las personas (Boletín del Congreso de 24 Septiembre de 1999. Serie D, Núm. 478, página 46 y 47), el Gobierno de España acepta explícitamente los niveles propuestos en la Recomendación del Consejo Europeo al decir que: “*El Ministerio de Sanidad y Consumo una vez que se apruebe esta recomendación adoptará las medidas necesarias para su aplicación en nuestro país.*” Alemania ha seguido también el criterio de ICNIRP y ha adoptado los mismos límites.

En febrero de 2001 el Parlamento de Italia aprobó una ley de protección contra la exposición a campos electromagnéticos, cuyo ámbito de aplicación son todas las instalaciones, sistemas y equipamientos -civiles, policiales y militares- susceptibles de exponer a trabajadores o público en general a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz. Esta Ley define los siguientes parámetros, pero no especifica los valores numéricos de estos parámetros, eso tendrá que hacerlo el Primer Ministro mediante decretos [hasta hoy no se ha publicado ninguno]:

- Límite de exposición: nivel de campos electromagnético que no se debe exceder en ninguna circunstancia.
- Valor de atención: nivel de campo que no se debe exceder en lugares de trabajo, escuelas y lugares donde se permanezca mucho tiempo por motivos de precaución ante cualquier posible efecto nocivo a largo plazo.
- Objetivo de calidad: nivel de campo que deben cumplir las nuevas instalaciones y al que deben tender progresivamente las existentes.

Fuera del ámbito comunitario, a principio del año 2000 Suiza aprobó una ley en la que fija 5 kV/m y 100 µT como límite genérico para los niveles de campo eléctrico y magnético de frecuencia industrial respectivamente. Pero, además, aplicando un principio de cautela, establece un valor máximo muy restrictivo (1 µT) para el campo magnético que cada nueva instalación eléctrica puede generar en las zonas donde en público pueda permanecer mucho tiempo; aunque también permite hacer excepciones si se han tomado medidas adecuadas para reducir el campo.

En las Tablas 18 y 19 se resume la normativa internacional más destacable sobre exposición laboral y pública a campos electromagnéticos de frecuencia industrial.

NORMATIVA DE EXPOSICIÓN LABORAL		
Organismo	Campo eléctrico (kV/m)	Campo magnético (µT)
ICNIRP		
50 Hz. (Todo el día)	10	500
60 Hz. (Todo el día)	8,3	420
NRPB (Reino Unido)	12	1.600
ACGIH (Estados Unidos)	25	1.000
Unión Europea (propuesta de Directiva)	6	200

Tabla 18. Límites y recomendaciones de exposición laboral a campos electromagnéticos de frecuencia industrial.

## NORMATIVA DE EXPOSICIÓN PÚBLICA

Organismo o país	Campo eléctrico (kV/m)	Campo magnético ( $\mu$ T)
<b>ICNIRP</b>		
50 Hz. (Todo el día)	5	100
60 Hz. (Todo el día)	4,2	83
<b>NRPB (Reino Unido)</b>	12	1.600
<b>Alemania (pocas horas)</b>	5-10 <sup>(a)</sup>	100-200 <sup>(a)</sup>
<b>Australia</b>	5-10 <sup>(b)</sup>	100
<b>Estados Unidos</b>		
Florida	8-10 <sup>(b)</sup>	15-20 <sup>(b)</sup>
Nueva York	12	20
<b>Suiza</b>	5	1 <sup>(c)</sup> -100
<b>Unión Europea (Recomendación)</b>	5	100

(a) Dentro y fuera de casa respectivamente.

(b) Líneas de 230 kV y 500 kV respectivamente.

(c) Se aplica a líneas eléctricas aéreas y subterráneas y subestaciones de nueva construcción, aunque es posible hacer excepciones si se han tomado medidas adecuadas para reducir el campo.

*Tabla 19. Límites y recomendaciones de exposición del público en general a campos electromagnéticos de frecuencia industrial.*



### ► ESTUDIOS SOBRE ESPECIES ANIMALES DE INTERÉS COMERCIAL

Un problema que también ha sido investigado dentro de la controversia de los posibles efectos de los campos electromagnéticos es si la exposición de animales de la cabaña ganadera por la proximidad de líneas eléctricas de alta tensión a pastos o establos tiene algún efecto nocivo. Desde el principio de los años 80 se han llevado a cabo bastantes estudios sobre el particular, no habiéndose encontrado ningún efecto adverso sobre su salud o productividad.

En 1980 se investigaron en Estados Unidos 11 granjas de vacas de carne y de leche, ovejas, cerdos y caballos que tenían en sus proximidades una línea de 765 kV. Entrevistas bimestrales con los propietarios y exámenes periódicos realizados por los veterinarios no hallaron que la exposición a estos campos (12 kV/m y entre 1,2-5,6  $\mu$ T bajo la línea) tuviera efectos sobre la salud, comportamiento o productividad de los animales. Un estudio más largo (de seis años) sobre una línea eléctrica de las mismas características, pero enfocado exclusivamente a la producción de leche, no mostró efecto alguno.

Un estudio canadiense de 1996 analiza la producción de leche de vacas estabuladas en condiciones más extremas: expuestas durante 28 días a campos de 10 kV/m y 30  $\mu$ T. Los análisis de sangre no muestran efectos sobre hormonas como cortisol o progesterona, y la producción de leche no se ve afectada. Cuando se analiza en detalle la leche se encuentra un incremento en contenido graso (aumentaba de 4,06 a 4,43%), que los investigadores estiman que está en el rango de la variabilidad normal.

También se han publicado 2 estudios sobre fertilidad de las vacas. Se realizaron en Suecia en la proximidad de líneas eléctricas de 400 kV y no se observa ninguna alteración en su fertilidad (el campo eléctrico máximo bajo las líneas es de 5 kV/m). Trasladando los animales a establos especiales, en los que se les expone a campos de 4 kV/m y 2  $\mu$ T, tampoco se observa afecciones en ningún parámetro relacionado con la fertilidad.

Además de vacas también se han investigado cerdos y ovejas. En el primer caso no se ha encontrado variación en su peso, comportamien-

ro, alimentación, fertilidad, producción de malformaciones congénitas o ganancia de peso de las crías por el hecho de estar expuestos a una línea de 345 kV. En el caso de las ovejas se han llevado a cabo varios estudios en condiciones de laboratorio (estabuladas en condiciones especiales) sobre parámetros como ciclo reproductivo, crecimiento, estrés, alteraciones del sistema inmune o de la hormona melatonina, sin que se encontraran alteraciones en ellos. Tampoco se encontraron modificaciones en la producción de lana, ganancia de peso o sensibilidad a infecciones.

Algunos de estos estudios continúan en la actualidad, analizando parámetros biológicos distintos, aunque a lo que en estos momentos se le da más importancia es a la investigación sobre métodos para controlar o impedir que se produzcan corrientes inducidas y descargas en establos que están situados justo debajo de líneas eléctricas.

Por último, se han investigado otras especies de interés económico, como gallinas estabuladas bajo una línea de 1.000 kV. No se observaron alteraciones en mortalidad, peso, peso de los huevos, fertilidad o crecimiento de las mismas.

## ► INTERFERENCIAS CON MARCAPASOS Y OTROS DISPOSITIVOS

La posible incidencia de los campos electromagnéticos de diferentes frecuencias sobre el funcionamiento de aparatos como los marcapasos y los desfibriladores implantados en personas con problemas cardíacos ha sido ampliamente estudiada en el caso de los 50 Hz.

Los marcapasos unipolares son especialmente sensibles por tener un sólo electrodo aislado eléctricamente. El campo puede inducir una tensión eléctrica entre la punta del electrodo y el marcapasos. Para campos eléctricos de 50 Hz no deberían producirse interferencias por debajo de 2,5 kV/m. Para campos magnéticos la probabilidad de interferencia depende, sobre todo, de la sensibilidad del marcapasos; para una sensibilidad de 0,5 a 2 mV (milivoltios) se calculan intensidades de interferencia de 14 a 55  $\mu$ T.

En los marcapasos bipolares el riesgo de interferencia es mucho menor, puesto que cuentan con dos electrodos.

En Estados Unidos, ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) estableció en 1996 límites máximos de 1 kV/m y 100  $\mu$ T para la exposición de trabajadores que lleven marcapasos.

Recientemente se han descrito dos nuevas situaciones en las que se pueden producir interferencias con marcapasos y desfibriladores. En ambos casos la interferencia se produjo al pasar la persona con uno de estos implantes entre las barras de un detector antirrobo. En el caso del marcapasos, al atravesar estas barras el paciente experimentó palpitaciones, náuseas, dificultad para respirar y mareos. En el caso del desfibrilador el paciente recibió descargas anómalas del implante que le provocaron mareos y disminución del estado de conciencia, hasta que fue separado de las barras del dispositivo antirrobo.

Los dispositivos antirrobo son de tres tipos: sistema de frecuencia audiomagnética que funciona entre 218 y 534 Hz; los de barrido de radiofrecuencia, que funcionan en el rango de megahercios; y por último el conocido como sistema magnetoacústico que funciona con un campo pulsado de 58.000 Hz.

Los dos casos referidos en la literatura médica relacionan sólo éste último tipo de detector con

las interferencias. En estudios controlados en laboratorio este sistema interfirió con 48 de entre 50 tipos de marcapasos, mientras que sólo dos de cincuenta experimentaron interferencias con el de frecuencia audiomagnética, y ninguno con el de barrido de radiofrecuencias.

Por lo tanto debe advertirse a las personas que lleven este tipo de implantes que intenten evitar este tipo de dispositivos antirrobo, que estén expuestos a ellos el menor tiempo posible, y que en el caso de que los dispositivos no estén a la vista, los establecimientos adviertan de ello a los posibles portadores.

*No se tiene conocimiento de casos de mal funcionamiento de marcapasos por pasar debajo de los conductores de una línea eléctrica de alta tensión o permanecer al lado de un centro de transformación.*

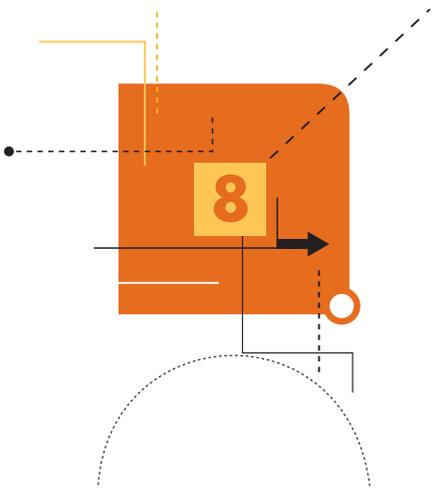
## ► TUBOS FLUORESCENTES Y LÍNEAS ELÉCTRICAS

En las noches oscuras un tubo fluorescente sostenido con la mano debajo de una línea eléctrica de alta tensión brilla débilmente. Se trata de un fenómeno perfectamente conocido y normal, y no representa ningún tipo de riesgo para la salud.

Un tubo fluorescente consiste en un tubo de vidrio que contiene un gas a muy baja presión y dos electrodos que crean una diferencia de potencial entre ambos extremos, que hace que el gas emita luz visible por *fluorescencia*. La principal ventaja de los tubos fluorescentes en la iluminación es su bajo consumo de energía eléctrica y que no desprenden calor.

La razón de que el fluorescente brille es que el brazo extendido deforma las líneas de flujo del campo eléctrico (es lo que se conoce como *efecto punta*) haciendo que la intensidad del campo eléctrico a la altura de la mano sea mucho más elevada que en el otro extremo del tubo fluorescente. El campo eléctrico externo imita el funcionamiento de los electrodos, creando una diferencia de potencial entre los extremos del tubo. Por lo tanto, la conclusión es que un tubo fluorescente brilla debajo de una línea eléctrica precisamente porque es así como funciona.

La luz que emite un tubo fluorescente situado debajo de una línea eléctrica es mucho más débil que cuando está enchufado y encendido, por lo que sólo se aprecia en una noche oscura. Este fenómeno deja de apreciarse a pocos metros de la línea eléctrica.



# 8

## Reducción de la exposición a campo magnético

Ya se ha indicado que la intensidad del campo magnético decrece rápidamente con la distancia a la fuente. Por ello, la acción más inmediata y eficaz para disminuir la dosis es el alejamiento respecto de aquélla.

Esta medida no siempre es posible por lo que, en tal caso, se puede recurrir a la reducción de los campos en origen.

A veces, hay posibilidad de reducir la intensidad del campo magnético con un simple reordenamiento eléctrico o geométrico de los elementos activos o con la interposición de otros circuitos compensadores.

Las actuaciones posibles para reducir la exposición a los campos magnéticos generados por la red son de dos tipos: activas y pasivas.

