

## EFFECTO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS ALTERNOS PRODUCIDOS POR LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN LOS SERES HUMANOS

Ing. Julieta VERNIERI  
IITREE-LAT  
Argentina

Ing. Jean RIUBRUGENT  
IITREE-LAT  
Argentina

### RESUMEN

Las líneas de transmisión junto con las instalaciones de potencia eléctrica, son fuentes de campos eléctricos y magnéticos EMF (ElectroMagnetic Fields) de una frecuencia que se encuentra dentro del rango denominado "frecuencias extremadamente bajas ELF (Extremely Low Frequency)". En los últimos años ha crecido el interés en los efectos que los campos de esta parte del espectro, podrían tener sobre las personas, especialmente sobre su salud.

En el presente trabajo realizamos una breve descripción de la forma de interacción de los campos con los tejidos vivos y sus efectos. Además se realiza una revisión de las investigaciones llevadas a cabo, a nivel mundial, sobre los efectos en la salud de las personas, que producirían los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial, generados por líneas de transmisión.

Por último presentaremos la normativa y las medidas gubernamentales tomadas a nivel internacional con respecto a la exposición a los campos eléctricos y magnéticos.

### PALABRAS CLAVES

Campos eléctricos - Campos magnéticos - Salud.

### INTRODUCCION.

En nuestro país, en los últimos meses, se ha instalado un conflicto entre la comunidad y las empresas distribuidoras de energía eléctrica, a raíz del montaje de instalaciones de alta tensión en áreas urbanas y semiurbanas. El público atemorizado, argumenta los posibles daños a la salud, que podría significar la presencia de dichas instalaciones y los respectivos campos que las mismas generan. Un aspecto interesante que cabe mencionar, a raíz de este conflicto, es el hecho de que en el mismo no se menciona la devaluación que podrían sufrir los inmuebles cercanos a este tipo de instalaciones, debido al impacto visual de las mismas. Siendo, a nuestro entender, este último aspecto de gran relevancia en los motivos de la oposición popular. Como consecuencia de estos conflictos, varias obras de energía eléctrica, se encuentran suspendidas a la espera de alguna resolución oficial.

De todos los agentes físicos a los que los seres humanos están expuestos y que pueden influir en la salud, los campos eléctricos y los campos magnéticos resultan, aún en nuestros días, una materia de gran controversia a nivel mundial.

Existe una gran preocupación respecto de la posible asociación entre la potencia eléctrica y el cáncer. Como consecuencia de ello, se encuentran en desarrollo, en el mundo, extensos programas de investigación, los cuales incluyen estudios epidemiológicos, experimentos de laboratorio "in vitro" e "in vivo".

Un papel importante en este conflicto, lo juega la prensa, con su gran influencia en el público en general. En reiteradas ocasiones este medio de comunicación insiste en publicar noticias suficientemente alarmantes y ambiguas como para atemorizar al lector sobre los riesgos a los que se somete, en su vida cotidiana. El fundamento de este tipo de artículos muchas veces resulta insuficiente, ya que estarían basados en información parcializada o en trabajos llamativos, que no resisten análisis científicos críticos.

### CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS-EMF.

#### Generalidades

La vida en la tierra se ha desarrollado inmersa en campos eléctricos y magnéticos, los cuales tienen diferentes orígenes y naturaleza. Nuestro planeta es una fuente "natural" de estos campos.

Sobre la superficie terrestre, existe un gradiente de potencial o campo eléctrico "natural" estático (CC) en promedio menor a 0.2 kV/m. Por otra parte también existe un campo magnético "natural" estático (CC) cuya intensidad, en promedio, oscila alrededor de 500 mG (670 mG en los polos magnéticos, 500 mG en latitudes intermedias, 330 mG en el ecuador), [1]. Este campo tiene mayor intensidad que la que suelen tener los campos magnéticos producidos por la energía eléctrica de corriente alterna (CA). Sin embargo, hay que destacar que la forma en que los campos estáticos (CC) y los campos alternos (CA) interactúan con los seres vivos es diferente.

Por su parte el hombre ha creado fuentes artificiales de campos eléctricos y magnéticos, comúnmente denominados en forma abreviada EMF (ElectroMagnetic Fields), de diferentes intensidades y frecuencias, a los cuales él mismo está diariamente expuesto. El espectro de frecuencia de estos campos es muy amplio abarcando desde aproximada-

mente 30 Hz hasta valores que exceden los 100 GHz. Este espectro se divide en: rayos-X, luz ultravioleta (UV), luz visible, luz infrarroja (IR), microondas (MW), radiofrecuencias (RF), y el espectro de frecuencias de los campos originados en los sistemas de potencia eléctrica.

Las fuentes electromagnéticas generan dos formas de energías: una es la *radiación* y la otra son los *campos no radiantes* o *campos cercanos*.

La radiación es una forma de campos eléctricos y magnéticos que viajan o se propagan desde su fuente, también llamados ondas electromagnéticas, los cuales continúan existiendo aún si la fuente desaparece. En una onda electromagnética el campo eléctrico y el magnético están estrictamente ligados uno al otro.

