

EFFECTOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNETICOS DE EXTREMADAMENTE BAJA FRECUENCIA

Javier Maldonado González
Isabel Lanchas Alfonso

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías,
MADRID-INSHT.

Introducción

Desde el descubrimiento de los efectos perjudiciales para la salud causados por los Rayos X, el estudio de los Riesgos producidos por las Radiaciones electromagnéticas (Ionizantes y No Ionizantes) ha sido siempre motivo de grandes controversias.

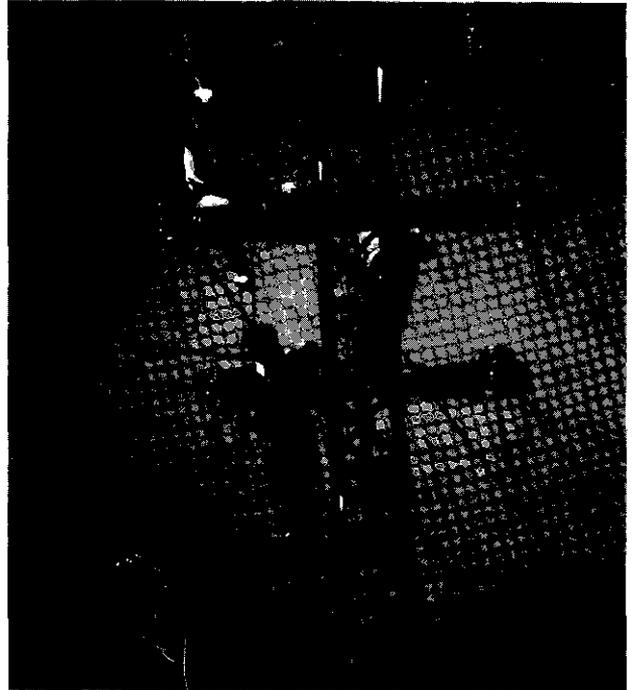
Tras la unanimidad en el reconocimiento de las lesiones asociadas a la exposición a Radiaciones Ionizantes, se demostró posteriormente que otras regiones del espectro electromagnético de menor frecuencia y menor energía por fotón (Radiaciones Ultravioleta, Visible e Infrarroja) podrían producir también lesiones térmicas y/o fotoquímicas en los tejidos biológicos. En la década de los 60, a partir de las investigaciones desarrolladas en la Europa Oriental, se describen también en trabajadores expuestos a Microondas y Radiofrecuencias una serie de trastornos de etiología térmica y no térmica, consecuencia de la exposición. La cuestión planteada actualmente, y que abordaremos en nuestro estudio, es si los Campos Electromagnéticos de baja frecuencia, comprendidos en la región del espectro electromagnético de menor energía por fotón, pueden constituir también un riesgo para la salud.

Desde hace tiempo se está estudiando acerca de los mecanismos de interacción y sobre los efectos que los campos electromagnéticos (C.E.M.) ejercen en los organismos vivos.

Como hemos comentado ya, las posturas adoptadas por los diferentes especialistas en la materia, en cuanto a la magnitud y tipo de efectos son, a veces, contradictorias.

El gran interés que ha tomado este posible Riesgo viene dado por el enorme desarrollo, en los últimos años, de la tecnología de sistemas de comunicación, como son la radio, TV, radar, líneas telefónicas, satélites, etc., que ha dado lugar a la llamada «polución electromagnética». Además la posibilidad de efectos biológicos atribuidos a los C.E.M. constituye el centro de un debate relacionado con la protección de salud medio-ambiental y laboral, lo que ha creado una opinión generalizada sobre la necesidad de progresar en las investigaciones científicas sobre este tema.

El objeto de este trabajo es hacer una breve revisión sobre los efectos biológicos producidos por las Radiaciones No Ionizantes situadas en la región del espectro con poder energético menor, que se corresponde con las bandas del espectro electromagnético de baja frecuencia, incluyendo las denominadas por la A.C.G.I.H., Radiofrecuencias de muy baja o extremadamente baja frecuencia (menores de 30 KHz).



