
Los Campos Electromagnéticos de Frecuencia Industrial y los Riesgos Para la Salud

Ricardo R. Díaz

Los campos eléctricos y magnéticos son parte integrante del medio ambiente y sus efectos sobre las personas generan un legítimo interés en el público, pero frecuentemente la información disponible es confusa o se presta a interpretaciones simplistas. El tema se estudia en el ámbito sanitario y tecnológico desde hace más de 25 años y existe una abundante literatura de variada calidad, sin embargo, reaparece periódicamente en los medios de difusión masiva despertando polémicas y alimentando no pocos temores en el público. La intención de este trabajo es aportar un marco objetivo para el análisis del tema, identificando los efectos de los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial sobre los seres vivos, evitando las simplificaciones exageradas y buscando aportar claridad al lenguaje y facilitar la interpretación de los estudios realizados por científicos e instituciones de diferentes países. En la primera parte se presenta el vocabulario necesario para tratar el tema en forma adecuada, luego se destacan las principales características de los campos eléctricos y magnéticos de origen natural y artificial, y finalmente se analizan los posibles efectos biológicos y sanitarios de tipo inmediato y mediato.

Palabras clave: campos magnéticos, campos eléctricos, efectos biológicos, salud humana.

Low-frequency electromagnetic fields and human health risk

This article presents a short review of human effects and possible health risks produced by Low-Frequency Electromagnetic fields (LF-EM). In the first part some definitions are introduced in order to understand the terms of the problem and reduce controversies and misunderstandings by inadequate language. In a second part, verified and supposed biological effects of EM fields are presented using a simple but scientific approach. In the third part, some LF-EM field values proposed by agencies and ordinances regulating non-ionizing radiation in different countries are compared. In the following parts, it is presented a review of the state of scientific knowledge and experience obtained from research around the world about health deleterious effects of LF-EM fields. Finally, some consequences from these experiences are proposed for new electrical installations.

Key words: electric and magnetic fields, biological effects, human health.

Introducción

El efecto de los campos electromagnéticos sobre la salud de las personas ha despertado numerosas controversias en los últimos años, especialmente cuando se trata de la exposición generada por las instalaciones de los servicios públicos (distribución y transmisión de energía). La virulencia de la discusión apenas se traslada al uso de los electrodomésticos, de la misma manera que pocos se cuestionan los eventuales efectos de los teléfonos móviles ni se enfatiza sobre las antenas celulares. Sin ignorar la importancia de la libertad individual en la decisión del uso de un supuesto agente tóxico, muchas veces los equívocos nacen de un lenguaje inadecuado o de medias verdades. Por ese motivo es conveniente primero lograr un acuerdo sobre el significado de las palabras y las expresiones usadas. Una vez adoptado un lenguaje común será posible analizar los datos disponibles en la abundante literatura existente sobre el tema, otorgando credibilidad sólo a los resultados repetibles aceptados por grupos de especialistas.

Vocabulario

Los siguientes son algunos conceptos básicos necesarios para abordar el tema:

- **Efectos biológicos:** los definimos como la influencia benéfica o perjudicial de cualquier parámetro físico, químico o psicológico sobre los seres vivos. Cuando actúa sobre las personas no significa que deba ser necesariamente perjudicial. Por ejemplo la luz, la altura, la temperatura, producen efectos biológicos sobre las personas y pueden ser hasta beneficiosos cuando se administran en cantidades adecuadas. Los campos eléctricos y magnéticos efectivamente producen efectos sobre los seres vivos, como se verá más adelante, pero no significa que deban ser necesariamente negativos. Los efectos pueden ser clasificados como directos o indirectos. Un ejemplo de acción directa de un campo eléctrico sobre el cuerpo humano es la inducción de corrientes en los órganos y fluidos. En cambio, un ejemplo de acción indirecta puede ser la falla inducida por ese mismo campo sobre el marcapasos de un enfermo cardíaco.

- **Efectos mediatos e inmediatos:** está bien establecido que los campos eléctricos y magnéticos producen *efectos inmediatos* sobre las personas, sobre la base de la inducción de corrientes en el cuerpo humano. Estos efectos se manifiestan de diferentes maneras, por ejemplo mediante la estimulación nerviosa o muscular, la vibración de los pelos de la piel, etc. Sobre la existencia de todos ellos no se presentan dudas, estos efectos inmediatos pueden ser provocados tanto por el campo eléctrico como por el magnético, cuando los niveles de exposición son suficientemente elevados y los efectos desaparecen cuando cesa la exposición.