Los campos no radiantes están confinados a las inmediaciones de la fuente, es decir a distancias mucho menores a la longitud de onda de las radiaciones asociadas a dichas frecuencias. Estos campos también denominados campos cercanos, son independientes entre sí y dejan de existir cuando desaparece la fuente.

Las radiaciones de muy alta frecuencia ( $f > 10^{16}$  Hz) como son los rayos-X y "hard" UV (Ultra Violeta), contienen suficiente energía como para causar la ionización o ruptura de los enlaces intermoleculares, por lo que las radiaciones de esta parte del espectro de frecuencias son denominadas *radiaciones ionizantes*. Radiaciones de menor frecuencia y por lo tanto menor energía, son denominadas *radiaciones no-ionizantes*.

Dentro de las fuentes artificiales de EMF más importantes se encuentran las líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión (HV). La frecuencia de estos sistemas eléctricos de potencia, comúnmente denominada *frecuencia industrial*, es generalmente de 50 Hz ó 60 Hz, y está comprendida dentro de lo que se denomina *Extremely Low Frequency ELF* (en términos estrictamente de la ingeniería eléctrica el rango de ELF abarca de los 30 Hz a los 300 Hz, pero en términos de los estudios biológicos y de salud ocupacional el rango de ELF se considera desde 0 Hz a 3000 Hz).

En las inmediaciones de las instalaciones eléctricas de frecuencia industrial, donde es de interés la exposición a la forma de energía que generan este tipo de instalaciones, el campo es de tipo cercano no radiante, pues la distancia a la fuente es mucho menor que la longitud de onda asociada a estas frecuencias (6000 y 5000 km corresponden a frecuencias de 50 y 60 Hz respectivamente), y además es no ionizante dada su baja energía.

Entre las fuentes de campos del rango de frecuencias ELF, se encuentran además de las líneas de transmisión, líneas de distribución, transformadores de distribución, equipos electrónicos, maquinaria eléctrica, aparatos electrodomésticos, algunas de los cuales generan campos de intensidades considerables.

#### **Campos eléctricos y magnéticos producidos por las líneas de transmisión.**

El campo eléctrico E es producido por cargas eléctricas estáticas, siendo directamente proporcional a la tensión y decreciendo al aumentar la distancia. El campo de inducción magnética B, en adelante nos referiremos al mismo como campo magnético B, es creado por cargas eléctricas en movimiento. El mismo es directamente proporcional a la corriente y también decrece al aumentar la distancia.

Las intensidades de los campos E y B, además, están afectadas por la geometría de la línea, el número de conductores de fase, la altura, el tamaño y la separación entre conductores y la posición de los hilos de guardia.

En las cercanías de las líneas de transmisión el campo E tiene predominantemente la dirección vertical, mientras que el campo magnético B, resulta principalmente transversal a la dirección de la línea.

Las líneas producen campos eléctricos relativamente estables dado que la tensión no suele cambiar mucho respecto de su valor nominal. En cambio, los campos magnéticos fluctúan fuertemente dependiendo del estado de carga de la línea. Una forma de describir estos campos magnéticos es estadísticamente, es decir en términos de promedios, valores máximos (o pico), etc.

En la Tabla I se presentan valores medidos de EMF generados por líneas de energía eléctrica, obtenidos de las referencias [2], [3], [4], [5].

**Tabla I** - Valores medidos de campos eléctricos y magnéticos.

LÍNEAS DE TRANS	CAMPO ELÉCTRICO debajo de línea a 1m del suelo [kV/m]	CAMPO MAGNÉTICO debajo de línea a 1m del suelo [mG]
115 kV	1 a 1.5	20 a 63
230 kV	2 a 2.5	35 a 118
345 kV	3.4	68
500 kV	6 a 8	80 a 500
765 kV	8 a 12	100 a 310

Mientras que el campo eléctrico es fácilmente bloqueado o debilitado por las estructuras metálicas o conductoras de los edificios, el campo magnético penetra prácticamente todo material. Consecuentemente en un hogar próximo a una línea, consideramos que sólo el campo magnético proveniente del exterior penetra al interior.

Sin embargo, dentro de hogares y oficinas existen otras fuentes importantes de campos de frecuencias dentro del espectro ELF, y éstas son los aparatos electrodomésticos y equipos electrónicos. Es decir en el interior de estas edificaciones se superponen los campos magnéticos provenientes del exterior junto con los del interior y el campo eléctrico se debe prácticamente sólo a las fuentes internas.

Para tener una visión más realista de la importancia de los EMF producidos por las líneas de potencia, es necesario compararlos con los campos producidos por estas otras fuentes tan comunes en hogares y oficinas.

Los campos magnéticos que producen los aparatos electrodomésticos son mucho más intensos que los generados por las líneas. Sin embargo mientras que los primeros son altamente localizados y se reducen considerablemente al aumentar la distancia, los generados por las líneas, disminuyen en forma más suave. Desde el punto de vista del campo eléctrico en el interior de las edificaciones, el mismo sólo proviene de fuentes internas tales como electrodomésticos, y su intensidad es relativamente baja, no resultando un inconveniente dentro de los hogares.