Las primeras abordan el problema en la misma fuente, es decir, actúan sobre parámetros cuya variación reduce la intensidad del campo, tales como:

- ▶ *Alejar el centro de gravedad del elemento respecto de los receptores potenciales (elevar o enterrar más la línea).*
- ▶ *Disminuir la distancia entre fases.*
- ▶ *Inscribir los conductores en la circunferencia de menor radio posible.*
- ▶ *En los sistemas con más de un circuito, combinar adecuadamente la ubicación de las distintas fases.*
- ▶ *Cambiar las características de la instalación (desde el número de subconductores, hasta un eventual soterramiento)*
- ▶ *Disminuir la intensidad de la corriente.*
- ▶ *Procurar el máximo equilibrio de cargas en las fases, algo de fácil resolución en líneas de media y alta tensión, pero muy complejo en las de baja tensión.*
- ▶ *Crear pasillos en los que se introduzcan cuantas líneas sean reglamentariamente posibles con criterios de cancelación de campos.*
- ▶ *Instalar un circuito periférico a la instalación, haciendo circular por él, una corriente y una fase determinadas, en función de las condiciones de la línea para cancelar el campo.*

Las técnicas de apantallamiento no eliminan el campo, sino que “modifican” su forma. Se utilizan generalmente para proteger equipos sensibles. Las más habituales son de dos tipos:

- ▶ *Blindaje con materiales tipo Mumetal y otros equivalentes, que reconducen las líneas de campo magnético.*
- ▶ *Pantallas electromagnéticas activas (circuitos eléctricos), que crean un campo opuesto al que se desea reducir.*

En el caso de los electrodomésticos, simples cambios en su diseño reducen la generación de campo magnético.

De igual manera, ciertos criterios de diseño para los cableados en la construcción y en las instalaciones eléctricas de viviendas y oficinas, pueden reducir apreciablemente los niveles ambientales.

En las siguientes figuras, se indican a título orientativo las máximas reducciones de densidad de campo que se pueden conseguir con algunas de las actuaciones mencionadas:

- ▶ *Compactación al máximo de una línea eléctrica aérea, combinando esta acción con una reubicación de las fases en un orden adecuado (Figura 21).*

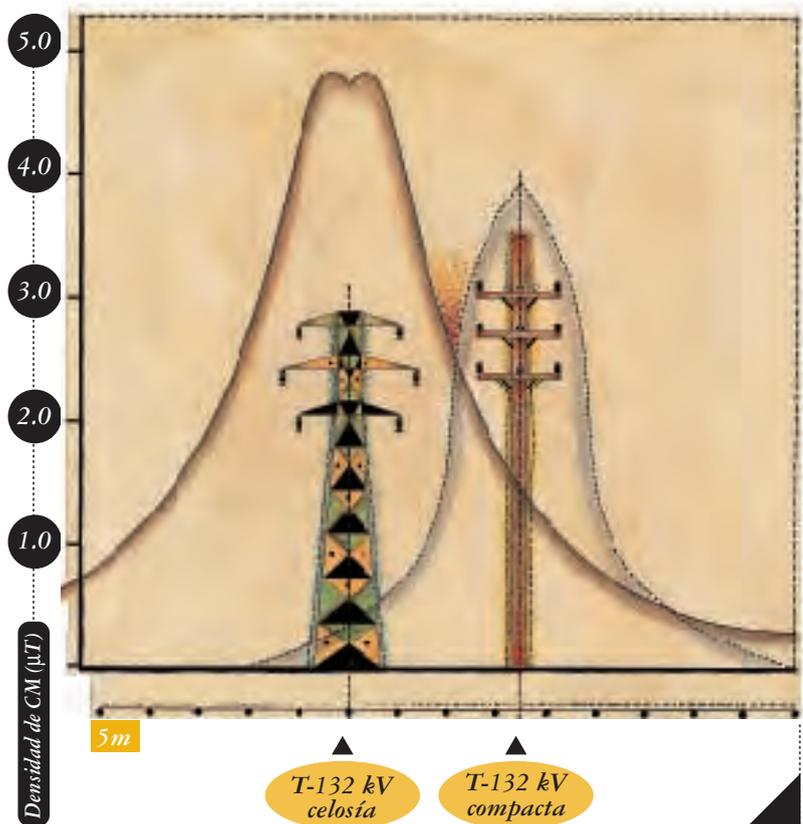


Figura 21. Compactación combinada con cambio de fases. Densidad de CM a 1 m de altura.

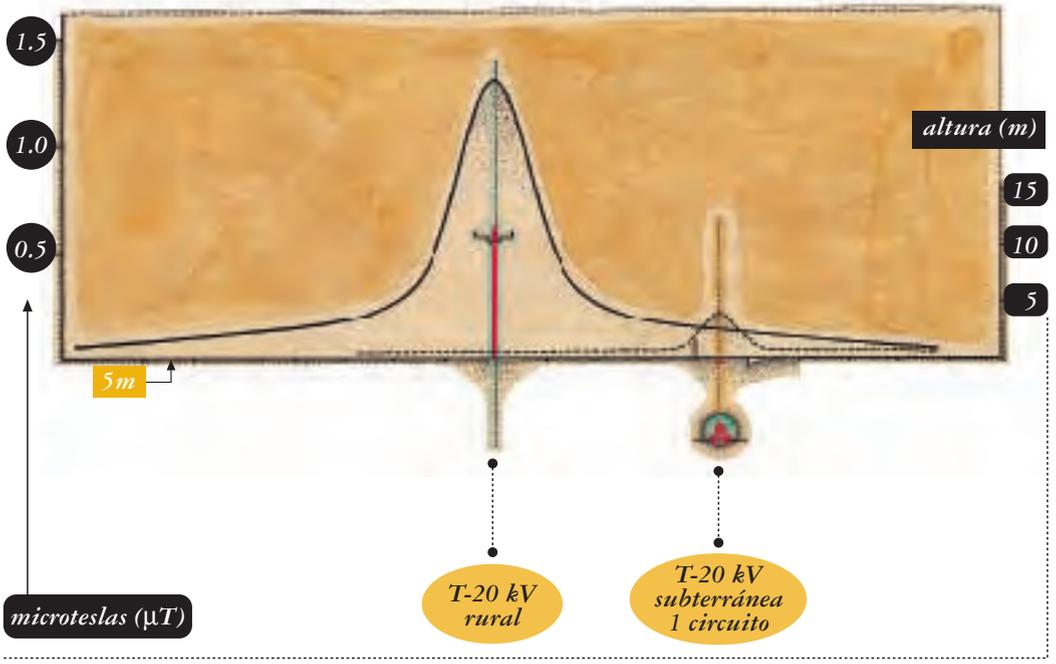


Figura 22. Cambio de línea aérea a subterránea en baja tensión. Compactación.

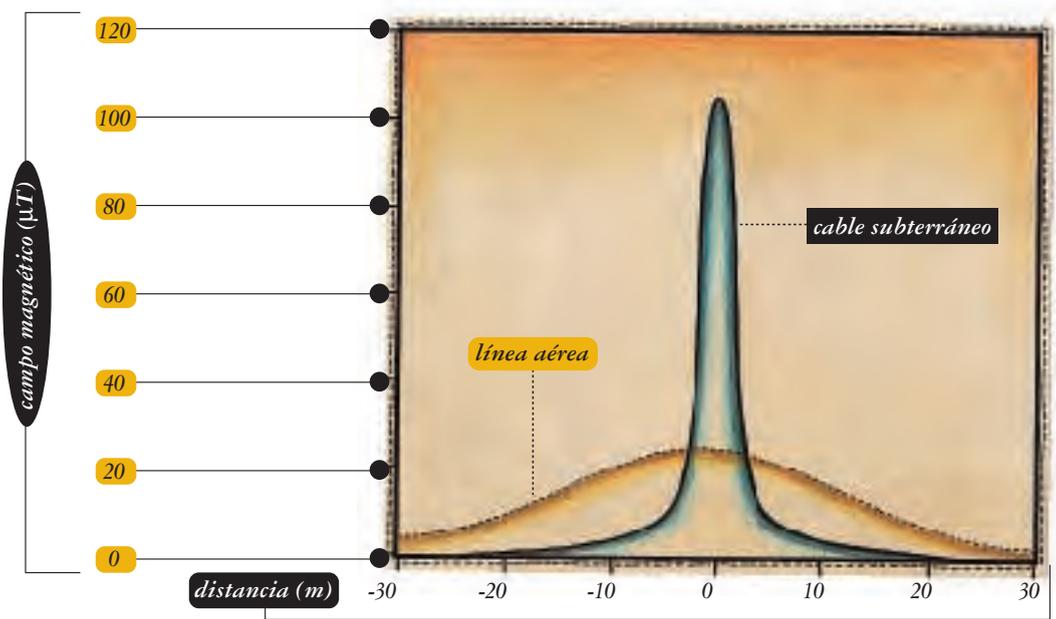


Figura 23. Cambio de línea aérea de 400 kV (2.000 Amperios) a subterránea. Densidad de campo magnético medida a 1 metro del suelo. A estas tensiones no es posible compactar las fases como en el caso de los 20 kV.

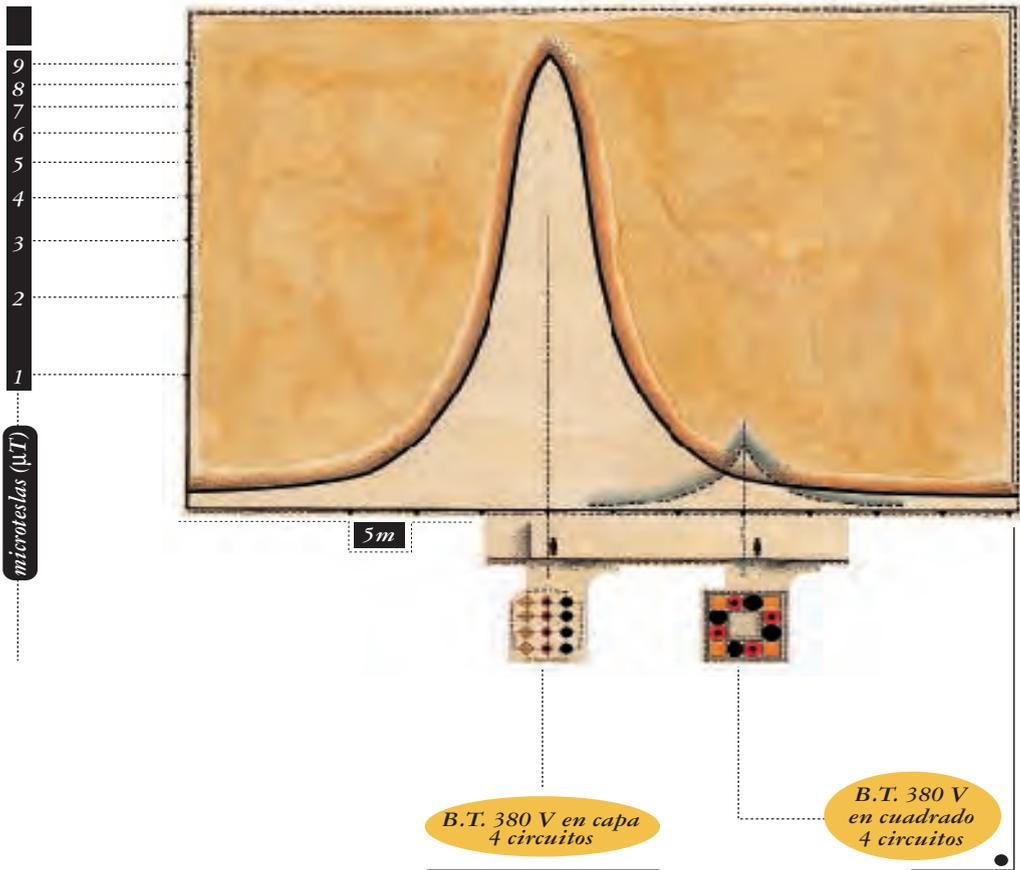


Figura 24. Reordenación de conductores en línea subterránea. Densidad de CM a 1 m del suelo.

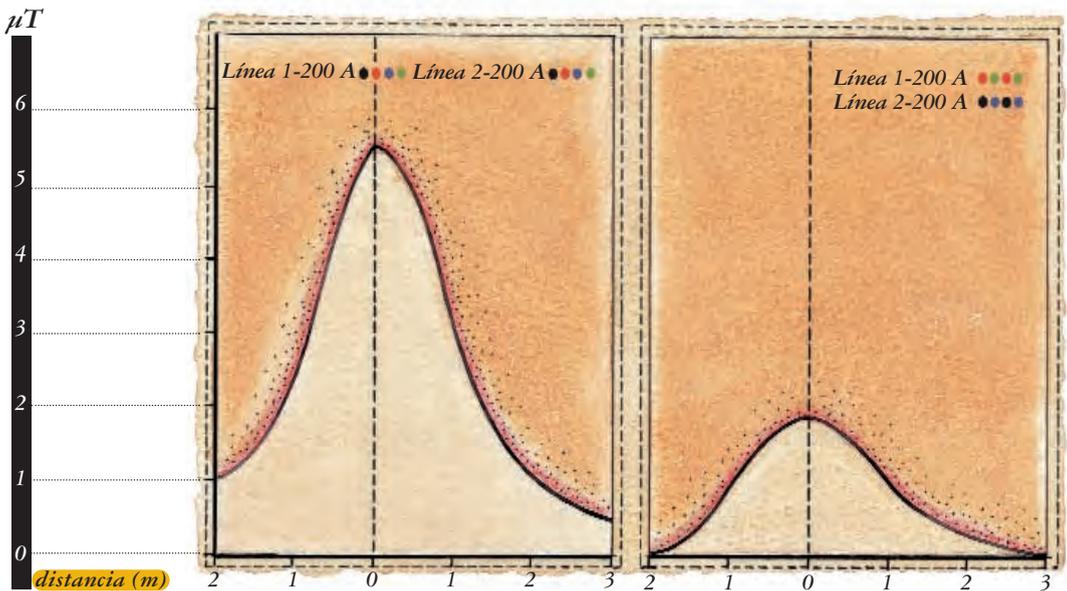


Figura 25. Reordenación de línea de distribución adosada.