- Los *efectos mediatos* o de largo plazo resultan mucho más discutidos. Para el campo eléctrico prácticamente hay acuerdo en que no existen consecuencias con exposiciones de baja intensidad a largo plazo, salvo el caso (muy poco frecuente) del efecto indirecto de los iones, creados por las instalaciones de alta tensión, que pueden capturar aerosoles contaminantes [1] cuando son producidos por otras actividades industriales o urbanas. En cambio para el campo magnético existen estudios epidemiológicos que muestran una correlación entre distintos tipos de cáncer y la exposición a niveles de campos magnéticos inferiores al μ Tesla. Como se indica más adelante la correlación no es suficiente para demostrar una relación causa-efecto. Los niveles de campo involucrados en estos casos son inferiores o iguales a los que normalmente encontramos en el medio ambiente urbano o industrial.

La tabla I muestra las diferencias entre los efectos mediatos e inmediatos, comprobados o sospechados, del campo magnético.

Tabla I

	Efectos inmediatos	Efectos mediatos
Tipo de exposición	Instantánea, con fuertes valores de campo	Acumulada, con bajos valores de campo
Niveles críticos	1000 -10000 μ T	0,2 - 4 μ T
Manifestación invocada	Percepción dérmica. Estimulación nervioso-muscular.	Cáncer. Alteración de la función reproductora
Reconocimiento	Aceptado	Controvertido
Estudios realizados y a realizar	Normalización. Trabajos en tensión.	Epidemiológicos, biológicos, análisis de riesgo
Naturaleza del problema	Técnica	Política, comunicación
Impacto	Lugares públicos y de trabajo	Lugares públicos, de trabajo y hogar

- **Causalidad y casualidad:** el principio de *causalidad* es la base del conocimiento científico, es el principio por el cual se identifica y explica cómo una causa produce un efecto (relación causa-efecto). La demostración científica de una relación de causalidad requiere el cumplimiento de varias condiciones: la demostración de la existencia de una relación experimental entre ambos fenómenos, la justificación de esa relación mediante un modelo racional (físico, químico, biológico) y su reproducción por diferentes autores. La *casualidad* a pesar de su similitud gramatical es casi lo contrario, es la conjunción de un gran número de parámetros que hacen que un fenómeno se relacione con otro de manera aleatoria o casual. El método científico requiere la demostración de la causalidad sin margen de dudas, lo que a veces es sumamente difícil. Por ejemplo, ningún estudio causal ha demostrado que el campo magnético débil produce efectos mediatos perjudiciales, pero es muy difícil demostrar que no los produce, de la misma manera que generalmente resulta más laborioso probar la falsedad de una hipótesis que su veracidad.

- **Epidemiología:** es una disciplina de las ciencias médicas que nace como el estudio de la

propagación de las epidemias (enfermedades infecciosas) sobre una determinada población. Actualmente se entiende como la disciplina que estudia, con ayuda de la estadística, la enfermedad y los factores que definen su expansión y gravedad en las poblaciones humanas. Como todo análisis estadístico, sus resultados son caracterizados por estimadores e intervalos de confianza, y en ciertos casos permite establecer relaciones entre variables.

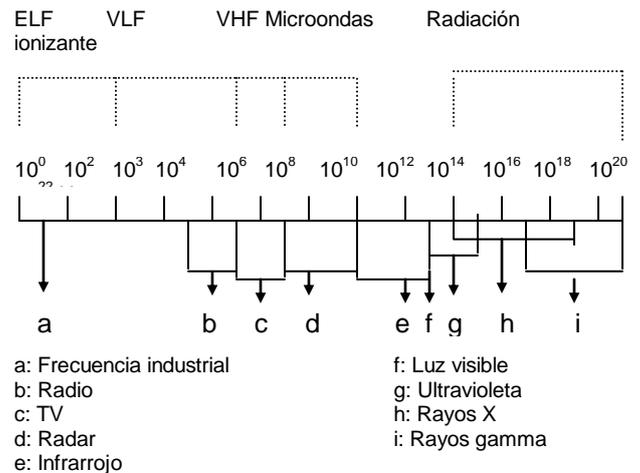
- Principio de precaución (prudent avoidance): el concepto aparece hacia fines de la década del 80 [2] con una definición abierta: consiste en la implementación de medidas de bajo costo y/o que no ocasionen excesivos inconvenientes, para reducir los riesgos en la salud, cuando una relación de causalidad no haya sido demostrada, pero existan sospechas de su existencia. Se observa que se puede disentir sobre qué se entiende por bajo costo o excesivos inconvenientes, pero la idea es clara, mientras no exista una demostración científica de inocuidad se deben minimizar los riesgos sin privarse de usar el factor cuestionado. Por ejemplo, en el caso de los campos magnéticos en el hogar es altamente recomendable realizar los arreglos pertinentes para minimizar la exposición de las personas adoptando soluciones sencillas, como equilibrando las cargas trifásicas, adecuando la ubicación de los electrodomésticos, etc.
- Posible y probable: son conceptos diferentes, el primero califica una hipótesis cuya invalidez no ha sido demostrada pero tampoco lo contrario; el segundo una hipótesis cuya validez ha sido demostrada mediante el aporte de pruebas basadas en metodología científica, aunque su ocurrencia pueda ser más o menos frecuente.

Campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial

Los campos electromagnéticos existen naturalmente en el medio ambiente, las actividades humanas han incrementado estos campos especialmente en el rango de las bajas y medias frecuencias. La figura 1 muestra un esquema del espectro electromagnético. Se observa que las radiaciones generadas por la industria eléctrica son de tipo no-ionizante, es decir su energía es 10^{14} veces inferior a la radiación capaz de extraer electrones a moléculas neutras y resulta insuficiente para destruir las uniones químicas que inducen efectos mutantes a nivel celular.

Debido a la actividad solar y a la hidrodinámica atmosférica existe un campo eléctrico natural estático entre la ionosfera y la superficie de la tierra; a nivel del mar y con buen tiempo es del

orden de los 0,1 kV/m y en zonas montañosas puede alcanzar 0,5 kV/m.



Cuando se forman nubes de tormenta el campo sobre la superficie terrestre puede aumentar a valores entre 2 y 20 kV/m.

Sobre la superficie terrestre también existe un campo magnético natural de tipo estático que varía entre 25 y 65 μ T del Ecuador a los polos.

Estos valores pueden ser comparados con los niveles artificiales típicos de exposición en la atmósfera que adquieren intensidades entre 0,005 - 0,05 kV/m y 0,01-0,3 μ T, con frecuencias en el rango de los 3 a 3000 Hz. Es interesante señalar que el campo magnético estático puede generar corrientes en el interior de sistemas biológicos en movimiento; por ejemplo, un ciclista desplazándose a una velocidad de 5m/s en dirección perpendicular al campo terrestre (40 μ T) puede inducir en su cuerpo densidades de corriente comprendidas entre 0,01 y 0,14 mA/m², valores comparables a los inducidos por campos de frecuencia industrial entre 1 y 20 μ T.

En general, los campos electromagnéticos pueden ser calculados utilizando las ecuaciones de Maxwell, que a frecuencias industriales pueden ser simplificadas para campos desacoplados, es por eso que a frecuencias de 50-60 Hz usualmente se utiliza la expresión de campos eléctricos y magnéticos en lugar de campos electromagnéticos. En términos generales, las ecuaciones de intensidad de campos eléctrico E y magnético H con tensiones y corrientes alternas de pulsación ω son las siguientes:

$$\text{rot } \underline{E} = -j \omega \mu \underline{H} \quad (1a)$$

$$\text{div } \underline{D} = \rho \quad (1b)$$

$$\text{rot } \underline{H} = (\kappa + j \omega \epsilon) \underline{E} \quad (1c)$$

$$\text{div } \underline{H} = 0 \quad (1d)$$

Para materiales isótropos la inducción magnética y eléctrica resultan respectivamente:

$$\begin{aligned} \underline{B} &= \mu \underline{H} & [\text{Vs/m}^2 = \text{T}] \\ \underline{D} &= \epsilon \underline{E} & [\text{C/m}^2] \end{aligned} \quad (2)$$

con:

ρ = densidad de carga
 κ = conductividad eléctrica

Para el aire vale:

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ [F/m]} \\ \mu_0 &= 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ [H/m]} \end{aligned}$$

Con unidades antiguas se utiliza la equivalencia: 1 Gauss = 100 μT

Estas ecuaciones deben ser resueltas con sus correspondientes condiciones de frontera, en la mayor parte de los casos prácticos se debe recurrir a algún método numérico diferencial o integral (Elementos Finitos, Diferencias Finitas, Simulación de Carga, Elementos de Borde).