Conceptos fundamentales

Sin entrar en profundidad en materia desde el punto de vista físico, sí que es conveniente tener una idea de lo que representa un C.E.M.

Los fenómenos magnéticos se deben a fuerzas originadas por cargas eléctricas en movimiento, es decir, toda carga además de crear un campo eléctrico dado por la Ley de Coulomb, cuando se desplaza origina en el espacio que le rodea una nueva perturbación que constituye un campo magnético. Por lo tanto, la existencia de un campo magnético, siempre implica la existencia de un campo eléctrico; y la existencia de un campo eléctrico suele implicar la existencia de un campo magnético. Por esta razón se suele hablar de C.E.M.

La fuerza que el campo magnético ejerce sobre una carga (q) en movimiento, con una velocidad (v), dentro de un campo magnético de intensidad (B), viene dada por la fuerza de Lorentz

$$\vec{F} = q [\vec{v} \times \vec{B}].$$

Cuando un conductor en movimiento está sometido a la acción de un campo magnético, éste produce una corriente inducida en dicho conductor. La dirección de la corriente inducida es tal que por sus efectos electromagnéticos se opone a la variación del flujo que la produce, si éste es creciente. En cambio, si el campo original es decreciente, la dirección de la corriente inducida es en el mismo sentido (Ley de Lenz).

Los campos magnéticos variables con el tiempo pueden inducir campos eléctricos. Las corrientes inducidas tienden a oponerse a la variación del flujo que las origina; por esta razón si un cuerpo metálico se mueve en un campo magnético o se encuentra fijo en un campo variable, se engendrarán en su interior corrientes en torbellino, llamadas de Foucault, que reaccionando con el campo que las induce tenderán a oponerse a la variación del flujo en el interior del metal. Puede ocurrir que aunque las fuerzas electromotrices inducidas sean pequeñas, las corrientes turbillonarias pueden ser muy intensas, ya que la resistencia óhmica del metal es muy pequeña o casi nula.

Mecanismos de interacción

Al intentar explicar los distintos mecanismos de interacción, los diversos autores sí que están de acuerdo en hablar, de una parte, de mecanismos de actuación debidos a C.E.M. estáticos y, por otra, los referidos a C.E.M. variables con el tiempo.

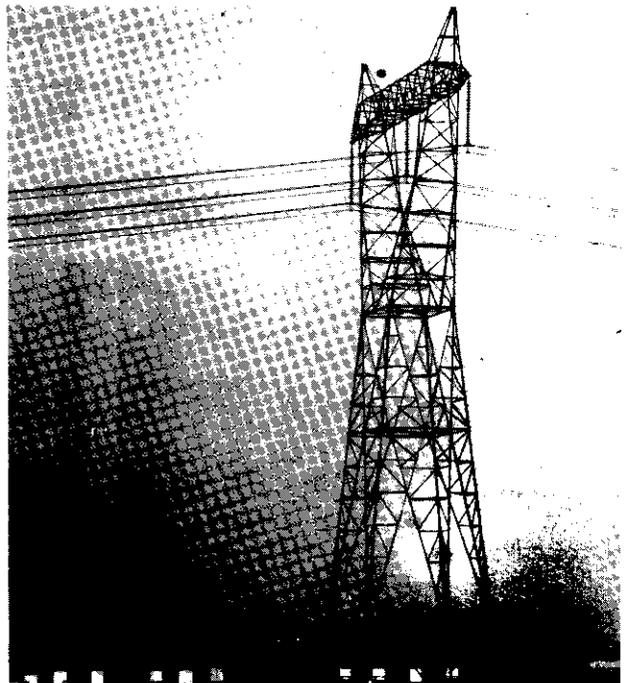
Cuando el organismo se somete a un C.E.M. lo que está claro es que los efectos son secundarios fundamentalmente a la creación de campos magnéticos y corrientes eléctricas producidas en el interior del organismo; además en C.E.M. variables tiene importancia el gradiente o la velocidad del cambio. En objetos sometidos a un campo magnético variable se inducen corrientes con voltajes dependientes de la velocidad de cambio. Estas corrientes pueden generar efectos térmicos cuando se usan a potencias elevadas.