En algunos casos los aparatos se usan cerca o en contacto con el cuerpo, como por ejemplo las mantas eléctricas, los secadores de pelo, afeitadoras eléctricas, es decir en estos

casos la exposición, particularmente a campos magnéticos, es muy alta, sin embargo es de corta duración, mientras que los campos generados por líneas, aunque de menor intensidad, están presentes en los alrededores de la misma a lo largo de todo el día.

Los aparatos electrodomésticos no son las únicas fuentes de EMF de ELF en hogares y oficinas, ya que el cableado domiciliario de alimentación eléctrica, las corrientes de tierra, corrientes de neutro en los sistemas de cañerías puestas a tierra, junto con las fuentes externas próximas, tales como líneas de transmisión, líneas de distribución, transformadores de distribución, etc., contribuyen al nivel de *campo magnético residencial de fondo*, tal como se lo denomina al campo que se mide en el centro de las habitaciones y el cual resulta de la contribución del normal uso de las distintos aparatos electrodomésticos y de la presencia de fuentes internas y externas.

En la Tabla II se comparan niveles de campo producidos por electrodomésticos, líneas de transmisión y niveles residenciales, obtenidos de la referencia [6].

**Tabla II** - Comparación de los niveles de campo producidos por electrodomésticos, líneas de transmisión y niveles residenciales

FUENTE	CAMPO ELÉCTRICO [kV/m]	CAMPO MAGNÉTICO [mG]
Debajo de línea transm. 500 kV	1 - 10	10 - 500
frazada eléctrica*	0.1 - 5	5 - 100
afeitadora eléctrica.*	0.05 - 1	5000 - 10000
tostadora eléctrica *	0.005 - 0.1	10 - 100
secador de pelo*	0.04	10000 - 25000
VDT video display terminal*	0.002 - 0.015	2 - 20
campo residencial	0.001 - 0.01	0.1 - 10

\* a escasos cm

## EFFECTOS DE LOS CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS EN LOS SERES HUMANOS

### Introducción

De todos los agentes físicos a los que los seres humanos están expuestos y que pueden influir en la salud, los *campos eléctricos* y los *campos magnéticos* resultan materia de gran controversia a nivel mundial. En la actualidad la ciencia es incapaz de aclarar todos los efectos biológicos que los mismos pueden ocasionar.

Existe abundante bibliografía científica y técnica, que apunta a dilucidar los efectos nocivos de los campos electromagnéticos en la salud de las personas. Dentro de la misma, hay investigaciones serias y otras tantas que no lo son.

La primera evidencia de que los EMF de frecuencia industrial (50 - 60 Hz) podrían tener un efecto sobre la salud de las personas, apareció en 1969 cuando investigadores soviéticos registraron una serie de molestias en trabajadores de playas de maniobras. Si bien los resultados de este estudio fueron recibidos con escepticismo por el resto de la comunidad científica, los mismos sirvieron para despertar el interés dentro de este ámbito. De esta manera se iniciaron una serie de estudios acerca de los efectos de los campos en la salud de las personas. En esta etapa los estudios enfatizaban el efecto de los campos eléctricos frente al de los campos

magnéticos, pues se sabía que la corriente inducida por el campo eléctrico producido por una línea, era mayor a la inducida magnéticamente por la misma línea.

En el año 1979, se produce un evento de gran relevancia en la comunidad científica, el cual despierta el interés tanto en este medio como en el público en general. Un grupo de investigadores epidemiológicos habría registrado una asociación entre los campos magnéticos residenciales de bajo nivel y el cáncer en los niños, [7].

A partir de este estudio surge una nueva preocupación: "Está la potencia eléctrica relacionada con el cáncer?" Esta pregunta condujo a un tipo de investigaciones denominadas *epidemiológicas*. Las mismas consisten en el estudio de patrones de enfermedad y sus posibles causas en poblaciones humanas.

En esta nueva etapa de estudios el interés se centra en los campos magnéticos ya que la asociación encontrada por estos epidemiólogos, se habría registrado con este tipo de campo y no con el eléctrico.

Los resultados de los estudios epidemiológicos recientes, son contradictorios, ya que si bien algunos han sugerido que podría existir una vinculación entre la exposición a EMF ELF (campos electromagnéticos de muy baja frecuencia) y cierto tipo de cáncer, principalmente la leucemia infantil y el cáncer cerebral, otros sin embargo, no han encontrado tal vinculación.

Actualmente se están efectuando, además de los estudios epidemiológicos, estudios de laboratorio para explorar las bases biológicas que pudieran explicar una asociación de tal naturaleza.