Efectos biológicos

Aplicando las ecuaciones de Maxwell es fácil comprobar que los campos de frecuencia industrial provocan la inducción de corrientes eléctricas en el interior del cuerpo humano. En el caso del campo eléctrico esas corrientes son consecuencia del término imaginario del segundo miembro de la (1c), mientras que con campo magnético son la consecuencia de la fuerza electromotriz inducida por la variación temporal del campo magnético (1a) en presencia de la conductividad κ de los tejidos.

La tabla II muestra algunos ejemplos de conductividad en tejidos y órganos [3]. El término $\omega \epsilon$ es inferior a 10^{-3} [S/m] en todos los casos de interés práctico, por lo que resulta suficiente utilizar las ecuaciones de campos desacoplados para el cálculo de las corrientes inducidas en el interior del organismo.

Tabla II

Tejido/órgano	κ [S/m]
Sangre	0,7
Músculos	0,1
Huesos	0,01
Corazón	0,7
Cerebro	0,7
Cabeza	0,05
Brazos	0,1
Tórax	0,01

Mediante la simulación tridimensional [4] se ha determinado que un campo magnético ambiental de 1500 μT genera densidades de corriente internas inferiores a 10 mA/m^2 , mientras que los campos eléctricos ambientales de 10 kV/m inducen densidades internas de 1 mA/m^2 , debido al efecto de blindaje

de piel y músculos. Comparando con los valores de las tablas IV y V se observa que el margen de seguridad que adoptan las normas es bien elevado.

Diversos estudios [5], [6] han mostrado que globalmente las densidades de corriente afectan a una persona con los efectos indicados en la tabla III.

Tabla III

Densidad de corriente [mA/m^2]	Efectos inmediatos
< 1	Ausencia de efectos
1-10	Sensaciones menores
10-100	Efectos sobre la visión y el sistema nervioso
100-1000	Contracciones, excitabilidad, estimulación peligrosa
> 1000	Fibrilación ventricular y extrasístole

Por este motivo se acepta que el valor límite no debe superar los 100 mA/m^2 , que el valor admisible sobre una persona es 10 veces menor (10 mA/m^2) y que el valor límite básico para el público sea 2 mA/m^2 . Las normas actuales se basan sobre este concepto.

Efectos inmediatos y normativa

Los campos de frecuencia industrial inducen corrientes en el cuerpo humano, especialmente el campo magnético. El Comité Internacional de Radiaciones No-ionizantes [5] estableció como criterio de base que el límite de las densidades de corriente inducidas en la cabeza y el tronco por la exposición permanente a los campos eléctricos y magnéticos de 50/60Hz no deben ser superiores a 10 mA/m^2 , valor acorde con las densidades generadas naturalmente por los campos endógenos del organismo. Los valores eficaces admisibles resultantes se indican en la tabla IV [5].

Tabla IV

Características de exposición	Campo eléctrico E [kV/m]	Campo magnético B [μT]
Operarios, durante 8 hs por día	10	500
Operarios, durante tiempos inferiores a 2 hs por día	30	5000
Público, hasta 24 hs por día	5	100
Público, pocas horas por día	10	1000

Otros organismos, recomiendan valores algo diferentes (ver tabla V), en la Argentina la Secretaría de Energía de la Nación [7] exige valores límites verificados a 1 m sobre el nivel del suelo.

En algunos países europeos, para las instalaciones de nuevas líneas aéreas, estaciones transformadoras y cables subterráneos, se ha introducido recientemente el principio de precaución en la normativa, de manera que, además del “valor de exposición límite” (a) basado en el principio de causalidad por los efectos inmediatos, se especifican el “valor de precaución” (b) y el “valor objetivo calidad” (c), ambos como valores medios diarios.

Tabla V

País	Valor límite para el público E [kV/m]	Valor límite para el público B [μ T]
[7] Argentina	3 ^(a)	25 ^(a)
[8] Europa	10 ^(a)	640 ^(a)
[9] Alemania	5 ^(a)	100 ^(a)
[10] Suiza	5 ^(a)	100 ^(a) / 1 ^(b)
[11] Italia	5 ^(a)	100 ^(a) / 10 ^(b) / 3 ^(c)

En el caso italiano, existen tres regiones (Véneto, Emilia-Romagna y Abruzzo) cuya legislación persigue como objetivo de calidad para obras nuevas el valor de 0,2 μ T. Los valores propuestos en las normativas más recientes muestran la tendencia del público europeo a no aceptar supuestos riesgos adicionales en nuevos electroductos y la predisposición a pagar el costo que implica una fuerte reducción de los campos externos. Sin embargo para evaluar las ventajas y el realismo de estos valores, se los debe comparar con los campos existentes en el interior de los hogares (tabla VI), que resultan similares en intensidad.