Siguiendo a Czerski, cuando un cuerpo es sometido a un C.E.M. estático podemos distinguir fundamentalmente tres formas de interacción:

a) Efectos electrodinámico y magnetohidrodinámico.

Cuando un fluido ionizado, que fluye a lo largo de un vaso, está sometido a la presencia de un campo magnético estático, éste ejerce sobre él una fuerza, que viene dada por la Ley de Lorentz.

El efecto magnetohidrodinámico hace referencia a que la dirección de la corriente inducida del fluido ionizado en presencia de un campo magnético estático, es tal que, por sus efectos electromagnéticos, se opone a la variación del flujo que la produce; por tanto, se produce un retardo en la velocidad del fluido.



b) Efecto magnetomecánico.

Se refiere a los cambios producidos en la orientación y posición de las biomoléculas al estar sometidas a la presencia de un campo magnético.

Debido a que la cantidad de material magnético en las biomoléculas del organismo humano es limitada, la influencia de este efecto sobre las funciones biológicas es despreciable.

c) Interacciones a nivel atómico y nuclear.

A este nivel cabe incluir los efectos por interacción electrónica sobre el spin de los electrones.

Un mecanismo propuesto por Blackman et al (1985) y posteriormente estudiado por otros investigadores, Azanza, del Moral, están poniendo de manifiesto que el efecto primario de los C.E.M. es la modificación ejercida por éstos en la cinética del calcio, fundamentalmente estudiado a nivel de la membrana neuronal.

El cuerpo humano se puede considerar como un material con una determinada naturaleza eléctrica y magnética. Dada la complejidad de la composición del organismo huma-

no, así como la existencia de otros factores que influyen en la interacción de los C.E.M. -organismos vivos será difícil fijar unos patrones estrictos que reflejen el comportamiento de dicha interacción.

Básicamente algo más del 75% de la composición del cuerpo humano es agua con electrolitos disueltos en ella, lo que confiere buenas propiedades conductoras al organismo; el 25% restante está compuesto por proteínas, hidratos de carbono y lípidos que proporcionan las características dieléctricas. A efectos prácticos se considera el cuerpo humano como un anisótropo desde el punto de vista eléctrico y como un buen conductor en su conjunto, por tanto, en presencia de un campo eléctrico la polarización producida por este campo es variable en las distintas zonas del organismo.

El organismo vivo desde el punto de vista magnético puede considerarse homogéneo en ausencia de campo magnético externo.

Con exclusión de muy pocos tejidos que contienen magnetita, el organismo vivo no contiene materiales magnéticos, y por ello sus propiedades magnéticas se pueden considerar prácticamente las del aire. Por tanto, en presencia de un campo magnético externo casi no se producirá perturbación alguna en dicho campo.

Otros factores que influyen en la interacción de los C.E.M. con el cuerpo humano y contribuyen a aumentar la complejidad del problema son: movimiento de fluidos en el interior del organismo, situación del individuo con respecto al campo, desplazamiento del individuo en el interior del campo, edad, sexo, estado de salud previo, susceptibilidad individual, factores ambientales (calor, temperatura, ruido, vibraciones, influencia del campo magnético terrestre), y parámetros de exposición (amplitud y frecuencia de la onda electromagnética, intensidad de campo, corrientes inducidas en el organismo, tiempo de exposición, períodos de descanso...).



Como resumen, podemos decir que en la zona del espectro electromagnético, correspondiente a frecuencias extremadamente bajas, la energía que poseen estos campos es insuficiente para producir cambios a nivel electrónico, vibracional o rotacional.

Es el movimiento de cargas y corrientes el origen de los efectos biológicos y bioquímicos que representan los posibles riesgos para la salud, aunque todavía los mecanismos íntimos de la interacción con los sistemas biomoleculares y tejidos no están completamente aclarados.

Estudios experimentales

Los efectos que los C.E.M. ejercen en sistemas «in vitro» han sido estudiados en diversos laboratorios. Las ventajas que poseen estos estudios son las de poder usar una muestra de gran tamaño, posibilidad de tener un control elevado sobre las variables experimentales, así como poder efectuar una observación más directa sobre los posibles mecanismos de interacción.