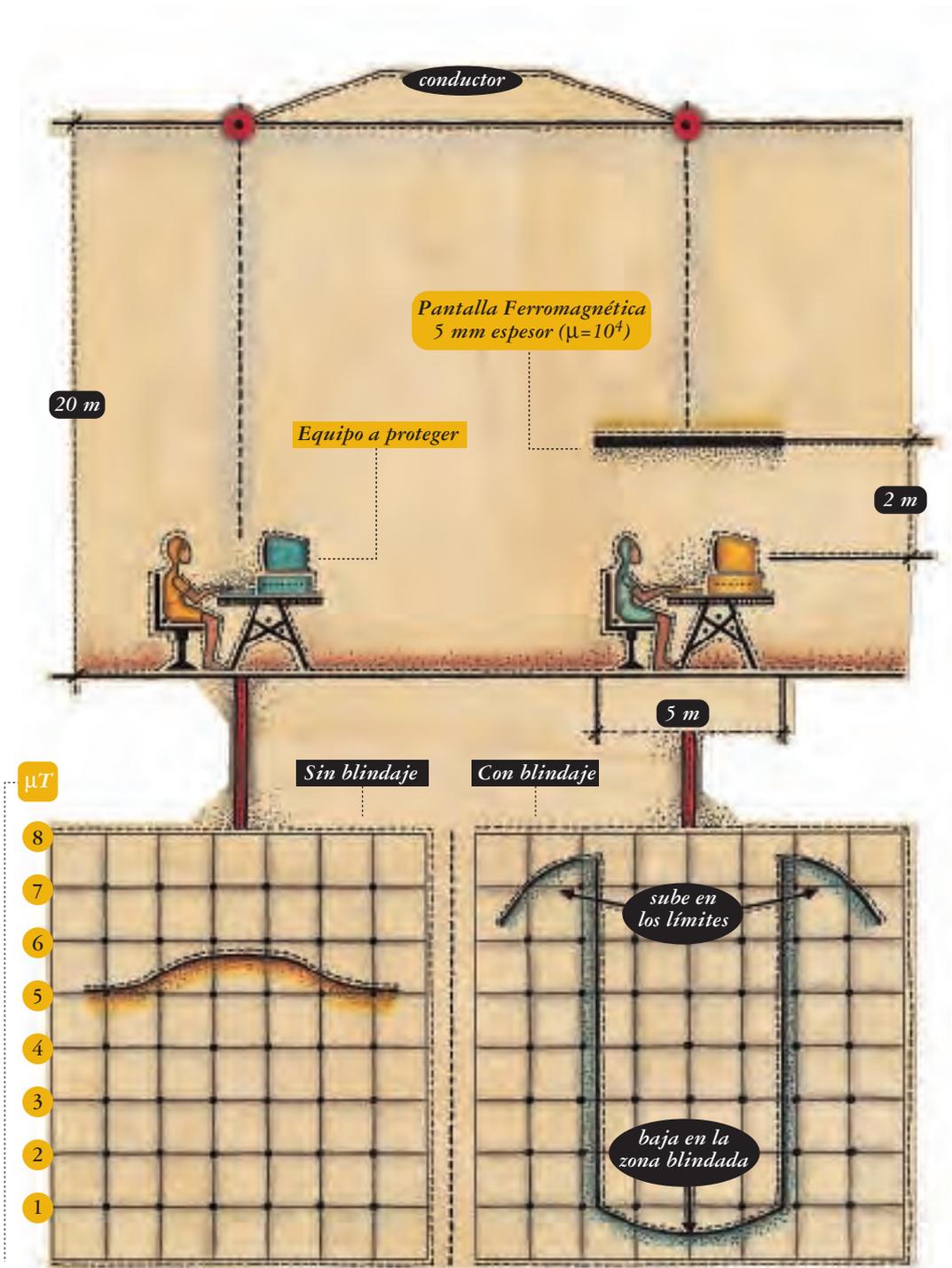
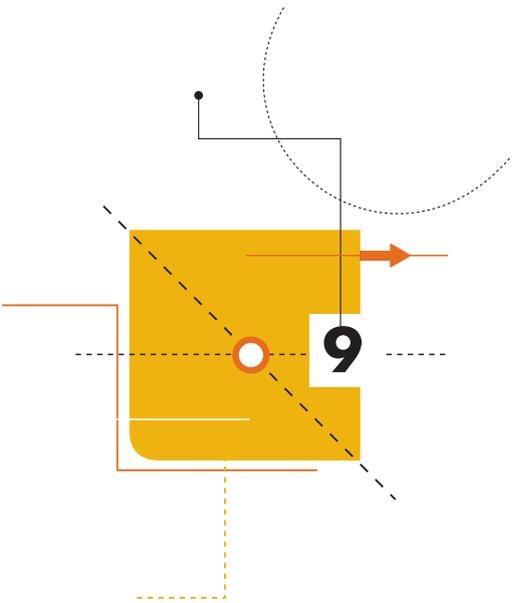


Figura 26. Aplicación de apantallamiento o blindaje.



# 9

## Actitud de las empresas eléctricas españolas

Las empresas eléctricas tienen encomendado el servicio esencial de suministrar energía eléctrica a quienes la demanden, garantizando la calidad y la continuidad de dicho servicio.

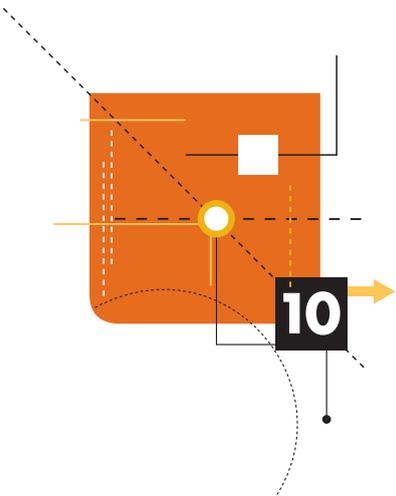
La regulación de las características físicas de los elementos de la red eléctrica y la concreción de los valores de los parámetros para asegurar su seguridad, se realizan a través de la legislación aplicable.

Desde el principio de la controversia sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial las empresas eléctricas españolas han estado involucradas en el debate, proporcionando una información clara a todos los interesados e instituciones. Asimismo han suministrado apoyo técnico cuando se ha necesitado y han realizado y financiado diversos proyectos de investigación sobre el tema.

Tal y como se expone en esta publicación, diversos organismos científicos nacionales, entre los que se encuentran el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y el Ministerio de Sanidad y Consumo, han concluido que los campos electromagnéticos de 50 Hz, dentro de los límites recomendados por la Unión Europea, no ocasionan efectos sobre la salud.

Sin embargo, reconociendo que existe una preocupación por parte de la sociedad, las empresas eléctricas seguirán manteniendo una actitud activa, responsable y prudente, y para ello se comprometen a:

- Cumplir los límites de exposición establecidos por la Recomendación del Consejo de la Unión Europea.
- Continuar apoyando la investigación científica y tecnológica en esta área.
- Compartir toda la información sobre este tema con la sociedad.
- Mantener abiertos todos los canales de comunicación con la administración y la sociedad a la hora de acometer nuevos proyectos.



**ADN:** Ácido desoxirribonucleo. Molécula que compone el material hereditario.

**Amperio:** Unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica. Su símbolo es A.

**Asociación:** Término estadístico que se refiere a la relación entre dos variables.

**Blindaje:** Técnica para reducir localmente la magnitud de un campo.

**Blindaje activo:** Cuando en el blindaje se utiliza un conductor adicional.

**Cable:** Conductor metálico de la electricidad.

**Campo:** Interacción a distancia entre dos sistemas físicos.

**Cáncer:** Término que describe, por lo menos, 200 enfermedades diferentes caracterizadas por un crecimiento celular incontrolado. La frecuencia del cáncer se mide por la incidencia (ver más adelante).

**Carcinogénesis:** Proceso de transformación, en estadios sucesivos, de una célula normal en una cancerosa.

**Carga eléctrica:** Propiedad eléctrica de la materia responsable de la creación de los campos eléctricos.

**Código de Cables o Configuración de cables:** Índice aplicado en Estados Unidos para estimar la exposición a campos electromagnéticos. Se relaciona con el calibre y distancia de los conductores.

**Conductor:** Cuerpo o material transmisor de la electricidad. Se denomina así, generalmente, a los cables aéreos.

**Conductividad:** Es la corriente eléctrica inducida por un campo eléctrico externo en un material conductor.

**Configuración de baja reactancia:** Disposición de los conductores ABC/BCA que disminuye el campo magnético.

**Corriente:** Flujo organizado de cargas eléctricas.

**Corriente alterna:** Corriente que cambia su intensidad y dirección de forma cíclica

**Culombio:** La unidad de carga eléctrica. Su símbolo es C.

**Densidad de flujo magnético B,** se mide en microteslas ( $\mu\text{T}$ ).

**Diamagnético:** Material con permeabilidad magnética menor de 1 (por ejemplo, plata).

**Dosis de exposición:** Cantidad de exposición a un agente que produce un efecto biológico. En el caso de los campos electromagnéticos no está claro este concepto, porque no se sabe qué medir. Para un producto químico normalmente es la cantidad del producto que entra en el cuerpo.

**Epidemiología:** Ciencia encargada del estudio de los aspectos ecológicos que condicionan los fenómenos de salud y enfermedad en los grupos humanos. Usa datos y procedimientos estadísticos en sus análisis.

**Exposición:** Se produce al entrar en contacto con un agente externo.

**Exposición (magnitud):** Medición de la intensidad en un tiempo determinado.

**Factor de confusión:** Es un factor de riesgo para una enfermedad que, a su vez, está asociado a la exposición. Por ejemplo, fumar es un factor de confusión en estudios epidemiológicos sobre asbestos y cáncer de pulmón, porque los dos (asbestos y tabaco) están asociados con el cáncer de pulmón.

**Factor de riesgo:** Todo elemento, físico, químico, etc. que puede producir un efecto sobre la salud.

**Ferromagnético:** Material con permeabilidad magnética muy alta.

**Fluorescencia:** Fenómeno por el cual algunos cuerpos transforman en luz la energía que reciben.

**Frecuencia:** El cambio de sentido periódico de una magnitud con el tiempo.

**Hercio:** Es la unidad de medida de la frecuencia. Su símbolo es el Hz, que corresponde a un ciclo por segundo.

**Hormona:** Sustancia química producida por el cuerpo que es capaz de transmitir información a otras partes del cuerpo. Ejemplos: insulina, melatonina, etc.

**Incidencia:** Mide el número de "casos nuevos" de una enfermedad, accidente, etc. en una población y un periodo de tiempo determinados.

**Iniciador:** Agente que puede iniciar el proceso cancerígeno.

**Intensidad de campo H,** medido en Amperios/metro.

**In vivo:** Experimento científico llevado a cabo en laboratorio con seres vivos.

**In vitro:** Experimento científico llevado a cabo en laboratorio con material procedente de seres vivos (células aisladas, tejidos...).

**Leucemia:** Con este nombre, se describen varios tipos de cáncer que se originan en la médula ósea. Puede ser aguda o crónica.

**kV:** kilovoltio. Equivale a mil voltios.

**kV/m:** kilovoltio por metro. Medida de la intensidad de un campo eléctrico.

**Líneas de distribución:** Líneas que distribuyen la electricidad en una zona. Funcionan entre 1.000 y 30.000 voltios.

**Líneas de transporte:** Líneas eléctricas utilizadas para llevar grandes cantidades de energía eléctrica a alta tensión. Se consideran líneas de transporte las comprendidas entre 30.000 y 400.000 voltios.

**Melatonina:** Hormona segregada, principalmente por la noche, en la glándula pineal.

**Mumetal:** Aleación utilizada para guiar el campo magnético.

**Mutagénico:** Agente que provoca cambios en la estructura del material hereditario (ADN).

**Paramagnético:** Material con permeabilidad magnética mayor de 1 (por ejemplo, aluminio).

**Permeabilidad magnética:** Es la relación entre la densidad de flujo magnético (**B**) y el campo magnético (**H**). En la mayoría de los materiales es igual a la permeabilidad del vacío, en estos casos se puede usar **B** y **H** indistintamente.

**Promotor:** Agente que ayuda o acelera el desarrollo del cáncer.

**Radiación:** Cualquier forma de energía propagada en el espacio, como la ionizante, que lleva suficiente energía como para romper enlaces químicos. Otros ejemplos son las microondas y las radiofrecuencias.