A efectos meramente comparativos se señala que para altas frecuencias (>10 MHz) el criterio para limitar la exposición al campo electromagnético es completamente diferente: el efecto está ligado a la energía aportada al interior del sistema biológico, que se manifiesta por la elevación de temperatura. Con este criterio se ha establecido el SAR (Specific Absorption Rate) y su valor admisible máximo para el público:

$$\text{SAR} = [E]^2 \kappa / \delta^* < 0,08 \quad [\text{W/kg}] \quad (3)$$

siendo δ^* la densidad del medio [kg/m^3].

Campos generados por instalaciones y dispositivos

Analizaremos brevemente los valores de campos generados por las instalaciones de transmisión y de distribución de la energía eléctrica, así como por los electrodomésticos típicos de un hogar moderno.

En una instalación eléctrica la distribución y la intensidad de los campos dependen de distintos factores:

Campo eléctrico: tensión del sistema, geometría de los conductores, dimensiones del

equipamiento, proximidad del plano de tierra, distancia a otras fases o a otras ternas.

Campo magnético: intensidad de corriente, distancia a otras fases o a otras ternas, proximidad de elementos ferromagnéticos, blindaje de otros conductores, presencia de armónicas en la corriente eléctrica.

Las figuras 2 y 3 [2] muestran esquemas indicativos de los valores de campos generados por diversos tipos de fuentes a diferentes distancias. La tabla VI ilustra sobre los valores del campo magnético, expresados en [μ T], creados por algunos electrodomésticos. Se debe tener presente que el campo resultante sobre las personas incluye la contribución de cada fuente individual.

Se observa que en muchos casos las instalaciones domésticas generan campos magnéticos que exponen a las personas a valores y períodos superiores que las instalaciones del servicio público.

Fig. 2 Campo eléctrico producido por líneas de transmisión (A), líneas de distribución (B) e instalaciones domésticas (C)

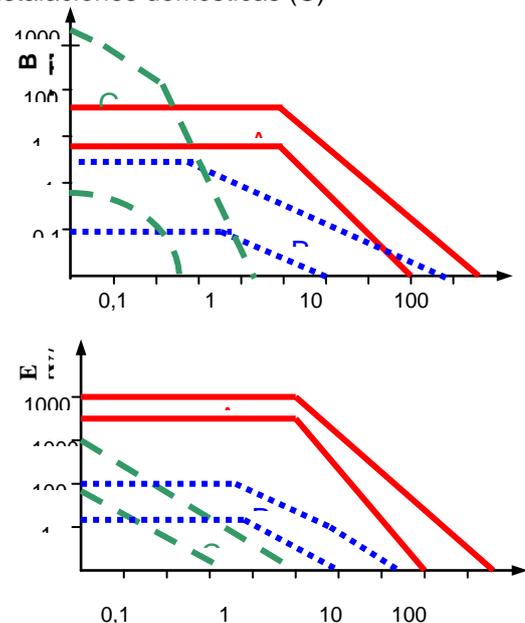


Fig. 3 Campo magnético producido por líneas de transmisión (A), líneas de distribución (B) e instalaciones domésticas (C)

Como las instalaciones de transmisión y de distribución se encuentran normalmente alejadas de los lugares de permanencia de las personas, no así las domésticas, la exposición a los valores de campo magnético sospechados peligrosos por sus efectos mediatos ($\sim 0,3 \mu$ T) es generalmente más frecuente con las fuentes electrodomésticas.