En el estudio de los efectos que producirían los campos EMF ELF, los mismos pueden categorizarse en dos tipos: los de *efectos de corto término* y los *efectos de largo término*. Dentro de la primera categoría los mismos son bien conocidos y generalmente se describen en términos de la corriente o más comúnmente de la densidad de corriente inducida en el cuerpo humano. Los efectos de largo término no son tan bien conocidos, y si bien las investigaciones continúan, hasta el presente no es ni siquiera posible encontrar evidencia definitiva de la existencia de este tipo de efectos. Dentro de esta categoría se encontraría la posible asociación de los campos electromagnéticos con el cáncer.

### Efectos de corto término.

Los efectos de corto término se pueden clasificar en:

- 1) tensiones inducidas por acoplamiento eléctrico. A medida que una persona se acerca a una línea o equipo de alta tensión, entra poco a poco en un campo eléctrico el cual induce una tensión en la persona. Si la persona está en contacto eléctrico con la tierra, por su cuerpo fluye hacia tierra una corriente denominada *corriente de cortocircuito*. Esta corriente es función de la intensidad del campo, de la capacidad entre las partes bajo tensión y la persona, y de las características resistivas de la misma.
- 2) corrientes de contacto. Si una persona toca una masa metálica inmersa en un campo eléctrico y aislada de tierra, en el instante del contacto puede percibir una corriente transitoria de descarga denominada *corriente de contacto*. La misma puede ser de gran intensidad, dependiendo del objeto (su altura y dimensiones) y de la intensidad del campo en el cual está inmerso.
- 3) corrientes por inducción magnética. Una persona en las proximidades de una línea de alta tensión se encuentra

inmersa en un campo magnético que aumenta al acercarse a la misma. Este induce corrientes en los tejidos que fluyen en trayectorias circulares periféricas perpendiculares al campo.

Para comprender mejor los efectos de corto término de los EMF en los seres humanos, describiremos brevemente, los efectos fisiológicos del paso de la corriente alterna por el cuerpo (norma IRAM 2 371- PARTE I, 1987), [8].

El *umbral de sensibilidad* sobre el paso de la corriente eléctrica, se define como el valor de la intensidad mínima que percibe una persona al hacer circular una corriente de mano a mano. El mismo presenta gran dispersión entre las distintas personas. Se ha detectado que las mujeres resultan más sensibles que los hombres al paso de la corriente.

El fenómeno de “*no soltar*” consiste en una contracción muscular que tiene lugar por la excitación de nervios y músculos flexores bajo la acción de la corriente eléctrica, de forma que al quedar contraídos, inhabilitan al individuo a soltar el conductor mientras circule la corriente. Este *umbral de “no soltar”* (“let-go current”), también presenta variaciones entre los distintos individuos. Para corrientes superiores a este umbral el efecto de la misma depende del tiempo en que permanezca circulando. Llegado el caso el individuo puede sufrir un paro respiratorio o circulatorio, alcanzando un estado de *muerte aparente*. Si el accidentado se sustrae rápidamente de la acción de la corriente y se le proporciona una asistencia respiratoria (antes de que sobrevenga el paro cardíaco y, en consecuencia, las lesiones anóxicas del encéfalo), estos fenómenos son reversibles.

Por último, por encima de unos 30 mA se puede producir, dependiendo del tiempo, una *fibrilación ventricular* la cual está caracterizada por una contracción anárquica y asíncrona de cada una de las fibras del miocardio, lo que se traduce, velozmente, en un paro circulatorio y una anoxia que alcanza, primero al cerebro y después al mismo corazón.

Los valores normalizados según la *IEC (International Electrotechnical Commission)* para estos umbrales son valores estadísticos y resultan los siguientes, [8]:

Umbral de sensibilidad	0.5 mA
Umbral de “no soltar”	10 mA
Fibrilación ventricular	>30 mA, curva tiempo-intensidad, ver norma IRAM 2 371

Según normas *ANSI (American National Standard Institute)* [9], el umbral de sensibilidad es de 0.5 mA, coincidiendo con el definido por la *IEC*.

Las corrientes de cortocircuito en el cuerpo humano inducida por campo eléctrico, alcanzan aproximadamente  $15 \mu A / kV/m$  [10]. Es decir debajo de una línea de 230 kV, donde el campo eléctrico puede alcanzar 2 kV/m, la corriente de cortocircuito puede alcanzar unos 30  $\mu A$ . Debajo de una línea de 500 kV, donde el campo eléctrico puede alcanzar a lo sumo 8 kV/m, la corriente de cortocircuito puede alcanzar unos 120  $\mu A$ . Es decir para los mayores campos eléctricos producidos por las líneas de transmisión, la corriente inducida por acoplamiento electrostático, no alcanza el umbral de sensibilidad.

Para analizar los efectos de las corrientes inducidas magnéticamente, un mejor indicador es la *densidad de corriente inducida* en lugar de la corriente total. El valor admisible de la *densidad de corriente inducida*, según el *Comité Interna-*

*cional de Radiación No Ionizante*, de la *Asociación Internacional de Protección de la Radiación (IRPA-INIRC)* es  $10 \text{ mA/m}^2$  [11] [12].