**Radiación no ionizante:** Radiación que no tiene suficiente energía para romper enlaces o arrancar electrones. Las de frecuencia extremadamente baja, de 50-60 Hz, se conocen más como "campos" que como radiaciones.

**Riesgo:** Es la probabilidad de desarrollar (o morir de) una determinada enfermedad.

**Riesgo relativo (RR):** Término que expresa la relación entre la incidencia de la enfermedad en un grupo expuesto a un factor y la incidencia de la misma enfermedad en un grupo no expuesto. Un RR es estadísticamente significativo si el valor menor del intervalo de confianza es mayor de 1.

**Tesla:** Unidad de medida de la densidad de flujo magnético. Es de uso más común el microtesla,  $\mu\text{T}$ , que es una millonésima de Tesla.

**Umbral:** Límite por debajo del cual no se detectan efectos.

**Voltio:** Unidad de medida de la tensión o diferencia de potencial. Su símbolo es V.



**PÁGINAS WEB DE INTERNET**

Preguntas y respuestas sobre líneas eléctricas y cáncer. Medical College de Wisconsin, Estados Unidos [<http://www.mcw.edu/gcr/cop/lineas-electricas-cancer-FAQ/toc.html>]

Organización Mundial de la Salud [<http://www.who.int/peh-emf>]

NIEHS (Instituto Nacional de Ciencias de la Salud y el Medio Ambiente), Estados Unidos [<http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>]

NIOHS (Instituto Nacional de Salud y Seguridad Laboral), Estados Unidos [<http://www.cdc.gov/niosh/emf2.html>]

ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante) [<http://www.icnirp.de>]

IARC (Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer) [<http://www.iarc.fr>]

**REVISIONES GENERALES**

Comité de Expertos de Ministerio de Sanidad y Consumo, España. Campos electromagnéticos y salud pública. 2001.

Takebe H, et al. Biological and health effects from exposure to power-frequency fields. Japón. IOS Press.

Informe del Grupo Asesor sobre Radiaciones No ionizantes del NRPB (National Radiological Protection Board), Reino Unido. 2001. Doc. NRPB, 12 (1), 1-179.

Informe de Consejo Nacional de Investigación (NRC), Estados Unidos. 1999. (National Academy Press. ISBN-0-309-06543-7. Research on Power Frequency fields completed under the Energy Policy Act of 1992).

Informe del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ambiental (NIEHS). Estados Unidos, 1999. NIH Publication No. 99-4493.

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), España. 1998. Posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente de los campos electromagnéticos producidos por las líneas de alta tensión.

National Academy of Sciences, National Research Council. National Academy of Sciences, editor. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. 1996; 1st ed., 1-314. Washington D.C. National Academy Press.

Bonneville Power Administration. Lee JM, et al. Electrical and biological effects of transmission lines: A review. 1996. Portland, Oregon, Estados Unidos.

Oak Ridge Associated Universities. ORAU. (1992). Health effects of low frequency electric and magnetic fields. ORAU 92/f8. US Department of Commerce, National Technical Information Service, Junio 1992.

**FÍSICA**

Horton WF. Power frequency and public health. CRC. Press 1995.

Fraile Mora J. Electromagnetismo y circuitos eléctricos. E.T.S. Ingenieros Caminos Canales y Puertos. Univ. Politécnica Madrid 1990.

Lorrain P, Dale R. Campos y ondas electromagnéticas. Selecciones Científicas 1979.

Electric Power Research Institute (EPRI). Electric and magnetic field fundamentals.

**DOSIMETRÍA**

Lindgren M, et al. ELF magnetic fields in a city environment. Bioelectromagnetics 2001; 22:(2)87-90.

Jaffa KC, et al. The relative merits of contemporary measurements and historical calculated fields in the Swedish childhood cancer study. Epidemiology 2000; 11:(3)353-356.

Kaune WT, et al. Rate of occurrence of transient magnetic field events in US residences. Bioelectromagnetics 2000; 21:(3)197-213.

Methner MM, Bowman JD. Hazard surveillance for industrial magnetic fields I. Walkthrough survey of ambient fields and sources. Ann. Occup. Hyg. 2000; 44:(8)603-614.

Schuz J, et al. Extremely low frequency magnetic fields in residences in Germany. Distribution of measurements, comparison of two methods for assessing exposure, and predictors for the occurrence of magnetic fields above background level. Rad. Env. Biophys. 2000; 39:(4)233-240.

Baris D, et al. Residential exposure to magnetic fields: An empirical examination of alternative measurement strategies. Occup. Environ. Medicine 1999; 56:(8)562-566.

Clinard F, et al. Residential magnetic field measurements in France: Comparison of indoor and outdoor measurements. Bioelectromagnetics 1999; 20:(5)319-326.

Kavet R, et al. Determinants of power-frequency magnetic fields in residences located away from overhead power lines. Bioelectromagnetics 1999; 20:(5)306-318.

Schoenfeld ER, et al. Magnetic field exposure assessment: A comparison of various methods. Bioelectromagnetics 1999 20:(8)487-496. 0197-8462.

Swanson J, Kaune WT. Comparison of residential power-frequency magnetic fields away from appliances in different countries. Bioelectromagnetics 1999; 20:(4)244-254.

Kleinerman R, et al. Magnetic field exposure assessment in a case-control study of childhood leukemia. Epidemiology 1997; 8:575-583.

Preece AW, et al. Magnetic fields from domestic appliances in the UK. Phys. Med. Biol. 1997; 42:67-76.

Floderus B, et al. Magnetic field exposures in the workplace: Reference distribution and exposures in occupational groups. Int. J. Occup. Environ. Health. 1996; 2:226-238.

Grupo *ad hoc* de campos electromagnéticos de Unesa. Protocolo de medida de campo magnético. 1996.

Swanson J. Long term variations in the exposure of the population of England and Wales to power frequency magnetic fields. J. Radiol. Prot. 1996; 16:287-301.

Levallois P, et al. Electric and magnetic field exposures for people living near a 735-kilovolt power line. Environ. Health Perspect. 1995; 103:832-837.

Theriault GM, et al. Cancer Risks Associated with Occupational Exposure to Magnetic Fields Among Electric Utility Workers in Ontario and Quebec, Canada, and France - 1970-1989. Am. J. Epidemiol. 1994; 139:550-572.

Zaffanella LE. Survey of residential magnetic field sources. Informe para el Electrical Power Research Institute. EPRI TR-102759, 1993.

Environmental Protection Agency. EMF in your environment. Magnetic field measurements of everyday electrical devices. U.S. Government Printing Office. ISBN 0-16-036282-2 Diciembre 1992.

IEEE Standard Procedures for Measurement of Power frequency electric and magnetic fields from AC power lines. 1987. CEI 833.

## POSIBLES MECANISMOS DE INTERACCIÓN

Boorman GA, et al. Evaluation of *in vitro* effects of 50 and 60 Hz magnetic fields in regional EMF exposure facilities. Radiat. Res. 2000; 153:(5)648-657.

Fews AP, Henshaw DL. Comment on the papers: Increased exposure to pollutant aerosols under high voltage power lines; and Corona ions from powerlines and increased exposure to pollutant aerosols - Reply. Int. J. Radiat. Biol. 2000; 76:(12)1688-1691.

Griffin GD, et al. Cellular communication in clone 9 cells exposed to magnetic fields. Radiat. Res. 2000; 153:(5)690-698.

Kavet R, et al. The possible role of contact current in cancer risk associated with residential magnetic fields. Bioelectromagnetics 2000; 21:(7)538-553.

Sisken JE, DeRemer D. Power-frequency electromagnetic fields and the capacitance calcium entry system in SV40-transformed Swiss 3T3 cells. Radiat. Res. 2000; 153:(5)699-705.

Swanson J, Jeffers DE. Comment on the papers: Increased exposure to pollutant aerosols under high voltage power lines; and Corona ions from powerlines and increased exposure to pollutant aerosols. Int. J. Radiat. Biol. 2000; 76:(12)1685-1688.

Fews AP, et al. Corona ions from powerlines and increased exposure to pollutant aerosols. Int. J. Radiat. Biol. 1999; 75:(12)1523-1531.

Fews AP, et al. Increased exposure to pollutant aerosols under high voltage power lines. Int. J. Radiat. Biol. 1999; 75:(12)1505-1521.

Swanson J, Jeffers DE. Possible mechanisms by which electric fields from power lines might affect airborne particles harmful to health. J. Rad. Prot. 1999;19(3):213-229.

Henshaw DL, Fews AP. Reply to letter from Jeffers: High-voltage overhead lines and radon daughter deposition. Int. J. Radiat. Biol. 1998; 73:583-585.

Jeffers DE. Comment on the paper: High-voltage overhead lines and radon daughter deposition. Int. J. Radiat. Biol. 1998; 73:579-582.

Valberg PA, et al. Can low-level 50/60 Hz electric and magnetic fields cause biological effects? Radiat Res 1997; 148:2-21.

Brocklehurst B y Mclauchlan KA. Free radical mechanism for the effects of environmental electromagnetic fields on biological systems. Int. J. Radiat. Biol. 1996; 69:3-24.

Adair RK. Biological responses to weak 60-Hz electric and magnetic fields must vary as the square of the field strength. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1994; 91:9422-9425.

Adair RK. Constraints of thermal noise on the effects of weak 60-Hz magnetic fields acting on biological magnetite. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1994; 91:2925-2929.

Garcia-Sancho J, et al. Effects of extremely-low-frequency electromagnetic fields on ion transport in several mammalian cells. Bioelectromagnetics 1994; 15:579-588.

## MELATONINA

Blackman, et al.. The influence of 1.2  $\mu$ T, 60 Hz magnetic fields on melatonin- and tamoxifen-induced inhibition of MCF-7 cell growth. Bioelectromagnetics 2001; 22:(2)122-128.

Hong SC, Kurokawa Y, Kabuto M, Ohtsuka R. Chronic exposure to ELF magnetic fields during night sleep with electric sheet: Effects on diurnal melatonin rhythms in men. Bioelectromagnetics 2001; 22:(2)138-143.

Brendel H, et al. Direct suppressive effects of weak magnetic fields (50 Hz and 16  $\frac{2}{3}$  Hz) On melatonin synthesis in the pineal gland of Djungarian hamsters (Phodopus sungorus). J. Pineal Res. 2000; 29:(4)228-233.

Graham C, et al. Multi-night exposure to 60 Hz magnetic fields: Effects on melatonin and its enzymatic metabolite. J. Pineal Res. 2000; 28:(1)1-8.

Juutilainen J, et al. Nocturnal 6-hydroxymelatonin sulfate excretion in female workers exposed to magnetic fields. J. Pineal Res. 2000; 28:(2)97-104.

Burch JB, et al. Reduced excretion of a melatonin metabolite in workers exposed to 60 Hz magnetic fields. Amer. J. Epidemiol. 1999; 150:(1)27-36.

Wood AW, et al. Changes in human plasma melatonin profiles in response to 50 Hz magnetic field exposure. J. Pineal Res. 1998; 25:116-127.

Graham C, et al. Human melatonin during continuous magnetic field exposure. Bioelectromagnetics 1997; 18:166-171.

Stevens RG, et al. The melatonin hypothesis: Electric power and breast cancer. Environ. Health Perspect. 1996; 104:135-140.

## SISTEMA INMUNE

Hefeneider SH, et al. Long-term effects of 60-Hz electric vs. magnetic fields on IL-1 and IL-2 activity in sheep. Bioelectromagnetics 2001; 22:(3)170-177.

House RV, et al. Modulation of natural killer cell function after exposure to 60 Hz magnetic fields: Confirmation of the effect in mature B6C3F(1) mice. Radiat. Res. 2000; 153:(5)722-724.

Hausler M, et al. Exposure of rats to a 50-Hz, 100  $\mu$ T magnetic field does not affect the *ex vivo* production of interleukins by activated T or B lymphocytes. Bioelectromagnetics 1999; 20:(5)295-305.

Pessina GP, et al. Cytokine production by human peripheral blood mononuclear cells exposed to low-frequency electromagnetic field. Electro. Magnetobiol. 1999; 18:(2)107-118.

Aldinucci C, et al. Electromagnetic fields enhance the release of both interferon gamma and interleukin-6 by peripheral blood mononuclear cells after phytohaemagglutinin stimulation. Bioelectrochem. Bioenerg. 1998; 44:243-249.

Kristupaitis D, et al. Electromagnetic field-induced stimulation of Bruton's tyrosine kinase. J. Biol. Chem. 1998; 273:12397-12401.

Mevissen M, et al. Complex effects of long-term 50 Hz magnetic field exposure *in vivo* on immune functions in female Sprague-Dawley rats depend on duration of exposure. Bioelectromagnetics 1998; 19:259-270.

House RV, et al. Immune function and host defense in rodents exposed to 60- Hz magnetic fields. Fund. Appl. Toxicol. 1996; 34:228-239.

Mnaimneh S, et al. No effect of exposure to static and sinusoidal magnetic fields on nitric oxide production by macrophages. Bioelectromagnetics 1996; 17:519-521.