Tabla VI

Distancia a la fuente	15 cm	30cm	1,2 m
Plancha	0,8	0,1	
Pantalla PC	1,4	0,3	0,1
TV color		0,5	0,15
Radio reloj	3,5	0,5	0,15
Tubos fluorescentes (2x40W)	6	1,5	0,3
Foco incandescente (60W)	0,2	0,15	0,1
Lámpara bajo consumo (20W)	0,25	0,2	0,1
Calefactor cuarzo	10	2	
Licudadora	10	1	
Taladro	15	3	
Horno microondas	15	4	0,8
Secador de cabellos	30	0,1	
Aspiradora	30	6	0,1
Fotocopiadora	90	20	1
Afeitadora	800 (1cm)		

Efectos mediatos

Los efectos de largo plazo, de carácter irreversible, con exposiciones del orden del μT son todavía un tema de controversias. El debate se inicia en 1979 con una encuesta sobre los decesos de niños en Denver, USA; las conclusiones sugerían un riesgo de cáncer en los niños que habitaban en proximidades de líneas de alta tensión, pero un análisis crítico de los datos mostraron que también existían rutas con gran circulación. Desde entonces se publicaron más de cien estudios epidemiológicos que no aportaron una respuesta indiscutida al problema.

Se trata de evaluar si los campos magnéticos constituyen un factor de riesgo sanitario induciendo o favoreciendo la aparición de cáncer o de deficiencias en la función reproductora humana. Como no es posible, por razones éticas, experimentar sobre las personas, el estudio de los efectos sospechados se debe remitir a la epidemiología, la experimentación en animales ("in vivo") o la experimentación en tejidos vivos ("in vitro"). Los resultados obtenidos hasta el presente no resultaron repetibles y algunos son incluso contradictorios.

Como se ha señalado en el Vocabulario, la epidemiología no permite establecer relaciones de causalidad (sólo muestra asociaciones o correlaciones, es decir relaciones de coincidencia entre factores de riesgo y una enfermedad),

porque se limita a observar sin intervenir sobre los procesos. Los resultados de un estudio epidemiológico no constituyen pruebas, sino que sugieren asociaciones o aportan indicios útiles para un posterior estudio de causalidad.

En la práctica, la epidemiología calcula el riesgo relativo R_r a partir del número de sujetos enfermos N_e en una población expuesta al supuesto agente tóxico de N_{et} miembros, y el número de sujetos con igual afección N_n en otra población no expuesta de N_{nt} miembros:

$$R_r = N_e \cdot N_{nt} / N_{et} \cdot N_n \quad (4)$$

De esta manera se ha establecido el riesgo relativo de contraer cáncer de pulmón en personas expuestas al humo del tabaco (oscila entre 7 y 25 según la edad y el consumo), cáncer de pulmón en trabajadores del amianto (~30) y cáncer de vejiga en los obreros del caucho (~20). En el caso de la exposición a los campos magnéticos débiles se han realizado numerosos estudios epidemiológicos que presentan riesgos relativos comprendidos entre 0,8 y 3, como se muestra en las figuras 4, 5 y 6 [12], [13], [14]. Estos valores se encuentran en los límites estadísticos de la metodología y son sensiblemente inferiores a los casos mencionados donde una investigación clínica o biológica ha demostrado una relación de causalidad. En muchos casos estudiados, la presencia de factores secundarios como la exposición a otros agentes tóxicos, no siempre ha sido adecuadamente evaluada, lo que debilita las conclusiones. Es innegable la dificultad de controlar durante varios años la exposición de las personas a campos magnéticos del orden del μT , así como descartar la exposición a distintos agentes cancerígenos asociada a sensibilidades genéticas. Cuando los resultados de un estudio muestran cierto significado estadístico, no son repetibles; por ejemplo para dos estudios [13],[14] bien controlados realizados sobre grandes poblaciones profesionales (220 000 y 140 000 personas), de la figura 4 se deduce que el estudio de Thériault que muestra una correlación destacada para un tipo de leucemia (sin embargo los casos están concentrados en una sola de las empresas, lo que hace suponer la presencia de un factor secundario oculto) no coincide con el resultado de Savitz, quien detecta una correlación para el cáncer de cerebro pero no para la leucemia. Ante la dispersión y el limitado significado estadístico de los resultados epidemiológicos no es posible concluir si los campos magnéticos son cancerígenos y se imponen estudios biológicos para evaluar una eventual relación de causalidad.

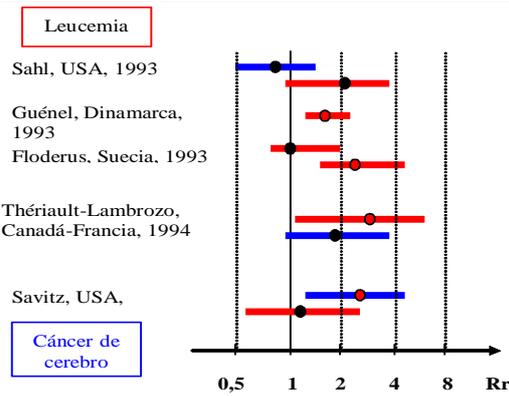


Fig. 4 Riesgo relativo de operarios electricistas expuestos a $\sim 3\mu T$. La barra indica el intervalo de confianza.