Entre las desventajas que conllevan los estudios in vitro están las referentes a la dosimetría y extrapolación de datos.

En cuanto a la experimentación animal, cabe señalar que los resultados no son extrapolables al hombre, en cuanto que la creación de campos magnéticos y corrientes eléctricas producidas en el interior del organismo varían según tamaño, forma y orientación del cuerpo. Así mismo hay que tener en cuenta otros factores como son: desplazamientos del individuo en el interior del campo, susceptibilidad individual, estado de salud previo, edad, sexo, factores ambientales, etc. En resumen podemos decir que los datos experimentales no reflejan las condiciones en las que se produce la exposición laboral.

Vamos a exponer un breve resumen sobre resultados de estudios experimentales de C.E.M. y efectos biológicos; y que de una forma didáctica los podemos agrupar en:

- Efectos en el sistema cardiovascular.
- Estudios en el sistema nervioso y cambios en el comportamiento.
- Efectos en la reproducción y el desarrollo.
- Efectos sobre la carcinogénesis.
- Efectos sobre el sistema hematopoyético e inmunológico.
- Efectos sobre el sistema endocrino.

a) Efectos en el sistema cardiovascular

Los resultados experimentales en este campo son a veces contradictorios.

Algunos autores señalan una disminución en la fracción de eyección y en la presión arterial, mientras que otros han evidenciado un aumento de presión arterial en animales expuestos a C.E.M.

Varios autores, entre los que destacamos a Miller, Easterley, ponen en evidencia alteraciones en el E.C.G., a nivel de la onda T en presencia de C.E.M. estáticos por superposición de un potencial inducido por los C.E.M. asociado con el flujo aórtico.

Cuando un fluido ionizado en movimiento está sometido a un C.E.M.; se genera un voltaje «magnetohidrodinámico» (MHD) proporcional al diámetro del vaso, a la velocidad del fluido y a la fuerza del campo magnético.

El movimiento de este fluido puede retardarse debido a la influencia ejercida por el C.E.M., (según Ley de Lenz vista anteriormente).

Como consecuencia de esta disminución de la velocidad, aplicando el principio fundamental de Bernoulli y teniendo en cuenta la influencia del C.E.M., se obtiene una expresión (ecuación nº 1) que relaciona las variaciones de presión, en función de la densidad del flujo magnético, diámetro de vaso y la viscosidad del fluido. Además, de esto se deduce que el incremento de presión se observa fundamentalmente en los primeros tramos de la aorta donde el diámetro del vaso es mayor que en otras parte de su recorrido.

$$P_b = P_o \left[1 + \left(\frac{H_a^2}{4} \right) \right]$$

Ecuación 1

P_b: presión sanguínea cuando el cuerpo está sometido a un C.E.M.

P_o: presión sanguínea en ausencia de campo.

H_a: número de Hartman (definido en la ecuación 2).

$$H_a = \frac{B \cdot d}{2} (\sigma/n)^{1/2}$$

Ecuación 2

B: densidad de flujo magnético, Tesla (T).

d: diámetro del vaso, 0,016 m.

σ: conductividad eléctrica.

Los incrementos de presión sanguínea en relación con la densidad de flujo magnético, medida en Teslas (T), están recogidos en la *tabla 1*.

TABLA 1

Densidad de flujo magnético (T)	Porcentaje de elevación de la presión sanguínea
2	0.7
3	1.6
4	2.9
5	4.5
6	6.5
8	11.6
10	18.1

Algunos estudios basados en este «modelo experimental» han extrapolado resultados y han señalado la posibilidad de que se puedan producir alteraciones funcionales similares a las encontradas en la coartación aórtica.

El potencial MHD asociado con el flujo aórtico, al coincidir en el tiempo con la onda T de repolarización del E.C.G., se suman los potenciales registrándose como un aumento de la onda T (*figura 1*).