Tremblay L, et al. Differential modulation of natural and adaptive immunity in fischer rats exposed for 6 weeks to 60 Hz linear sinusoidal continuous-wave magnetic fields. Bioelectromagnetics 1996; 17:373-383.

**Murthy KK**, et al. Initial studies on the effects of combined 60 Hz electric and magnetic field exposure on the immune system of nonhuman primates. *Bioelectromagnetics* 1995; 93:102.

**Ramoni C**, et al. Human natural killer cytotoxic activity is not affected by *in vitro* exposure to 50-Hz sinusoidal magnetic fields. *Int. J. Radiat. Biol.* 1995; 68:693-705.

**Seze I**. Effects of time varying uniform magnetic fields on natural killer cell activity and antibody response in mice. *Bioelectromagnetics* 1993; 14:405-13.

**Walleczek IJ**. EMF effects on cells of the immune system: The role of calcium signalling. *FASEB J.* 1992; 6,3177-85.

## ESTUDIOS IN VITRO

**Blank M**, Goodman R. Electromagnetic initiation of transcription at specific DNA sites. *J. Cell Biochem.* 2001; 81:(4)689-692.

**Mangiaccasale R**, et al. Normal and cancer-prone human cells respond differently to extremely low frequency magnetic fields. *FEBS Lett.* 2001; 487:(3)397-403.

**Balcerkubiczek EK**, et al. Expression analysis of human HL60 cells exposed to 60 Hz square- or sine-wave magnetic fields. *Radiat. Res.* 2000; 153:(5)670-678.

**Chen G**, et al. Effect of electromagnetic field exposure on chemically induced differentiation of Friend erythroleukemia cells. *Environ. Health Perspect.* 2000; 108:(10)967-972.

**Dibirdik I**, et al. Stimulation of Bruton's tyrosine kinase (BTK) and inositol 1,4,5- trisphosphate production in leukemia and lymphoma cells exposed to low energy electromagnetic fields. *Leuk. Lymphoma* 2000; 40:(1-2)149-156. 1042-8194.

**Loberg LI**, et al. Expression of cancer-related genes in human cells exposed to 60 Hz magnetic fields. *Radiat. Res.* 2000; 153:(5)679-684.

**Miyakoshi J**, et al. Exposure to strong magnetic fields at power frequency potentiates X- ray-induced DNA strand breaks. *J. Radiat. Res.* 2000; 41:(3)293-302.

**Morehouse CA**, Owen RD. Exposure to low-frequency electromagnetic fields does not alter HSP70 expression or HSF-HSE binding in HL60 cells. *Radiat. Res.* 2000; 153:(5)658-662.

**Lacyhulbert A**, et al. Biological responses to electromagnetic fields. *FASEB J.* 1998; 12:395-420.

**Mccann J**, et al. The genotoxic potential of electric and magnetic fields: an update. *Mutat. Res. Rev.* 1998; 411:45-86.

**Lai H**, Singh NP. Acute exposure to a 60 Hz magnetic field increases DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:156-165.

**Miyakoshi J**, et al. Exposure to magnetic field (5  $\mu$ T at 60 Hz) does not affect cell growth and c-myc gene expression. *J. Radiat. Res.* 1996; 37:185-191.

**Rao S**, Henderson AS. Regulation of c-fos is affected by electromagnetic fields. *J. Cell Biochem.* 1996; 63:358-365.

**Kowalczyk CI**, et al. Dominant lethal studies in male mice after exposure to a 50 Hz magnetic field. *Mutat. Res. Fundam. Mol. Mech. Mut.* 1995; 328:229-237.

**Lin H**, Goodman R. Electric and magnetic noise blocks the 60 Hz magnetic field enhancement of steady state c-myc transcript levels in human leukemia cells. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 1995; 36:33-37.

**Fairbairn DW**, Oneill KL. The effect of electromagnetic field exposure on the formation of DNA single strand breaks in human cells. *Cell Mol. Biol.* 1994; 40:561-567.

**Khalil AM**. Cytogenetic changes in human lymphocytes from workers occupationally exposed to HV EMF. *Electro and Magnetobiology* 1993; 12,17-26:

**Valjus J**, Norppa H. Analysis of chromosomal aberrations sister chromatid exchanges and micronuclei among power linesmen with long term exposure to 50 Hz EMF. *Rad. Env. Biophys.* 1993; 32:325-336.

**Goodman R**. Exposure of human cells to EMF: Effect of time and field strength on transcript levels. *Electro and Magnetobiology* 1992; 11,19-28.

**Cohen MM**, Kunska A. Effect of low level 60 Hz EMF on human lymphoid cells I. Mitotic rate and chromosomal breakage in human peripheral lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 1986; 7:415-423.

**Cohen MM**, Kunska A. Effect of lowlevel 60 hz emf on human lymphoid cells II. Sister chromatid exchanges in peripheral lymphocytes and lymphoblastoid cell lines. *Mutat. Res.* 1986; 172:177-184.

## ESTUDIOS IN VIVO SOBRE FERTILIDAD Y REPRODUCCIÓN

**Huuskonen H**, et al. Effects of low-frequency magnetic fields on implantation in rats. *Reprod. Toxicol.* 2001; 15:(1)49-59.

**Cecconi S**, et al. Evaluation of the effects of extremely low frequency electromagnetic fields on mammalian follicle development. *Hum. Reprod.* 2000; 15:(11)2319-2325.

**Lee GM**, et al. The use of electric bed heaters and the risk of clinically recognized spontaneous abortion. *Epidemiology.* 2000; 11:(4)406-415. 1044-3983.

**Brent RL**. Reproductive and teratologic effects of low-frequency electromagnetic fields: A review of *in vivo* and *in vitro* studies using animal models. *Teratology* 1999; 59:(4)261-286.

**Ryan BM**, et al. Multigeneration reproductive toxicity assessment of 60-Hz magnetic fields using a continuous breeding protocol in rats. *Teratology.* 1999; 59:(3)156-162.

**Belanger K**, et al. Spontaneous abortion and exposure to electric blankets and heated water beds. *Epidemiology.* 1998; 9:36-42.

**Huuskonen H**, et al. Teratogenic and reproductive effects of low-frequency magnetic fields. *Mutat. Res. Rev. Mutat. Res.* 1998; 410:167-183.

**Juutilainen J**, et al. Increased resorptions in CBA mice exposed to low-frequency magnetic fields: An attempt to replicate earlier observations. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:410-417.

**Li DK**, et al. Electric blanket use during pregnancy in relation to the risk of congenital urinary tract anomalies among women with a history of subfertility. *Epidemiology.* 1995; 6:485-489.

**Svedenstal BM**, et al. Fetal loss in mice exposed to magnetic fields during early pregnancy. *Bioelectromagnetics* 1995; 16:284-289.

**Kowalczyk CI**, et al. Effects of prenatal exposure to 50 Hz magnetic fields on development in mice .1. Implantation rate and fetal development. *Bioelectromagnetics* 1994; 15:349-361.

**Mevissen M**, et al. Effects of static and time-varying (50-Hz) magnetic fields on reproduction and fetal development in rats. *Teratology* 1994; 50:229-237.

**Schnorr TM**. Magnetic fields of VD and spontaneous abortion. *Am. J. Epidemiol.* 1993; 138:902-906.T

**Shaw GM**, et al. Human Adverse Reproductive Outcomes and Electromagnetic Field Exposures - Review of Epidemiologic Studies. *Environ. Health. Perspect.* 1993; 101:107-119.

**Lindbohm ML**. Magnetic fields of VDT and spontaneous abortion. *Am. J. Epidemiol.* 1992; 136:1041-1051.

**Schnorr TM**, et al. Video display terminals and the risk of spontaneous abortion. *N. Engl. J. Med.* 1991; 324:727-733.

Nordstrom S, et al. Reproductive hazards among workers at high voltage substations. *Bioelectromagnetics* 1983; 4:91-101.

## CÁNCER: ESTUDIOS DE LABORATORIO

Anderson LE, et al. Large granular lymphocytic (LGL) leukemia in rats exposed to intermittent 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2001; 22:(3)185-193.

Heikkinen P, et al. Effects of 50 Hz magnetic fields on cancer induced by ionizing radiation in mice. *Int. J. Radiat. Biol.* 2001; 77:(4)483-495.

Anderson LE, et al. Effects of 50- or 60-hertz, 100  $\mu$ T magnetic field exposure in the DMBA mammary cancer model in Sprague-Dawley rats: Possible explanations for different results from two laboratories. *Environ. Health Perspect.* 2000; 108:(9)797-802.

Babbitt JT et al. Hematopoietic neoplasia in C57BL/6 mice exposed to split-dose ionizing radiation and circularly polarized 60 Hz magnetic fields. *Carcinogenesis* 2000; 21:(7)1379-1389.

Boorman GA, et al. Leukemia and lymphoma incidence in rodents exposed to low-frequency magnetic fields. *Rad. Res.* 2000; 153:(5)627-636.

Boorman GA, et al., Magnetic fields and mammary cancer in rodents: A critical review and evaluation of published literature. *Radiat. Res.* 2000; 153:(5)617-626.

Devevey L, et al. Absence of the effects of 50 Hz magnetic fields on the progression of acute myeloid leukaemia in rats. *Int. J. Radiat. Biol.* 2000; 76:(6)853-862.

Galloni P, Marino C. Effects of 50 Hz magnetic field exposure on tumor experimental models. *Bioelectromagnetics* 2000; 21:(8)608-614.

Mandeville R, et al. Evaluation of the potential promoting effect of 60 Hz magnetic fields on N-ethyl-N-nitrosourea induced neurogenic tumors in female F344 rats. *Bioelectromagnetics* 2000; 21:(2)84-93.

Mccann J, et al. Assessing the potential carcinogenic activity of magnetic fields using animal models. *Environ. Health Perspect.* 2000; 108:79-100.

Kharazi AI, et al. Primary brain tumor incidence in mice exposed to split-dose ionizing radiation and circularly polarized 60 Hz magnetic fields. *Cancer Lett.* 1999; 147:(1-2)149-156.

Morris JE, et al. Clinical progression of transplanted large granular lymphocytic leukemia in Fischer 344 rats exposed to 60 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1999; 20:(1)48-56.

Thunbattersby S, et al. Exposure of Sprague-Dawley rats to a 50-Hertz, 100  $\mu$ T magnetic field for 27 weeks facilitates mammary tumorigenesis in the 7,12-dimethylbenz[*a*]anthracene model of breast cancer. *Cancer Res.* 1999; 59:(15)3627-3633.

Harris J et al. A test of lymphoma induction by long term exposure of Em-Pim1 transgenic mice to 50 Hz magnetic fields. *Radiat. Res.* 1998; 149:300-307.

McCormick DL, et al. Exposure to 60 Hz magnetic fields and risk of lymphoma in PIM transgenic and TSG-p53 (p53 knockout) mice. *Carcinogenesis* 1998; 19:1649-1653.

Mandeville R, et al. Evaluation of the potential carcinogenicity of 60 Hz linear sinusoidal continuous-wave magnetic fields in Fischer F344 rats. *FASEB J.* 1997; 11:1127-1136.

Mclean JRN, et al. The effect of 60-Hz magnetic fields on co-promotion of chemically induced skin tumors on SEN-CAR mice: A discussion of three studies. *Environ. Health Perspect.* 1997; 105:94-96.

Shen YH, et al. The effects of 50 Hz magnetic field exposure on dimethylbenz[ $\alpha$ ]anthracene induced thymic lymphoma/leukemia in mice. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:360-364.

Yasui M, et al. Carcinogenicity test of 50 Hz sinusoidal magnetic fields in rats. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:531-540.

Kavet R. EMF and current cancer concepts. *Bioelectromagnetics* 1996; 17:339-357.

Mevisen M, et al. Exposure of DMBA-treated female rats in a 50-Hz, 50  $\mu$ T magnetic field: Effects on mammary tumor growth, melatonin levels, and T lymphocyte activation. *Carcinogenesis* 1996; 17:903-910.

Loscher W, Mevisen M. Linear relationship between flux density and tumor co-promoting effect of prolonged magnetic field exposure in a breast cancer model. *Cancer Lett.* 1995; 96:175-180.

Mevisen M, et al. *In vivo* exposure of rats to a weak alternating magnetic field increases ornithine decarboxylase activity in the mammary gland by a similar extent as the carcinogen DMBA. *Cancer Lett.* 1995; 90:207-214.

Loscher W, et al. Effects of weak alternating magnetic fields on nocturnal melatonin production and mammary carcinogenesis in rats. *Oncology* 1994; 51:288-295.

Loscher W. Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field. *Cancer Letters* 1993; 71,75-81.

Mevisen M. Effects of magnetic fields on mammary tumor development induced by 7,12 DMBA in rats. *Bioelectromagnetics* 1993; 14,131-45.

Rannug A. Rat liver foci study on coexposure with 50 Hz magnetic fields and known carcinogens. *Bioelectromagnetics* 1993; 14,17- 29.

Rannug A. A rat liver foci promotion study with 50 Hz magnetic fields. *Env. Res.* 1993; 62, 223-9.

Rannug A. A study of skin tumour formation in mice with 50 Hz magnetic field exposure. *Carcinogenesis* 1993; 14,573- 8.