Los estudios realizados in vitro e in vivo [15, 16] son concluyentes respecto a que los campos de bajo nivel no pueden iniciar un cáncer y no muestran evidencias adecuadas de que puedan favorecer el desarrollo de enfermedades cancerígenas. El supuesto efecto favorecedor en ratas no ha podido ser reproducido sistemáticamente, ni tampoco la supresión nocturna de los picos de melatonina o una modificación de la respuesta inmunitaria. En su momento generó muchas expectativas la investigación sobre la interacción del campo con sustancias ferromagnéticas presentes en los tejidos biológicos [17], pero no se encontraron evidencias de algún efecto patógeno.

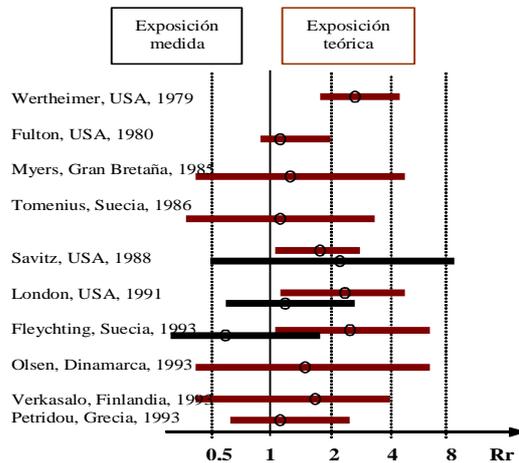


Fig. 5 Riesgo relativo de leucemia en niños expuestos a $\sim 0,3\mu T$.

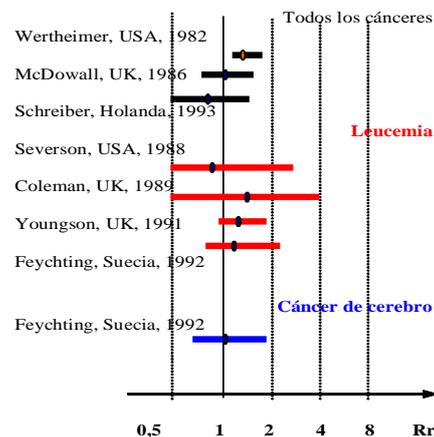


Fig. 6 Riesgo relativo sobre adultos residentes cerca de líneas de alta tensión ($\sim 0,3\mu T$)

Conclusiones

Para evitar los efectos inmediatos sobre las personas los campos eléctricos y magnéticos deben ser limitados a los *valores especificados por las normas*. En base al mejor conocimiento adquirido sobre la exposición de los operarios durante los trabajos en tensión en los sistemas de transmisión, en muchos casos es necesario actualizar los procedimientos operativos.

Respecto a los efectos mediatos, algunos estudios epidemiológicos evidencian una *limitada correlación* entre la exposición prolongada a campos magnéticos débiles y un tipo de leucemia. Sin embargo los estudios epidemiológicos parecen haber alcanzado sus límites metodológicos y requieren el soporte de pruebas de tipo biológico. Para los campos eléctricos no existen evidencias de cualquier tipo.

Debe señalarse claramente que no existen pruebas físicas, químicas, biológicas o clínicas que demuestren una relación de *causalidad* entre la exposición a campos eléctricos y/o magnéticos débiles y las enfermedades en personas o animales.

La Organización Mundial de la Salud ha considerado inadecuadas las evidencias de un efecto cancerígeno (o patógeno) de los campos. En base a los estudios existentes hasta el año 2001, la OMS considera que los campos electromagnéticos de baja frecuencia deben ser clasificados como:

- *posibles cancerígenos* en humanos, en base a una asociación estadística entre altas exposiciones residenciales a los campos magnéticos y un incremento en el riesgo de leucemias infantiles;

• no pueden ser clasificados ni como *cancerígenos* ni como *probables cancerígenos* en humanos, en base a la ausencia de evidencias físico-químicas, biológicas o clínicas adecuadas. Quizás las dificultades para demostrar los efectos patógenos de la exposición a campos débiles derivan de que realmente no existen. Sin embargo, la ausencia de una demostración definitiva de la inocuidad de los campos magnéticos de baja intensidad, hace prudente la adopción del *principio de precaución*, por lo que el campo debería ser mitigado lo máximo que resulte técnica y económicamente posible.