En experimentación animal se ha encontrado este hallazgo, así mismo se ha constatado que dicha alteración electrocardiográfica desaparece cuando cesa la exposición al C.E.M., y también se ha observado que el potencial MHD no influye en el automatismo cardíaco.

Será necesario concluir con estudios posteriores para predecir si este voltaje MHD puede suponer un riesgo potencial para la salud.

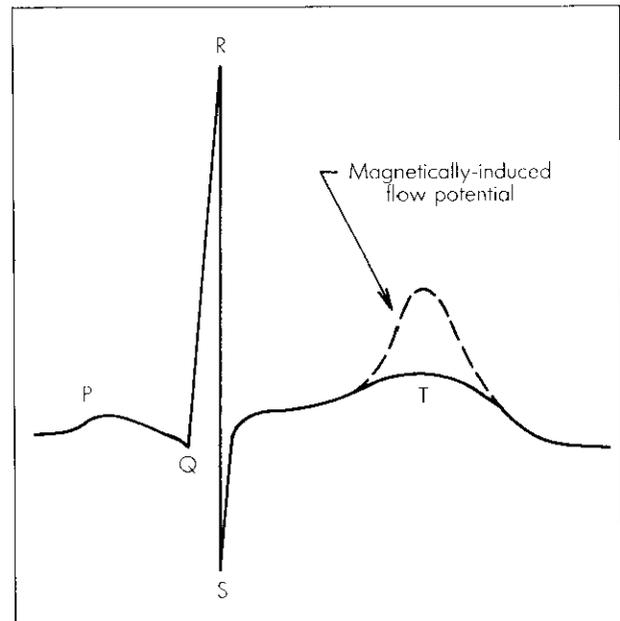


Figura 1 - ECG mostrando aumento de la onda T.

b) Estudios en el sistema nervioso y cambios en el comportamiento

- Blanchi et al (1973) encuentran alteraciones en el E.C.G. en primates expuestos durante 30 min. a 100 Kv/m en un campo eléctrico de 50 Hz.

- Gavales et al (1970) evidencian alteraciones en el E.E.G. a nivel de hipocampo, amígdala y centro mediano en monos expuestos a 7 v/m en un campo eléctrico entre 7-10 Hz.

- Hansson (1981) encuentra alteraciones en células de Purkinje del cerebelo de conejos y en las concentraciones de dos tipos de proteínas gliales, cuando están expuestos a 14 Kv/m en un campo de 80 Hz.

- Portet et al (1984), no encuentran cambios ultraestructurales en células del cerebelo ni en varias hormonas sanguíneas cuando se exponen conejos a 50 Kv/m durante 6 meses.

Otra línea de estudios experimentales, efectuados a nivel del SNC, que trata de explicar la interacción de C.E.M. en el interior de los sistemas vivos, sugiere que el sitio fundamental de la interacción es a nivel de la membrana celular, donde las modificaciones en la cinética iónica, fundamentalmente a nivel del calcio, podrían, entre otros mecanismos no descartados, explicar ciertos trastornos, Adey, 1975, 1977, 1980, 1981; Bawin et al, 1975, 1978; Blackman et al, 1979, 1982; M.J. Azanza, 1989.

Estudios sobre el comportamiento, realizados en distintas especies animales, refieren diversos umbrales de percepción, así como la posibilidad de que C.E.M. puedan alterar directamente el nivel de conducta.

- Sagan et al., (1981), describen que los umbrales de percepción del campo, en ratas, se encuentran en un rango entre 4-10 Kv/m (nivel medio 8 Kv/m).

- Rosenberg et al., (1983) describen respuestas en ratones cuando están expuestos a un campo de 35 kv/m.

- Graves, (1977) describe que en pichones la percepción del campo se encuentra entre 30-35 Kv/m.

- Hjeresen et al., (1982) describen que cerdos expuestos a un campo de 30 Kv/m a 60 Hz tienden a protegerse de dicho campo durante la nocturnidad, sin embargo, Hjeresen et al., (1980), refieren que ratas expuestas a 25 Kv/m en estado de inactividad buscan la presencia del campo.