Stuchly MA. Tumor copromotion studies by exposure to AC magnetic fields. *Rad. Res.* 1993; 133,118-9.

Stuchly MA, Mclean JRN. Cancer promotion in a mouse skin model. *Bioelectromagnetics* 1991; 12,261 89.

## EPIDEMIOLOGÍA: REVISIONES GENERALES

Kheifets LI. Electric and magnetic field exposure and brain cancer: A review. *Bioelectromagnetics* 2001; S120-S131.

Savitz DA, Poole C. Do studies of wire code and childhood leukemia point towards or away from magnetic fields as the causal agent? *Bioelectromagnetics* 2001; S69-S85.

Wartenberg D. The potential impact of bias in studies of residential exposure to magnetic fields and childhood leukemia. *Bioelectromagnetics* 2001; S32-S47.

Kheifets LI, et al. Occupational electric and magnetic field exposure and leukemia. A meta-analysis. *J. Occup. Environ. Medicine*, 1997, 39, 1074-91.

Feychting M. Occupational exposure to electromagnetic fields and adult leukaemia: A review of the epidemiological evidence. *Rad. Env. Biophys.* 1996; 35:237-242.

Feychting M, Ahlbom A. Electromagnetic fields and childhood cancer: A meta-analysis. *Cancer Causes and Control* 1995; 6:275-279.

Hardell L, et al. Exposure to extremely low frequency electromagnetic fields and the risk of malignant diseases. An evaluation of epidemiological and experimental findings. *Eur. J. Cancer Prevention* 1995, 4, Suppl 1.

Kheifets LI, et al. Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer. A meta-analysis. *J. Occup. Environ. Medicine* 1995, 37, 1327-41.

## EPIDEMIOLOGÍA: EXPOSICIÓN DOMÉSTICA

- Schuz J, et al. Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: Results from a German population-based case-control study. *Int. J. Cancer* 2001; 91:(5)728-735.
- Ahlbom A, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Brit. J. Cancer* 2000; 83:(5)692-698.
- Greenland S, et al. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology* 2000; 11:(6) 624-634.
- Kleinerman RA, et al. Are children living near high-voltage power lines at increased risk of acute lymphoblastic leukemia? *Amer. J. Epidemiol.* 2000; 151:(5)512-515.
- Laden F, et al. Electric blanket use and breast cancer in the Nurses' Health Study. *Amer. J. Epidemiol.* 2000; 152:(1)41-49.
- UKCCS. Childhood cancer and residential proximity to power lines. *Br. J. Cancer* 2000; 83(11), 1573-1580.
- Zheng TZ, et al. Exposure to electromagnetic fields from use of electric blankets and other in-home electrical appliances and breast cancer risk. *Amer. J. Epidemiol.* 2000; 151:(11)1103-1111.
- Docherty JD, et al. Electromagnetic field exposures and childhood leukaemia in New Zealand. *Lancet* 1999; 354:(9194)1967-1968.
- Forssten UM, et al. Occupational and residential magnetic field exposure and breast cancer in females. *Epidemiology* 2000; 11:(1)24-29.
- Green LM, et al. A case-control study of childhood leukemia in southern Ontario, Canada, and exposure to magnetic fields in residences. *Int. J. Cancer* 1999; 82:(2)161-170.
- McBride ML, et al. Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. *Amer. J. Epidemiol.* 1999; 149:(9)831-842.
- Wrensch M, et al. Adult glioma in relation to residential power frequency electromagnetic field exposures in the San Francisco Bay area. *Epidemiology* 1999; 10:(5)523-527.
- Gammon MD, et al. Electric blanket use and breast cancer risk among younger women. *Am. J. Epidemiol.* 1998; 148:556-563.
- Hatch EE, et al. Association between childhood acute lymphoblastic leukemia and use of electrical appliances during pregnancy and childhood. *Epidemiology* 1998; 9:234-245.
- Michaelis J, et al. Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukemia. *Epidemiology* 1998; 9:92-94.
- Li CY, et al. Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. *Epidemiology* 1997; 8:25-30.
- Linnet MS, et al. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *N. Engl. J. Med.* 1997; 337:1-7.
- Petridou E, et al. Electrical power lines and childhood leukemia: A study from Greece. *Int. J. Cancer* 1997; 73:345-348.
- Tynes T, Haldorsen T. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. *Am J Epidemiology* 1997; 145:219-226.
- Gurney JG, et al. Childhood brain tumor occurrence in relation to residential power line configurations, electric heating sources, and electric appliance use. *Am. J. Epidemiol.* 1996; 143:120-128.
- Prestonmartin S, et al. Los Angeles study of residential magnetic fields and childhood brain tumors. *Am. J. Epidemiol.* 1996; 143:105-119.
- Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields, leukemia, and central nervous system tumors in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology* 1994; 5:501-509.
- Lin RS, Lee WC. Risk of childhood leukemia in areas passed by high power lines. *Rev. on Env. Health* 1994; 10:97-103.
- Ahlbom A, Feychting M. Electromagnetic fields and childhood cancer. *Lancet* 1993; 342:1295-1296.
- Feychting M. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high voltage power lines. *Am. J. Epidemiol.* 1993; 138,467-82.
- Olsen JH. Residence near HV facilities and risk of cancer in children. *Br. Med. J.* 1993; 307, 891-5.
- Savitz DA. Childhood cancer in relation to a modified residential wire code. *Environ. Health Perspect.* 1993; 101,76-80.
- Schreiber GH. Cancer mortality and residence near electricity transmission equipment: A retrospective cohort study. *Int. J. Epidemiol.* 1993; 22,9-15.
- Verkasalo PK. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *Br. Med. J.* 1993; 307, 895-9
- London SJ. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am. J. Epidemiol.* 1991; 134, 923-37.
- Lowenthal RM. Exposure to high tension power lines and childhood leukemia. *Med. J. Aus.* 1991; 155:347.
- Myers A. childhood cancer and overhead powerlines. a case control study. *Br. J. Cancer* 1990; 62:1008-1014.
- Coleman MP, et al. Leukemia and residence near electricity transmission equipment: A case control study. *Br. J. Cancer* 1989, 60, 793-8.
- Savitz DA, et al. Case control study of childhood cancer and exposure to 60 Hz magnetic fields. *Am. J. Epidemiol.* 1988; 128,21 -38.
- Severson RK, et al. Acute nonlymphocytic leukemia and residential exposure to power frequency magnetic fields. *Am. J. Epidemiol.* 1988; 128,10 -20.
- McDowall ME. Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities. *Br. J. Cancer* 1986; 53:271-279.
- Tomenius I. 50 Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm county. *Bioelectromagnetics* 1986; 7:191-207.
- Wertheimer N, Leeper E. Adult cancer related to electrical wires near the home. *Int. J. Epidemiol.* 1982; 11:345-355.
- Fulton J, et al. Electrical wiring configurations and childhood leukemia in Rhode Island. *Am. J. Epidemiol.* 1980; 111:292-296.
- Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am. J. Epidemiol.* 1979; 109:273-284.

## EPIDEMIOLOGÍA: EXPOSICIÓN LABORAL

- Erren TC. A meta-analysis of epidemiologic studies of electric and magnetic fields and breast cancer in women and men. *Bioelectromagnetics* 2001; S105-S119.
- Harrington JM, et al. Leukaemia mortality in relation to magnetic field exposure: Findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973-97. *Occup. Environ. Medicine* 2001; 58:(5)307-314.
- Sorahan T, et al. Occupational exposure to magnetic fields relative to mortality from brain tumours. Updated and revised findings from a study of UK electricity generation and transmission workers. *Occup. Environ. Medicine.* 2001; 58:626-630.
- Carozza SE, et al. Occupation and adult gliomas. *Amer. J. Epidemiol.* 2000; 152:(9)838-846.

- Villeneuve PJ**, et al. Non-Hodgkin's lymphoma among electric utility workers in Ontario: The evaluation of alternate indices of exposure to 60 Hz electric and magnetic fields. *Occup. Environ. Medicine* 2000; 57:(4)249-257.
- Kheifets LI**, et al. Comparative analyses of the studies of magnetic fields and cancer in electric utility workers: Studies from France, Canada, and the United States. *Occup. Environ. Medicine* 1999; 56:(8)567-574.
- Cocco P**, et al. Case-control study of occupational exposures and male breast cancer. *Occup. Environ. Medicine* 1998; 55:599-604.
- Johansen C, Olsen JH**. Risk of cancer among Danish utility workers - A nationwide cohort study. *Am. J. Epidemiol.* 1998; 147:548-555.
- Feychting M**, et al. Occupational and residential magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors. *Epidemiology* 1997; 8:384-389.
- Harrington JM** et al. Occupational exposure to magnetic fields in relation to mortality from brain cancer among electricity generation and transmission workers. *Occup. Environ. Medicine* 1997; 54:7-13.
- Kheifets LI**, et al. Leukemia risk and occupational electric field exposure in Los Angeles County, California. *Am. J. Epidemiol.* 1997; 146:87-90.
- Miller AB** et al. Leukemia following occupational exposure to 60-Hz electric and magnetic fields among Ontario electric utility workers and Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970-1989 - Reply. *Am. J. Epidemiol.* 1997; 145:567-568.
- Savitz DA**, et al. Lung cancer in relation to employment in the electrical utility industry and exposure to magnetic fields. *Occup. Environ. Medicine* 1997; 54:396-402.
- Baris D**, et al. A mortality study of electrical utility workers in Quebec. *Occup. Environ. Medicine* 1996; 53:25-31.
- Coogan PF**, et al. Occupational exposure to 60-Hertz magnetic fields and risk of breast cancer in women. *Epidemiology* 1996; 7:459-464.
- Guenel P**, et al. Exposure to 50-Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors, and other cancers among French electric utility workers. *Am. J. Epidemiol.* 1996; 144:1107-1121.
- Miller AB**, et al. Leukemia following occupational exposure to 60-Hz electric and magnetic fields among Ontario electric utility workers. *Am. J. Epidemiol.* 1996; 144:150-160.
- Savitz DA**, et al. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *Am. J. Epidemiol.* 1995; 141:123-134.
- Loomis DP**, et al. Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States. *J. Nat. Cancer Inst.* 1994; 86:921-925.
- Theriault GM**, et al. Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970-1989. *Am. J. Epidemiol.* 1994; 139:550-562.
- Tynes T**, et al. Incidence of cancer among workers in Norwegian hydroelectric power companies. *Scand. J. Work Env. and Health* 1994; 20:339-344.
- Floderus B**, et al. Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors. A case control study in Sweden. *Cancer Causes and Control* 1993; 4:465-476.
- Guenel P**, et al. Incidence of cancer in persons with occupational exposure to electromagnetic fields in Denmark. *Br. J. Ind. Med.* 1993; 50:758-764.
- Sahl JD**. Cohort and nested case control study of hematopoietic cancers and brain cancer among electric utility workers. *Epidemiology* 1993; 4,104-14.
- Milham S**. Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *N. Engl. J. Med.* 1982; 307:249.

## NUEVAS ÁREAS INVESTIGADAS

**Ahlbom A**. Neurodegenerative diseases, suicide and depressive symptoms in relation to EMF. *Bioelectromagnetics* 2001; S132-S143.

**Johansen C**. Exposure to electromagnetic fields and risk of central nervous system disease in utility workers. *Epidemiology* 2000; 11:(5)539-543.

**vanWijngaarden E**, et al. Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility workers: a nested case-control study. *Occup. Environ. Medicine* 2000; 57:(4)258-263.

**Chevalier A**, et al. Absenteeism and mortality of workers exposed to electromagnetic fields in the French electricity company. *Occup. Med.* 1999; 49, 517-524.

**Graves AB**, et al. Occupational exposure to electromagnetic fields and Alzheimer disease. *Alz. Dis. Assoc. Disorder.* 1999; 13:(3)165-170.

**Savitz DA**, et al. Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers. *Epidemiology* 1998; 9:398-404.

**Savitz DA**, et al. Electrical occupations and neurodegenerative disease: Analysis of US mortality data. *Arch. Environ. Health* 1998; 53:71-74.

**Beale IL**, et al. Psychological effects of chronic exposure to 50 Hz magnetic fields in humans living near extra-high-voltage transmission lines. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:584-594.

**Davanipour Z**, et al. Amyotrophic lateral sclerosis and occupational exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:28-35.

**Mcguire V**, et al. Occupational exposures and amyotrophic lateral sclerosis: A population-based case-control study. *Am. J. Epidemiol.* 1997; 145:1076-1088.

**Verkasalo PK**, et al. Magnetic fields of transmission lines and depression. *Am. J. Epidemiol.* 1997; 146:1037-1045.

**Baris D**, et al. A mortality study of electrical utility workers in Quebec. *Occup. Environ. Medicine* 1996; 53:25-31.

**Schulte PA**, et al. Neurodegenerative diseases: Occupational occurrence and potential risk factors, 1982 through 1991. *Am. J. Public Health* 1996; 86:1281-1288.

**Sobel E**, et al. Occupations with exposure to electromagnetic fields: A possible risk factor for Alzheimer's disease. *Am. J. Epidemiol.* 1995; 142:515-524.