Los campos magnéticos producidos por líneas de transmisión son normalmente menores a 500 mG, e inducen una densidad de corriente menor que  $0.5 \text{ mA/m}^2$ , es decir unas 20 veces menor a la máxima densidad admisible [13].

El límite de seguridad o salvaguarda, para corrientes de contacto, utilizado por empresas del sector eléctrico de nuestro país, es de 5 mA, el cual corresponde al límite de tetanización que afecta al 0.5% de los niños.

#### Efectos de largo término.

Los efectos de largo término están asociados a la exposición directa a campos eléctricos y campos magnéticos. Dado que los campos eléctricos de frecuencia industrial, no penetran el cuerpo humano, generalmente se asume que cualquier efecto biológico como resultado de la exposición a campos de esta frecuencia se debe a la componente magnética de los campos internos inducidos en el cuerpo humano.

Se entiende por “efecto biológico” a todo cambio mensurable de algún factor biológico que puede o no relacionarse con la salud.

Efectos biológicos de distintos tipos se han notificado en estudios sobre los campos eléctricos, magnéticos o ambos. Entre ellos podemos mencionar una serie de efectos notificados en algunos estudios de laboratorio [3]:

- cambios en las funciones celulares y tisulares
- disminución de la hormona melatonina
- alteraciones del sistema inmunológico
- crecimiento tumoral acelerado
- cambios de los ritmos biológicos naturales (biorritmos)
- cambios de la actividad cerebral y frecuencia cardíaca en seres humanos
- cambios en el flujo de calcio a través de las membranas celulares
- efectos en la síntesis del ADN (ácido desoxirribonucleico) en el núcleo de las células, y de la transcripción del ARN (ácido ribonucleico) fuera del núcleo
- efectos en la respuesta de las células a hormonas y neurotransmisores

Algunos de estos efectos no pudieron ser detectados al reproducir los experimentos.

Los estudios de laboratorio que buscan identificar la forma en que estos campos interactúan con los procesos biológicos básicos, sugieren que es posible que la membrana celular sea un importante sitio de la respuesta biológica a los campos [14].

Sin embargo las investigaciones continúan, con el fin de determinar si alguno de estos efectos biológicos podría estar relacionado con el desarrollo del cáncer.

Según el *Instituto Nacional del Cáncer* de los Estados Unidos (NCI), 1992, los efectos biológicos producidos por los campos de ELF en los tejidos vivos, tales como interferencia con la síntesis de proteínas, no se han probado que sean perjudiciales.

Según la *Sociedad Física Americana*, 1995, no se ha identificado ningún mecanismo biofísico plausible que explique la iniciación o promoción sistemática de cáncer, debido a los campos producidos por líneas de potencia.

## ESTUDIOS E INVESTIGACIONES

En el año 1979, los epidemiólogos Wertheimer y Leeper de Denver, USA [7], publicaron el resultado de su estudio en el cual se encontró un aumento en la incidencia de la leucemia infantil y el cáncer de cerebro en niños residentes en las cercanías de líneas de transmisión. Este estudio despertó una gran preocupación, no sólo en el ámbito científico sino en el público en general. A partir del mismo se iniciaron una serie de investigaciones tanto epidemiológicas como experimentos de laboratorio “in vitro” e “in vivo”, tendientes a esclarecer los efectos de los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia en los seres humanos, y en particular la existencia de la posible asociación de estos campos con algunos tipos de cáncer.

Hasta el presente se han realizado más de 100 estudios epidemiológicos, cuyos resultados resultan contradictorios.

Entre los estudios con resultados a favor de la asociación con el cáncer, además del realizado por Wertheimer y Leeper, cabe mencionar en 1988 el trabajo de Savitz (Denver Colorado USA) [5], el cual encontró un aumento de incidencia para leucemia y cáncer de cerebro en niños residentes en las cercanía de líneas de configuración de alta corriente. En 1991, London (L.A. California USA) detectó un aumento para la leucemia en niños residentes en las cercanía de líneas de configuración alta corriente. En 1993 Feytching y Ahlbom (Suecia) registraron, para niños residentes en las cercanía de líneas de 220 y 400 kV, un aumento del riesgo relativo de leucemia. En este estudio, el cual ha tenido gran repercusión en la actualidad, se utilizaron tres formas de medir la exposición (para niños residentes a una distancia menor a 300m; por el cálculo retrospectivo del valor medio B; y por la medición domiciliaria). El riesgo relativo (RR) sólo apareció aumentado cuando se lo asociaba al valor histórico de B y no con las mediciones actuales del campo. Además este aumento sólo se registró para niños residentes en casas, y no en departamentos. Aclaremos la idea que nos brinda el término riesgo relativo RR. Cuando este número RR es mayor que uno, el factor en cuestión aumenta el riesgo de contraer la enfermedad, si es menor que uno lo disminuye y si es igual a uno no influye. Sin embargo un RR mayor que uno no necesariamente implica que exista una relación causa-efecto entre el factor y la enfermedad. El aumento de RR, encontrado por los epidemiólogos Feytching y Ahlbom, correspondiente a cada nivel de exposición es el siguiente:

$B \leq 0.9 \text{ mG}$	RR = 1
$\leq B \leq 1.9 \text{ mG}$	RR = 2.1
$B > 2 \text{ mG}$	RR = 2.7
$B > 3 \text{ mG}$	RR = 3.8

Sin embargo, ninguno de todos los estudios recientemente mencionados, pudo encontrar un aumento en la incidencia del cáncer asociado a los valores medidos de campo, lo cual resalta la importancia de definir el término “exposición” a EMF y la forma de medir dicha exposición.