Experimentos realizados en monos expuestos a un campo de 1-32 Hz, encuentran alteraciones en el nivel del comportamiento. Gavalas et al., (1970); Gavalas-Medici and Day-Magdalen, (1976).

Otros autores como De Lorge (1973), Le Bars et al (1983) y Bankoske et al (1976) no obtienen alteraciones del comportamiento en los distintos experimentos realizados.

c) Efectos en la reproducción y el desarrollo

También en este apartado existe controversia en cuanto a resultados obtenidos. Diversos autores no han encontrado alteraciones en el crecimiento y desarrollo en experimentación animal.

Sin embargo, otros autores sí que obtienen resultados positivos.

- Phillips et al (1981), y Phillips (1983) describen un aumento en el índice de malformaciones fetales en la segunda generación de cerdos, cuando son expuestos a campos eléctricos de 30 Kv/m durante 18 meses.

- Marino et al (1976) refieren disminución del peso corporal en ratones expuestos a 0.1 Kv/m a 45 Hz.

- Noval et al, (1977), refieren alteraciones en el crecimiento de ratas expuestas a 0.1 Kv/m a 45 Hz.

- Carretelli et al, (1979) y Conti et al, (1981), señalan tasas de crecimiento retardado en ratas expuestas a 25 Kv/m a 60 Hz.

Asimismo una serie de estudios «in vivo» e «in vitro» han señalado la influencia de C.E.M. en procesos de crecimiento y regeneración en diversos tejidos. A este respecto, cabe mencionar la aplicación terapéutica de C.E.M. fundamentalmente en reparación de fracturas óseas.

Investigadores del Centro Ramón y Cajal: Delgado y cols., (1982), Ubeda y cols., (1983), han descrito anomalías en el desarrollo, sobre todo a nivel del SNC en embriones de pollo expuestos a débiles campos magnéticos para distintas densidades de flujo y frecuencia (fundamentalmente 1.0 y 1.2 μ T a 100 y 1000 Hz), así mismo describen que el tipo de onda es un parámetro significativo en este estudio, ondas cuadradas pulsadas a 200 Hz presentaban una mayor asociación con los efectos.

- Chacon y cols., (1988), han descrito detenciones al inicio del desarrollo embrionario de pollos, cuando han sido expuestos a campos pulsados de 30 Hz.

- Tofani et al., (1986), describen en ratas una disminución en las tasas de implantación uterina así como menor peso al nacimiento y un aumento anormal de la osificación de los huesos del cráneo, cuando eran expuestas de una forma crónica a 27.12 Mhz (SAR estimado de 0.1 mW/cm). Comparan resulta-

dos con los obtenidos por otros autores y concluyen la posibilidad de que existan «frecuencias específicas» para determinados efectos.

- J. Juutilainen et cols. (1987), concluyen en sus experimentos realizados con embriones de pollo que campos magnéticos a 50 Hz pueden causar anomalías en el desarrollo con un umbral estimulado de 0.9-1 A/m.

d) Efectos sobre la carcinogénesis

Entre los autores que aportan resultados negativos, podemos citar a: Phillips et al, (1979); Frazier et al, (1982); Mateo et al, (1985); Walters et al, (1987).

Cabe mencionar otros estudios en los que se aportan diversos hallazgos:

- Diversos trabajos experimentales realizados en *Drosophila* efectuados entre otros por: Coate and Negerbon, (1970); Sikov et al, (1982); Nordstrom et al, (1983); Ramírez et al, (1983); sugieren la posibilidad de efectos mutagénicos.

- Monteagudo y cols. han abordado también el estudio del efecto mutagénico en *Drosophila* expuesta a campos eléctricos y magnéticos para unas frecuencias determinadas y con una intensidad de campo de 5 Kv/m. Los resultados demuestran que no se puede excluir la existencia de un efecto mutagénico. El aumento del índice de mutación estimado es de 0.10% duplicando el valor control.

Cabe referenciar los trabajos de Liboff (1984) que ha encontrado un aumento en la síntesis del DNA en cultivos de fibroblastos humanos, señalando asimismo la posible respuesta mutagénica que podría acompañar a este fenómeno.