Referencias

- [1] **Fews A., et al.** (1999) "Corona ions from powerlines and increased exposure to pollutant aerosols", *International Journal of Radiation Biology*, 75, pp.1523-1531.
- [2] **Morgan G.** (1989) *Electric and Magnetic Fields from 60 Hz Electric Power*, Brochure Carnegie Mellon University.
- [3] **Carstensen L.** Ed. (1987) *Biological Effects of Transmission Line Fields*, Elsevier Pub.
- [4] **Baraton Ph., Hutzler B.** (1994) *Current densities within the body during a 50 Hz magnetic field exposure*, 94NV00018, DER-EDF.
- [5] **IRPA/INIRC**, (1990) "Guidelines on limits of exposure to 50/60Hz electric and magnetical fields", *Health Physics*, vol.58, pp.113-122.
- [6] **World Health Organization**, (1987) *Environmental Health Criteria 69: Magnetic Fields*, WHO.
- [7] **Secretaría de Energía de la Nación.** (1998) *Resolución Nro. 77*.
- [8] **Comité Europeo de Normalización Electrotécnica** (1994) *Human Exposure to EM Fields Low-frequency (0-10kHz)*, CENELEC.
- [9] **Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes** (1998) (26.BImSchV), Alemania.
- [10] **Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung** (1999) (NISV), Suiza.
- [11] **Legge 36/2001** (2003) *Dto. Pte. Cglio. 8/7/2003*, Italia.
- [12] **Perry T.** (1994) "Today's view of magnetic fields", *IEEE Spectrum*, Vol.31, N° 12.
- [13] **Thériault G. et al.** (1994) *American journal of Epidemiology*, Vol. 139, pp.550-572.
- [14] **Savitz D. et al.** (1995) *American Journal of Epidemiology*, Vol. 141, pp.123-134.
- [15] **Barker T.** (1995) "The possible biological effects of low-frequency electromagnetic fields", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 11.
- [16] **World Health Organization** (2001) "Static and extremely low-frequency electric and magnetic fields", *International Agency for Research on Cancer*, vol. 80.
- [17] **Kirschvink, J.L. et al.** (1992) "Magnetite biomineralization in the human brain", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.89.

Artículo Presentado en CIDEL 2006 (Congreso Internacional de Distribución Eléctrica, 27-29 Noviembre 2006, Buenos Aires).

Ricardo R. Díaz

En 1980 completó los estudios en Ingeniería Eléctrica (Or.Industrial) en la Universidad Nacional de Tucumán. En 1982 obtuvo el diploma de Dottore in Ingegneria delle Alte Tensioni en la Universidad de Padua, Italia. Becario del Ministerio de Relaciones Exteriores de Italia. Hasta 1985 se desempeñó como investigador en el Laboratoire d'Essais à Haute Tension de la Direction des Etudes et Recherches de Electricité de France, donde realizó trabajos de investigación y de ingeniería sobre la aislación entre fases en sistemas de transmisión de energía eléctrica en muy alta tensión (EHV y UHV). Hasta 1988 se desempeñó como docente (áreas electrónica y electrotecnia) de la Academia de Bordeaux e investigador asociado en la Université de Pau, Francia, donde efectuó trabajos de investigación sobre las propiedades aislantes del aire y del hexafluoruro de azufre, para el equipamiento de muy alta tensión, con el Laboratoire d'Electricité de esa Universidad. Durante 1987 fue profesor (área electrotecnia) en el Conservatoire National des Arts et Métiers, Francia. En 1988 recibió el premio "The Science, Education and Technology Division Premium, 1986/87" de The Institution of Electrical Engineers, Gran Bretaña, por investigaciones con el Groupe des Renardières. Areas de interés científico: descargas eléctricas en gases y sólidos, mediciones en altas tensiones, cálculo numérico de campos electromagnéticos. Actualmente se desempeña como Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT en la cátedra de Altas Tensiones y Transmisión de Energía Eléctrica, Director del Laboratorio de Alta Tensión e Investigador del CONICET.

Laboratorio de Alta Tensión – Universidad Nacional del Tucumán. Av. Independencia 1800 - (4000) S.M. de Tucumán. Tel./Fax: (0381) 4361784.

rdiaz@herrera.unt.edu.ar