El argumento más fuerte que algunos científicos presentan en contra de la asociación entre los campos de frecuencia industrial y el cáncer, es la falta de cumplimiento de los criterios de Hill, tanto de los estudios epidemiológicos como los de laboratorio. Podemos mencionar algunos de las dificultades que presentan estos estudios:

- número de la muestra bajo estudio es reducido

- falta de un grupo de control estable adecuadamente determinado
- falta de conocimiento de las variables de confusión
- sobresimplificación de algunas evidencias experimentales
- asociación débil (RR menor a 5)
- falta de mediciones adecuadas de la “exposición”
- resultados estadísticamente no significativos.

Además existe gran cantidad de estudios epidemiológicos que no encuentran ningún tipo de asociación. Otro de los argumentos es el hecho de que la gran cantidad de estudios de laboratorio sobre la genotoxicidad de estos campos, los cuales presentan evidencia de que los campos magnéticos de frecuencia industrial no serían genotóxicos, fueran ignorados.

Consecuentemente, hasta la fecha, los resultados de los estudios epidemiológicos han sido inconsistentes e inconclusos.

Es importante resaltar la dificultad que se presenta cuando se pretende caracterizar la “exposición” a campos electromagnéticos, dado que la misma puede describirse en términos de varios parámetros. Por lo tanto, no se sabe cuál de estos parámetros, si es que hay alguno, estaría asociado con el riesgo en la salud humana.

Actualmente en el mundo se están llevando a cabo estudios epidemiológicos, de laboratorio, ambientales y de ingeniería, sobre los EMF y la salud. Muchos tienen que ver con algún aspecto del desarrollo del cáncer. Algunos de estos estudios son patrocinados por agencias gubernamentales y por organizaciones del sector privado, entre las que figuran las empresas de electricidad y los fabricantes de aparatos eléctricos.

## REVISIONES CIENTIFICAS, MEDIDAS GUBERNAMENTALES, MEDIDAS EMPRESARIALES, NORMAS Y DIRECTRICES

Desde el punto de vista de los efectos de *largo término*, la mayoría de las revisiones más recientes han llegado a la conclusión de que **los datos actuales, aunque apuntan en esa dirección, no comprueban que los campos electromagnéticos produzcan cáncer.**

El *Comité Internacional de Radiación No Ionizante*, de la *Asociación Internacional de Protección de la Radiación (IRPA/INIRC)* junto con la *División de Salud Ambiental de la Organización Mundial de la Salud (WHO)*, patrocinados por el *Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP)*, han asumido la responsabilidad de desarrollar documentos (denominados criterios) de salud relacionados con la radiación no ionizante. En particular dos documentos: “Environmental Health Criteria 35: Extremely Low Frequency ELF” [15] y “Environmental Health Criteria 69: Magnetic Fields” [16], contienen una revisión de los efectos biológicos registrados por la exposición a campos EMF ELF. Estos criterios no recomiendan valores específicos para normas de exposición a campos EMF ELF, pero proveen una guía para el desarrollo de normas cuando éstas sean requeridas.

Existen otras revisiones nacionales e internacionales, que sostienen que no hay bases suficientes para establecer una relación causa-efecto entre la exposición a estos campos y el cáncer. Entre ellas podemos citar a las efectuadas por la *U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)*, el *Committee*

on Interagency Radiation Research and Policy Coordination, el Ministerio de Salud de Australia, la National Radiological Protection Board del Reino Unido (NRPB), el Ministerio de Salud de Dinamarca y el Instituto Nacional de Salud y de Investigaciones Médicas de Francia, así como las revisiones patrocinadas por los estados de California, Texas, Connecticut, Illinois, Maryland y Colorado. Estas mismas organizaciones en general coinciden en la imposibilidad de fijar límites de exposición a campos EMF ELF, y en la necesidad de futuras investigaciones que permitan confirmar o descartar efectos en la salud.

Organismos estatales con la facultad de reglamentar la exposición a los campos EMF, comparten el concepto de que la elaboración de normas o directrices que fijen un nivel máximo de exposición, debe ser realizada sobre bases científicas. En el presente los datos científicos no son suficientes para realizar una evaluación del riesgo que resulte útil para el desarrollo de límites de exposición, ni que permita desarrollar una norma basada en salud.

Por lo tanto las directrices existentes se basan en los efectos ya confirmados, es decir los producidos por las corrientes inducidas en el cuerpo por campos eléctricos y magnéticos externos de frecuencia industrial.