## NORMAS Y RECOMENDACIONES

**Normativa italiana**. 2001. Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnéticos ed elettromagnéticos (36/2001)

**Health Council of the Netherlands**. ELF electromagnetic fields committee. Pub N0. 2000/6.

**Bundesrat (Suiza)**. Ordinance concerning protection from non-ionising radiation (NISV). 23 Diciembre 1999.

**Unión Europea**. Recomendación del Consejo Europeo sobre los límites de exposición del público a campos electromagnéticos (0 Hz-300 GHz). 1999/519/CE.

**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, 494-523, 1998.

**Bailey WH**, et al. Summary and evaluation of guidelines for occupational exposure to power frequency electric and magnetic fields. *Health Physics* 1997;73, 433-453.

**ACGIH** (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Publication No 0026. Cincinnati, OH. 1996.

**National radiological Protection Board.** Restriction on human exposures to static and time varying EM fields and radiation. Documentes of the NRPB (Reino Unido) 1993. 4,(5):1-69.

## **EFFECTOS NO BIOLÓGICOS**

**Kolb C**, et al. Incidence of electromagnetic interference in implantable cardioverter defibrillators. *Pace-Pac. Clin. Electrophys.* 2001; 24:(4)465-468.

**Wilke A**, et al. Interactions between pacemakers and security systems. *Pace-Pac. Clin. Electrophys.* 1998; 21:1784-1788.

**Fetter JG**, et al. Electromagnetic interference from welding and motors on implantable cardioverter-defibrillators as tested in the electrically hostile work site. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1996; 28:423-427.

**Peteiro J**, et al. Spontaneous reversal of a cardiomyostimulator to asynchronous mode. *Pace-Pac. Clin. Electrophys.* 1996; 19:367-369.

**Mcivor ME.** Environmental electromagnetic interference from electronic article surveillance devices: Interactions with an ICD. *Pace-Pac. Clin. Electrophys.* 1995; 18:2229-2230.

**Seifert T**, et al. Erroneous discharge of an implantable cardioverter defibrillator caused by an electric razor. *Pace-Pac. Clin. Electrophys.* 1995; 18:1592-1594.

**Astridge PS** et al. The response of implanted dual chamber pacemakers to 50 Hz extraneous electrical interference. *PACE* 1993, 16, 1966-74.

## **CULTIVOS Y GANADO**

**Burchard JF**, et al. Effects of electric and magnetic fields on nocturnal melatonin concentration in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1998; 81:722-727.

**Burchard JF**, et al. Biological effects of electric and magnetic fields on productivity of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1996; 79:1549-1554.

**Davies MS.** Effects of 60 Hz EMF on early growth in three plant species and a replication of previous results. *Bioelectromagnetics* 1996; 17, 154-161.

**Lee JM.** Effects of EMF on animals and plants. Electrical and biological effects of transmission lines: A review. Bonneville Power Administration. 1996.

**Lee JM**, et al. Melatonin and puberty in female lambs exposed to EMF: A replicate study. *Bioelectromagnetics* 1995; 16:119-123.

**Algers B.** Efectos de la exposicion prolongada a 400 kV/50 Hz sobre las vacas. Facultad de Veterinaria Suecia, 1987.

## **REDUCCIÓN DE LA EXPOSICIÓN**

**Barnes FS**, et al. Coaxial lines for multiphase power distribution. *Bioelectromagnetics* 1996; 17:162-164.

**Adams JG**, et al. A method for evaluating transmission line magnetic field mitigation strategies that incorporates biological uncertainty. *Risk analysis* 1995; 15:313-318.

**Cotten WL**, et al. Design guidelines for reducing electromagnetic field effects from 60 Hz electrical power systems. *IEEE Trans. Ed.* 1994; 30:1462-1471.

**Adair F**, et al. Electric and magnetic field reduction: research needs. Olympia, Washington state, 1992.

**Commonwealth Associates Inc.** Cost effectiveness analysis: Mitigation of electromagnetic fields. Preparado para el estado de Rhode Island. Mayo 1992.

**Florig HK.** Containing the costs of the EMF problem. *Science* 1992; 257, 468-72.

**Maddock BJ.** Overhead line design in relation to electric and magnetic field limits. *Power Engineering Journal* 1992, Septiembre.

**Olsson H**, et al. Reduction of transmission line magnetic fields. Possibilities and constraints. *CIGRE* 36-101 1990; Agosto-Septiembre.

**Keeney RL.** Evaluating electromagnetic field implications of a transmission line moratorium. *IEEE Trans. Eng. Management.* 1977, Agosto; 44, 268-75.

## ANEXO I

### CONCEPTOS DE EPIDEMIOLOGÍA

La epidemiología es una rama de la medicina que estudia mediante métodos estadísticos la distribución y las posibles causas de las enfermedades.

#### *Ejemplos de estudios epidemiológicos:*

1. **Estudio de cohorte:** *En este tipo de estudio, se comparan dos grupos: uno de ellos expuesto a un factor de riesgo determinado (cohorte expuesta) y otro no expuesto (cohorte no expuesta). Su finalidad es observar en cada uno de ellos la aparición de una enfermedad y su frecuencia. Es decir, se parte de una exposición a un agente determinado y se estudia la aparición de una o varias enfermedades. En general, son los mejores estudios, porque permiten controlar muchas variables, tales como sesgos o factores de confusión (ver glosario), pero su duración y su coste suelen ser demasiado altos.*
2. **Estudio caso-control:** *En este tipo de estudios se parte de un grupo que tiene una enfermedad (casos) y se compara con otro que no la tiene (controles) y que, en principio, tiene las mismas características que el primero (excepto en el hecho de que no padecen la enfermedad). Es decir, se parte de una enfermedad concreta y se estudian las exposiciones que han tenido ambos grupos.*

*Se usan más porque su coste y su duración son menores, pero tienen como inconveniente la dificultad de conseguir que el grupo control y el expuesto sean iguales en todas sus características, excepto en la exposición al agente que se estudia.*

*La mayoría de los estudios epidemiológicos realizados sobre campos electromagnéticos son de tipo caso-control.*

El nivel de asociación se presenta en términos matemáticos y es conocido globalmente como *Riesgo Relativo* (RR) en los estudios de cohorte y como *razón de proporciones* u “*odds ratio*” (OR) en los estudios caso-control. Para simplificar, nos referiremos de ahora en adelante a ambos con el término genérico de Riesgo Relativo.

Una vez hallada una asociación estadísticamente significativa hay que averiguar si existe una relación causa–efecto entre la enfermedad y el agente que se investiga. No siempre una asociación estadísticamente significativa implica una relación causa–efecto. Para averiguarlo se utilizan ciertos criterios (ver criterios de Hill) y nuevas investigaciones epidemiológicas más detalladas, en las que se intenta descartar que otros productos que están asociados al que se investiga sean realmente la causa de la enfermedad y no el que se analizó al principio; también ayudan los estudios de laboratorio.

### *Cómo se hace un estudio caso-control:*

1. *Primero se elabora una lista de personas que tengan una enfermedad determinada.*
2. *Se elabora una lista de personas de la misma edad, raza, sexo y otras características iguales, en todo lo posible, a las que tienen la enfermedad.*

*Al final se cuenta, por ejemplo, con 200 personas con leucemia (casos) y 200 sin esta enfermedad (controles).*

3. *Se determina el número de personas, tanto del grupo de casos como del de controles que han estado expuestas al agente que se investiga:  
Si, por ejemplo, 50 personas del grupo de los “casos” han estado expuestas y 150 no lo han estado, entonces la tasa de exposición de los casos es  $50/150 = 0,33$ .*

*Igualmente, si entre los controles 50 han estado expuestos y 150 no, entonces la tasa de exposición de los controles es  $50/150 = 0,33$ .*

4. *Para calcular el Riesgo Relativo (RR), o la razón de proporciones “odds ratio”, se comparan las tasas de exposición de ambos grupos:*

$$\frac{\text{Tasa de exposición de los casos}}{\text{Tasa de exposición de los controles}} = \frac{0,33}{0,33} = 1,0$$

Un riesgo de 1,0 significa que la probabilidad de que los casos estuvieran expuestos al agente que se investiga es igual a la probabilidad de que los controles estuvieran expuestos al mismo agente, por lo que se puede decir que no existe una relación o asociación entre el agente y la enfermedad que se investiga.

Si, por el contrario, fueron 100 los casos expuestos (tasa=100/100 = 1,00) y 50 los controles (tasa= 50/150 = 0,33), el riesgo relativo será de  $1,00 / 0,33 = 3,03$ . Esto se considera una asociación positiva, es decir, la exposición al agente estaría asociada con un riesgo aumentado de la enfermedad considerada.

5. *Aun cuando el riesgo sea mayor de 1 se deben hacer más cálculos para saber si la asociación puede ser debida al azar (estadísticamente no significativa) o no (estadísticamente significativa). Para ello se calcula el intervalo de confianza.*

Si el valor menor del intervalo de confianza es inferior a 1,0 se dice que no es estadísticamente significativo y puede ser debido al azar. Si es mayor de 1,0 la asociación puede deberse, siempre que los casos y los controles tengan las mismas características, al agente que se investiga.

Ningún estudio epidemiológico puede probar por sí mismo que una enfermedad esté causada por un agente. Para investigar si ello es así se utilizan diferentes metodologías, entre otras, la aplicación de los denominados *Criterios de Hill*.

### *Criterios de Hill:*

- 1°. **Fuerza de la asociación** entre la exposición y el riesgo. Es decir, ¿existe un claro riesgo asociado a la exposición? Una asociación fuerte es aquella que tiene un riesgo relativo de cinco o más. Por ejemplo, un fumador tiene un riesgo relativo para cáncer de pulmón entre 10 y 30 veces mayor que el de una persona que no fuma. Un riesgo menor, de aproximadamente 3, indica una asociación débil. Un riesgo menor de aproximadamente 1,5 no tiene casi significación, a menos que esté apoyado por otros datos.
- 2°. **Consistencia de los resultados** Es decir, ¿muestra la mayoría de los estudios el mismo nivel de riesgo aproximadamente para la misma enfermedad? Utilizando el mismo ejemplo del fumador, se puede decir que, esencialmente, todos los estudios sobre la relación existente entre el tabaco y el cáncer muestran un incremento del riesgo de cáncer de pulmón.
- 3°. **Evidencia de relación dosis-respuesta** Esto es, ¿se incrementa el riesgo con un incremento de la exposición? Siguiendo con el mismo ejemplo, cuanto más se fuma mayor es el riesgo de cáncer de pulmón.
- 4°. **Evidencia de laboratorio** que sugiera que hay un riesgo asociado a una exposición dada al agente. Las asociaciones epidemiológicas para un riesgo se refuerzan mucho cuando hay una evidencia experimental de la existencia de tal riesgo.
- 5°. **Existencia de mecanismos biológicos plausibles** que sugieran que podría existir un riesgo. Cuando se entiende como un agente causa una enfermedad es mucho más fácil interpretar los resultados epidemiológicos ambiguos. En el caso de fumar, aunque las evidencias directas del laboratorio relacionando fumar y cáncer eran débiles en el momento en el que se publicó el informe de US General Surgeon, la asociación era altamente plausible, porque se habían detectado agentes que causaban cáncer en el humo del tabaco.

En conjunto, la utilización de los Criterios de Hill muestra que la evidencia actual de una asociación entre campos de frecuencia industrial y cáncer u otras patologías es muy débil.