Otras investigaciones del laboratorio han señalado la acción potencial de los C.E.M. como causa o potenciación en el crecimiento de células tumorales. Fukada et al., (1981) han detectado un aumento en la velocidad de crecimiento del osteosarcoma en presencia del campo eléctrico, de la misma manera Becker, (1981) observó el fenómeno en fibrosarcoma humano.

Akamine, (1985) ha evidenciado en células carcinoma-tosas un incremento en las características de malignidad.

Asimismo señalar que otros estudios manifiestan un retardo o inhibición en el desarrollo de células tumorales; en este sentido algunos investigadores sugieren la posibilidad de que la magnetoterapia pudiese tener aplicaciones importantes en enfermedades malignas.

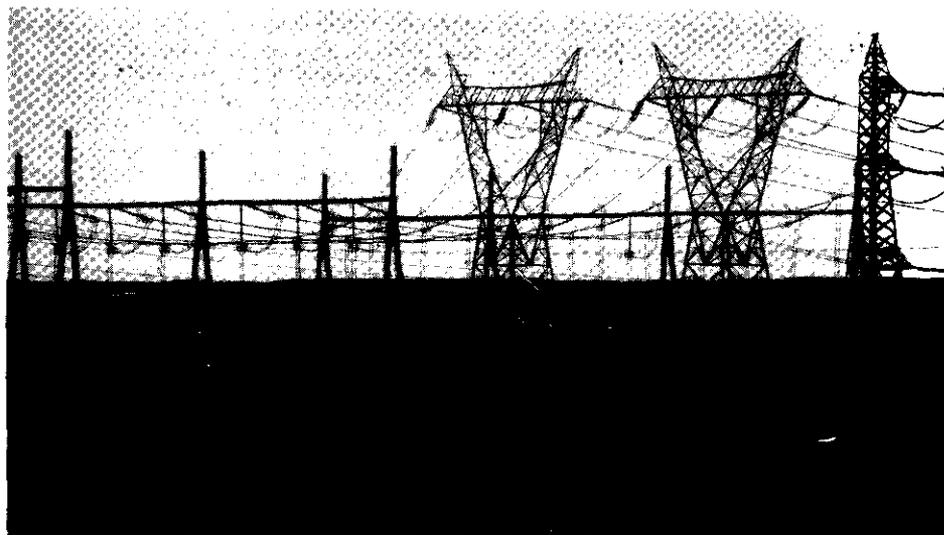


e) Efectos sobre el sistema hematopoyético e inmunológico

Diversos autores: Bianchi et al, (1973); Le Bars and Andre, (1976); Graves et al, (1979); Ragan et al, (1983); describen variaciones en el recuento de neutrófilos, distribución alterada de leucocitos con recuento periférico dentro de los valores normales; así como la posibilidad de alteraciones a nivel de trombocitos y reticulocitos. No pueden concluir si la interacción es directamente a nivel de tejido hematopoyético, o la respuesta es por vía central secundaria a una situación de estrés.

Winters et al, (1986), no encuentran efectos inmunológicos en linfocitos «in vitro» cuando son expuestos a un campo sinusoidal magnético de 60 Hz a 1, 10 y 100 mT; o a un campo eléctrico de 3, 30 y 300 m A/m².

Otro trabajo reciente realizado por Adey (1988) constata una disminución de la capacidad de linfocitos T alógenicos para lisar cultivos de células de linfoma cuando están expuestos a un campo sinusoidal de 60 Hz entre 0.01-1 v/m, así como a la frecuencia de 450 Mhz modulada a 60 Hz; con campos sin modular no obtiene dichos resultados.



f) Efectos sobre el sistema endocrino

Persinger y cols. (1974) describen cambios histológicos en el tiroides de ratas expuestas a campos débiles de 0.5 Hz.

Otros autores refieren una disminución de la respuesta de la célula ósea a la PTH en cultivos de ratones, cuando están expuestos a campos débiles con pulsos de ondas cuadradas asimétricas a 15 Hz. También está descrito en cultivos de células de Langerhans de ratas una disminución en la secreción de insulina ya en la captación del calcio.