Entre estas directrices que sirven como valores guía para la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia industrial, podemos citar como más importantes, a las siguientes: IRPA/INIRC (International Radiation Protection Association - International Non-Ionizing Radiation Committee), ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), NRPB UK (National Radiation Protection Board-United Kingdom), y WHO (World Health Organization), [3] [13] [15]. En las Tablas III y IV se vuelcan los valores tolerables de exposición del público en general, y de exposición ocupacional.

Como ya fuera indicado, estas directrices se basan en los efectos ya confirmados, y estos valores no se supone que correspondan a los campos de baja intensidad asociados con la incidencia aumentada de cáncer que se ha notificado en algunos estudios epidemiológicos recientes. Tampoco deben interpretarse como parámetros para diferenciar a los campos electromagnéticos “inocuos” de los “perjudiciales”.

Algunos estados de los Estados Unidos han fijado normas en torno a los EMF producidos por las líneas de transmisión. Estos valores límites equivalen básicamente a los campos de mayor intensidad que producen las líneas ya existentes en dichos estados cuando transmiten una carga máxima. En otras palabras, su finalidad es garantizar que las líneas de energía futuras no generen campos electromagnéticos más intensos de los que existen actualmente.

Dada la incertidumbre que representan para la ciencia los posibles efectos de los campos EMF ELF sobre la salud, algunos organismos estatales justifican una política de “no innovar”. Contrariamente, ha sido ampliamente adoptada por algunas empresas y organismos como un acuerdo “de facto”, una medida prudente de precaución, inicialmente propuesta por Granger Morgan, jefe del Departamento de Ingeniería y Política Pública de la Carnegie Mellon University de U.S.A., y actual Presidente de Medicina Ocupacional del Reino Unido [17]. A esta política se la conoce como “principio de precaución” o “prudent avoidance”, y apunta a evitar o reducir la exposición a campos electromagnéticos siempre y cuando esto se puede lograr con “bajos costos y sin inconvenientes”. Sin embargo este principio ha sido

ampliamente criticado. El físico David Hafemeister del Departamento de Física de la Universidad Estatal de California y miembro de la Sociedad Americana de Físicos [5], indica que una medida de este tipo, sería razonable cuando se conoce la naturaleza y la severidad del riesgo, no siendo este el caso de los campos EMF ELF. Además, el principio de Morgan sugiere inversiones arbitrarias, sin que sea posible realizar una evaluación costo-beneficio. Por otra parte, no hay que olvidar que esta política implica que los costos de reducción de la exposición, se trasladarían al usuario final.

**Tabla III** - Niveles tolerables de exposición, del público en general, a campos eléctricos y magnéticos.

INSTITUCIÓN	CAMPO ELÉCTRICO [kV/m]	CAMPO MAGNÉTICO [mG]
NRPB-UK 1993	12 (50 Hz)	16 x 10 <sup>3</sup> (50 Hz)
	10 (60 Hz)	13.3x10 <sup>3</sup> (60 Hz)
IRPA/INIRC 1993	5 (24hs día)	10 <sup>3</sup> (24 hs día)
	10 (pocas hs día)	10 x10 <sup>3</sup> (pocas hs día)
Estados de NEW YORK-FLORIDA	1-3 (borde franja servid)	100 a 200 (borde franja servid)

**Tabla IV** - Niveles tolerables de exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos.

INSTITUCIÓN	CAMPO ELÉCTRICO [kV/m]	CAMPO MAGNÉTICO [mG]
NRPB UK 1993	12 (50 Hz)	16 x 10 <sup>3</sup> (50 Hz)
	10 (60 Hz)	13.3x10 <sup>3</sup> (60 Hz)
IRPA/INIRC 1993	10 (oper 8 hs día)	5 x10 <sup>3</sup> (oper 8 hs día)
	30 (oper pocas hs día)	50x10 <sup>3</sup> (oper pocas hs día)
ACGIH año 1994	25	10 x10 <sup>3</sup> (60 Hz)
	≤1 (oper c/ marcap)	10 <sup>3</sup> (oper c/ marcap)
WHO	-	5 x10 <sup>3</sup> (oper 8 hs día)

La comunidad científica opina que el concepto de “prudent avoidance” es inconsistente con la política de adoptar normas o guías basadas en el consenso científico.

Algunas empresas de distribución argumentan que la única respuesta apropiada es continuar con las investigaciones antes de que establecer definitivamente la existencia del riesgo, mientras se rigen por los valores recomendados por IRPA/INIRC y ACGIH.

Otras empresas han adoptado como filosofía “de facto” el principio de precaución, evitando, por ejemplo, construir líneas de transmisión dentro de centros muy urbanizados, sitios históricos, etc.

## 6. CONCLUSIONES

Por el momento no se puede afirmar o descartar que la exposición a campos electromagnéticos de frecuencias industrial constituya un riesgo para la salud. Por lo tanto, no

es posible determinar niveles “inocuos” y niveles “perjudiciales” de exposición.