## ANEXO II. ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS SOBRE LÍNEAS ELÉCTRICAS Y LEUCEMIA INFANTIL

Autor principal (país, año)	Método de cálculo de la exposición	Número de casos expuestos	Riesgo (Intervalo de confianza al 95%)
▶ Wertheimer y Leeper (EE.UU. 1979)	<i>Código de cables</i>	<i>n=52</i>	2,3 (1,3-3,9)*
▶ Fulton (EE.UU. 1980)	<i>Código de cables</i>	<i>n=48</i>	1,1 (0,6-1,9)
▶ Tomenius (Suecia, 1986)	<i>Medida puntual &gt;0,3 μT</i>	<i>n=4</i>	0,3 (0,1-1,1)
▶ Savitz (EE.UU., 1988)	<i>Código de cables</i>	<i>n=27</i>	1,5 (0,9-2,6)
	<i>Medida puntual &gt;0,2 μT</i>	<i>n=5</i>	1,9 (0,7-5,6)
	<i>Medida 24 h. &gt;0,268 μT</i>	<i>n=20</i>	1,7 (0,8 - 3,7)
▶ Coleman (U.K. 1989)	<i>Distancia &lt;50 m</i>	<i>n=14</i>	1,5 (0,7-3,4)
▶ Lin (Taiwán, 1989 y 1994)	<i>Distancia</i>	<i>n=67</i>	1,5 (1,1-1,9)*
▶ Myers (U.K.1990)	<i>Distancia &lt;100 m</i>	<i>n=18</i>	1,0 (0,5-2,2)
▶ London (EE.UU., 1991)	<i>Código de cables</i>	<i>n=42</i>	2,1 (1,08-4,3)*
▶ Feychting y Ahlbom (Suecia, 1993)	<i>Campo calculado</i>		
	<i>&gt;0,2 μT</i>	<i>n=7</i>	2,7 (1,0-6,3)
	<i>&gt;0,3 μT</i>	<i>n=7</i>	3,8 (1,4-9,3)*
	<i>Campo medido &gt;0,2 μT</i>	<i>n=4</i>	0,6 (0,2-1,8)
	<i>Distancia &lt;50 m</i>	<i>n=6</i>	2,9 (1,0-7,3)
▶ Olsen (Dinamarca, 1993)	<i>Campo calculado &gt;0,25 μT</i>	<i>n=3</i>	1,5 (0,3-6,7)
▶ Verkasalo (Finlandia, 1993)	<i>Campo calculado &gt;0,2 μT</i>	<i>n=3</i>	1,6 (0,3-4,5)
▶ Fajardo-Gutiérrez (Méjico, 1993)	<i>Distancia:</i>		
	<i>a líneas de distribución</i>	<i>n=40</i>	2,6 (1,2-5,3)*
	<i>a líneas de transporte</i>	<i>n=20</i>	2,5 (0,9-6,6)
▶ Petridou (Grecia, 1993)	<i>Distancia &lt;50m</i>	<i>n=27</i>	1,2 (0,6-2,4)
▶ Tynes (Noruega, 1997)	<i>Exposición promediada</i>		
	<i>en el tiempo (TWA) &gt;0,14 μT</i>	<i>n=1</i>	0,3 (0,0-2,1)
	<i>Distancia &lt;50 m</i>	<i>n=9</i>	0,6 (0,3-1,3)
	<i>Campo calculado</i>		
	<i>&gt;0,14 μT</i>	<i>n=4</i>	0,8 (0,3-2,4)
	<i>&gt;0,2 μT</i>	<i>n=2</i>	0,5 (0,1-2,2)
▶ Michaelis (Alemania, 1997)	<i>Media campo medido en dormitorio</i>		
	<i>durante 24 h &gt;0,2 μT</i>	<i>n=4</i>	1,5 (0,4-5,5)
	<i>Mediana campo medido por la</i>	<i>n=5</i>	3,9 (0,9-16,9)
	<i>noche &gt;0,2 μT</i>	<i>n=3</i>	0,9 (0,2-3,6)

(continuación)

▶ Linet <sup>(a)</sup> (EE.UU. 1997)	Medida puntual >0,2 $\mu T$		
	Exposición promediada en el tiempo (TWA)		
	<0,1 $\mu T$	n=123	1,1 (0,8-1,5)
	0,1-0,2 $\mu T$	n=151	1,1 (0,8-1,48)
	>0,2 $\mu T$	n=83	1,24 (0,8-1,8)
	Código W-L <sup>(b)</sup> (Muy alto respecto a bajo)	n=24	0,88 (0,48-1,6)
▶ Petridou (Grecia, 1997)	Código K-S <sup>(c)</sup> (Alto respecto a bajo)	n=51	1,04 (0,6-1,6)
	Configuración W-L <sup>(b)</sup>	n=4	1,56 (0,26-9,39)
	Distancia y tensión	n=30	1,6 (0,6-4,0)
▶ McBride (Canadá, 1999)	Distancia <100 m	n=7	2,4 (0,98-5,01)
	Dosimetría 48 h		
	>0,2 $\mu T$	n=54	1,12 (0,69-1,8)
	>0,3 $\mu T$	n=11	1,24 (0,47-3,26)
	>0,5 $\mu T$	n=8	0,89 (0,24-3,36)
	Código W-L <sup>(b)</sup>	n=39	1,16 (0,58-2,3)
▶ Green (Canadá, 1999)	Código K-S <sup>(c)</sup>	n=60	1,17 (0,74-1,86)
	Dosimetría 48 h >0,14 $\mu T$	n=29	4,5 (1,3-15,9)*
	Dormitorio >0,13 $\mu T$	n=21	1,13 (0,31-4,06)
	Código W-L <sup>(b)</sup>	n=6	0,77 (0,2-2,89)
▶ UKCCS (U.K. 1999)	Código K-S <sup>(c)</sup>	n=14	0,85 (0,35-2,07)
	Campo calculado		
	>0,2 $\mu T$	n=21	0,9 (0,49-1,63)
▶ Dockerty (Nueva Zelanda, 1999)	>0,4 $\mu T$	n=5	1,62 (0,39-6,77)
	Campo medido		
	>0,2 $\mu T$	n=5	3,3 (0,5-23,7)
▶ Kleinerman (EE.UU. 2000)	>14 V/m	n=18	1,3 (0,2-6,7)
	Campo calculado >0,2 $\mu T$	n=35	0,98 (0,59-1,63)
	Distancia		
	0-14 m	n=29	0,79 (0,46-1,34)
▶ UKCCS (U.K. 2000)	15-23 m	n=36	1,01 (0,6-1,71)
	24-40 m	n=43	1,23 (0,75-2,03)
	Proximidad de líneas de 400 kV	n=17	1,34 (0,65-2,76)
▶ Schuz (Alemania, 2001)	líneas de 275 kV	n=11	1,06 (0,46-2,48)
	subestaciones	n=32	1,01 (0,96-1,05)
	Mediana medida durante 24 h endormitorio		
>0,2 $\mu T$	n=11	1,19 (0,5-2,57)	
>0,4 $\mu T$	n=7	3,5 (1,01-12,3)*	
▶ Schuz (Alemania, 2001)	Mediana medida por la noche endormitorio		
	> 0,2 $\mu T$	n=14	2,4 (1,07-5,37)*
	> 0,4 $\mu T$	n=7	4,28 (1,25-14,7)*

(a) Leucemia linfocítica aguda exclusivamente.

(b) Código de cables de Wertheimer y Leeper.

(c) Código de Kaune Savitz.

(\*) Riesgo estadísticamente significativo. Ver concepto significación estadística y criterios de Hill.

## ANEXO III

# CLASIFICACIÓN DE LA AGENCIA INTERNACIONAL PARA LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL CÁNCER (IARC) DE LOS CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS DE 50 Hz

El día 26 de Junio de 2001, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer de Lyon (IARC) emitió una Nota de prensa en el que clasifican los campos magnéticos de frecuencia industrial en su categoría 2B, es decir, como un “posible carcinógeno” en seres humanos por lo que se refiere a la leucemia infantil. Esta categoría es la más débil de las tres que usa el IARC cuando valora el potencial cancerígeno de un agente basándose en las publicaciones científicas. Los campos eléctricos de frecuencia industrial son clasificados en la categoría 3, “inclasificable en cuanto a su poder cancerígeno”.

IARC, organismo dependiente de la Organización Mundial de la Salud, elabora monografías sobre el potencial cancerígeno de distintos productos, mezclas de productos y actividades profesionales, y los clasifica en las cuatro categorías siguientes:

### **CLASIFICACIÓN DE IARC DEL POTENCIAL CANCERÍGENO**

- **Grupo 1:** El agente es cancerígeno para el ser humano.  
Ejemplos: asbestos, benceno, radón, rayos X, alcohol, tabaco, etc.
- **Grupo 2:** Se divide en dos categorías.
  - Grupo 2A:** El agente es probablemente cancerígeno para el ser humano.  
Ejemplos: benzopirenos, radiación ultravioleta (A, B y C), trabajar en refinerías de petróleo y peluquerías, etc.
  - Grupo 2B:** El agente es posiblemente cancerígeno para el ser humano.  
Ejemplos: café, cloroformo, gasolina, trabajar en tintorerías, carpinterías y en la industria textil, etc.
- **Grupo 3:** El agente no se puede clasificar en cuanto a su poder cancerígeno para los seres humanos.  
Ejemplos: cafeína, té, sacarina, luz fluorescente, paracetamol, tintes de pelo, valium, etc.
- **Grupo 4:** El agente probablemente no es cancerígeno para el ser humano.  
En esta categoría únicamente está incluido el caprolactam (material usado en la manufactura del Nylon).

En su nota de prensa IARC informa de que ha clasificado los campos magnéticos de frecuencia industrial dentro del grupo 2B en relación con la leucemia infantil, pero no en relación a ningún otro tipo de cáncer en niños o en adultos. Las razones de esta decisión son que los estudios sobre personas han observado una asociación entre la exposición a estos campos y la aparición de leucemias en niños pero no **puede descartarse que dicha asociación se deba al azar, a sesgos o a factores de confusión**; mientras que en los estudios sobre animales y de laboratorio:

- los hallazgos sólo se han visto en una especie animal o,
- no han sido replicados en más de un laboratorio o,
- no se han podido replicar usando protocolos diferentes.

Así pues, el hecho de que un agente sea un “posible cancerígeno” quiere decir que con la información actual no se le puede clasificarlo en un sentido o en otro. Se usa esta categoría cuando la evidencia disponible no es lo suficientemente convincente como para concluir que la exposición a estos campos represente un peligro para la salud, pero tampoco se puede concluir que sea totalmente segura.

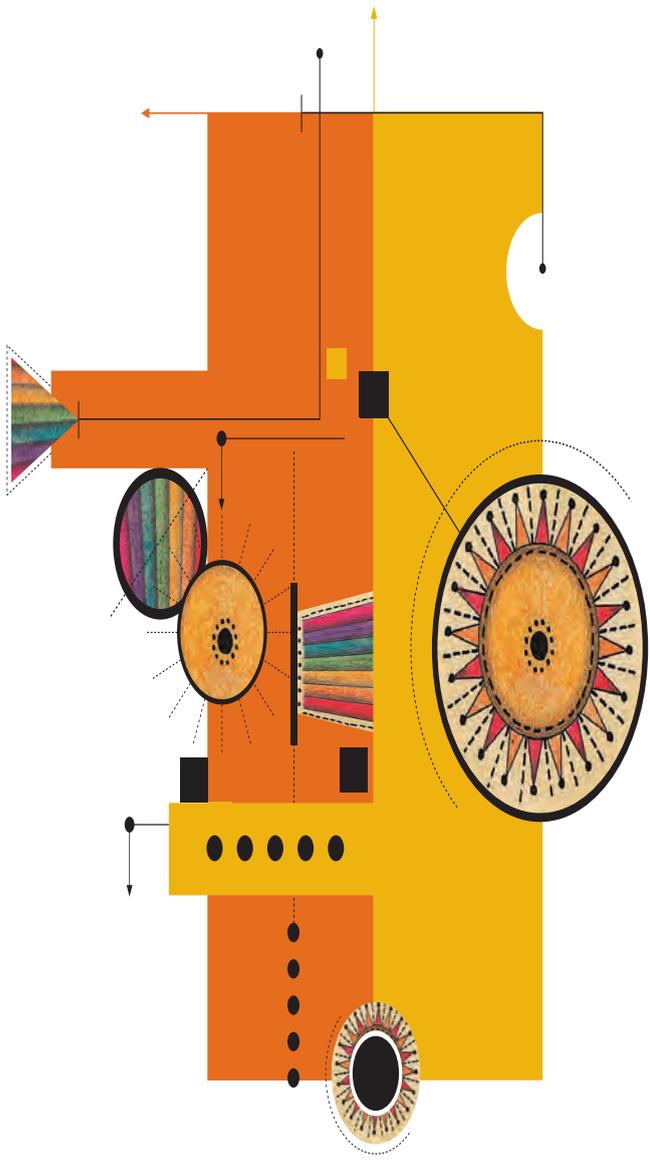
La inclusión de los campos magnéticos de frecuencia industrial en la categoría 2B es un reconocimiento de la incertidumbre que existe sobre su potencial poder cancerígeno. IARC reconoce que existen limitaciones y contradicciones en los datos disponibles y al incluirlos en esta categoría se solicita la realización de nuevos estudios en áreas científicas concretas así como una campaña de educación del público.

Los campos eléctricos y magnéticos estáticos, los campos eléctricos de frecuencia industrial, y la relación de los campos magnéticos con otros efectos para la salud distintos de la leucemia infantil se han clasificado como Grupo 3.

El Grupo 3 se basa en aquellos estudios sobre personas cuya consistencia o calidad es tal que no permiten extraer una conclusión; y en estudios sobre animales que o bien tienen las mismas limitaciones que los de personas o bien se ha encontrado alguna asociación pero no se puede descartar que sea debida al azar o a sesgos o a factores de confusión. Ejemplos son la cafeína, té, y los tintes de pelo.

En palabras menos técnicas, “Probable cancerígeno” significa que la evidencia científica lleva a considerar que el agente es cancerígeno, incluso aunque no puede excluirse que no lo sea; mientras que “Posible cancerígeno” significa que la evidencia científica lleva a considerar que el agente **no es cancerígeno** en humanos, aunque no puede excluirse que lo sea.

En conclusión, IARC viene a decir con un lenguaje diferente lo mismo que otros grupos de expertos anteriormente, es decir, que el análisis de los datos epidemiológicos y experimentales no proporciona una evidencia concluyente ni convincente de que los campos electromagnéticos de frecuencia industrial sean cancerígenos para las personas.



CAMPOS *eléctricos*

MAGNÉTICOS

50 Hz

*producido por*

GRUPO PANDORA S.A.  
gpandora@worldonline.es

AÑO 2001

depósito legal

SE-3084-01

ISBN

84-9320590-7