Dentro de la comunidad científica, existe un consenso general respecto de que los campos magnéticos de frecuencia industrial no serían genotóxicos, es decir no dañan en forma *directa* el material genético de las células, ni causan en forma *directa* el cáncer.

Sin embargo lo que aún no estaría comprobado, es la actividad epigenética, es decir un agente epigenético es algo que incrementa la probabilidad de que un agente genotóxico pueda dañar el material genético de las células o causar cáncer. Por el momento se esperan nuevas evidencias que establezcan una clara asociación entre los efectos en la salud humana y la exposición a los EMF, que justifiquen la elaboración de una norma basada en salud. El uso de números establecidos arbitrariamente para definir un “nivel admisible de exposición”, no puede ser argumentado o defendido sobre la base de evidencias científicas.

La controversia pública acerca de la electricidad y la salud continuará hasta que futuras investigaciones demuestren que los campos son peligrosos, o hasta que el público comprenda que la ciencia no puede garantizar la absoluta seguridad.

La Organización Mundial de la Salud (WHO), a través de la Agencia Internacional de Investigaciones del Cáncer (IARC), tiene prevista la realización de una monografía sobre la carcinogénesis de los campos EMF ELF, para fines de siglo.

Cuando se establecen límites de exposición, es necesario realizar varios juicios de valor, se debe considerar la validez de los reportes científicos, se debe realizar una extrapolación de los experimentos en animales a los efectos en los humanos, etc. Será necesario un análisis costo-beneficio, que tenga en cuenta las prioridades nacionales de salud pública y consideraciones de impacto económico y de aspectos sociales, para derivar límites adaptados a las diferentes condiciones prevalecientes de cada país.

Indicamos la necesidad de continuar con las investigaciones interdisciplinarias y la realización de programas de educación, comunicación y disseminación de información como respuesta a la necesidad pública de tener cierta información general respecto de los potenciales efectos en la salud de los EMF.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Biological and psychological effects of EHV power transmission - IEEE vol PAS Jan/Feb 78, pp 8-18.
- [2] Compatibilidad electromagnética en sistemas de potencia y calidad del servicio e impacto ambiental - curso de posgrado, UNLP Facultad de Ingeniería 1995.
- [3] Preguntas y respuestas sobre los campos eléctricos y magnéticos asociados con el uso de la energía eléctrica - National Institute of Environmental Health Sciences y U.S. Department of Energy - Marzo de 1995.
- [4] Introduction to power-frequency electric and magnetic fields - W.T. Kaune Power Frequency Electric and Magnetic Fields.
- [5] Frequently Asked Questions (FAQs) on Power-Frequency Fields (EMF) and Cancer - John Moulder Microsoft Internet Explorer, May 1996.
- [6] Extremely Low Frequency and Very Low Frequency Electric and Magnetic Field Emissions from Video Display Terminals - Laser Microwave Division, U.S. Army Environmental Hygiene Agency - Microsoft Internet Explorer.

- [7] Electrical wiring configurations and childhood cancer - N. Wertheimer and De Leeper; American Journal of Epidemiology, Vol 109 N°3, 1979.
- [8] Efectos del paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano, Aspectos generales- Norma IRAM 2 371 Parte I, Diciembre 1987, basada en norma IEC 479-1.
- [9] Power frequency electric field (50/60 Hz) environmental considerations, IEEE vol PAS Jan/Feb 78, pp 19-32.
- [10] People's short term reactions to electric and magnetic field coupling effects - IEEE Power Eng. Society, Transmission and Distribution, vol PAS 96, Nov/Dec 78, pp 2243-2252.
- [11] Biological hazard due to power lines, induced currents density and power absorbed by prolate spheroid model of man - IEEE vol PAS 96 Jan/Feb 77, pp 208-212.
- [12] Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields, International Non-ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association, Health and Physics, Vol. 58, N°1, January 1990.
- [13] EMF Fundamentals and Common ELF EMF problems in commercial buildings. EMF-LINK, Information Ventures, Inc. 1995.
- [14] Electric and Magnetic Fields - Gordon L. Hester, project manager at the EPRI, Vol.34, Environment, 01/01/1992, pp 6.
- [15] Extremely Low Frequency (ELF) Fields - Environmental Health Criteria 35. United Nations Environment Programme, World Health Organization, International Radiation Protection Association, Geneva 1984.
- [16] Magnetic Fields - Environmental Health Criteria 69. United Nations Environment Programme, World Health Organization, International Radiation Protection Association, Geneva 1987.
- [17] Today's view of magnetic fields - Tekla S. Perry, IEEE Spectrum December 1994.
- [18] Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines - M. Feychting and A. Ahlbom; American Journal of Epidemiology, Vol 138 N°7, October 1993.
- [19] Biological Effects of Power Frequency Electric and Magnetic Fields - Congress of the United States Office of Technology Assessment (OTA). Background paper for the assessment of Electric Power Wheeling and Dealing.
- [20] Health effects of Exposure to powerline-frequency electric and magnetic fields - Public Utility Commission of Texas, Austin, Texas, March 1992.