Estudios experimentales llevados a cabo por diversos autores coinciden en que han constatado alteraciones fundamentalmente en tres tipos de hormonas: corticosteroides, testosterona y melatonina.

Wilson et al. (1981), (1983) describen una disminución de la melatonina en glándula pineal de ratas cuando están expuestas a un campo de 1.5 Kv/m a 60 Hz.

Lymangrover et al, (1983) obtienen un aumento de la respuesta adrenal en ratas expuestas a 10 Kv/m a 60 Hz.

Marino et al, (1976) refieren una disminución en los niveles séricos de corticosterona en ratas expuestas a 15 Kv/m a 60 Hz.

Free et al, (1981) describen una disminución de los niveles de testosterona en ratones expuestos a 65 Kv/m a 60 Hz.

Efectos sobre la salud

Históricamente la exposición a estos campos electromagnéticos de tan baja frecuencia se ha considerado exenta de cualquier tipo de riesgo. A raíz de la publicación en la década de los 60 de una serie de estudios realizados por investigadores soviéticos en trabajadores de subestaciones de transformación eléctrica a la frecuencia de 50 Hz (Asanova et al, 1966; Sazanova, 1967; Krivova, 1968; Korobkova, 1972), en los que describían una serie de alteraciones de la salud en dichos trabajadores, comienza una controversia científica que perdura hasta nuestros días.

Antes de revisar los estudios que han contribuido a generar dicha polémica, conviene, asumiendo la clasificación que F. Gamberale (1988) expone en su revisión, descubrir aquellos «Efectos biológicos de los campos electromagnéticos, científicamente probados y generalmente reconocidos», en los que existe unanimidad entre los investigadores.

Percepción del campo eléctrico y magnético: como consecuencia de las corrientes inducidas se pueden producir movimientos del vello y del cabello, cuando se toca un objeto metálico previamente cargado (Kovwenhoven et al, 1976). No se conocen estudios que refieran que la percepción de estos campos pueda resultar perjudicial para la salud.

Magnetofosfenos: son sensaciones visuales como, «flashes», que se pueden producir como consecuencia de la exposición a Campos Magnéticos de alta intensidad. Fueron descritos por Fleischman, requieren exposiciones

superiores a 10 mT, y se desconoce el mecanismo fisiológico que los produce. Se debe tener en cuenta que otros factores como los traumatismos y corrientes eléctricas pueden producir las mismas sensaciones visuales.

Descargas eléctricas: se originan en presencia de un campo eléctrico, produciéndose cuando un individuo aislado toca un objeto con toma de tierra o viceversa. Los efectos de tales descargas dependen de la cantidad de energía acumulada en el momento del contacto. (Deno, D.W. 1974).

Interferencia con marcapasos cardíacos: en el caso de existir en el interior del organismo, cuerpos o elementos extraños implantados como prótesis y marcapasos, al tener estos elementos unas determinadas propiedades magnéticas, en presencia de un C.E.M. externo se pueden inducir fuerzas en estos elementos que son capaces de producir movimiento de dichos elementos en el interior del organismo. En el marcapasos, además de influir la naturaleza del material, cabe destacar la interacción de otros factores como son: el voltaje y la corriente del aparato, produciéndose un riesgo de interferencia.

Es evidente que el reconocimiento de estos efectos sobre el hombre, así como los resultados de la experimentación «in vitro» y con animales, no nos permiten extrapolar directamente dichos efectos al hombre, ni nos pueden llevar a concluir que exista un riesgo para la salud.

Tratando de sistematizar los diferentes estudios revisados podemos agruparlos en dos categorías: estudios sobre el estado general de salud de las personas expuestas y los diferentes tipos de estudios epidemiológicos.

Estudios sobre el estado general de salud de las personas expuestas.

Las primeras investigaciones realizadas, referidas ya anteriormente (Asanova et al; Sazanova; Krivova y Korobkova), recogían en los trabajadores expuestos a frecuencias de 50 Hz en subestaciones de transformación eléctrica las siguientes alteraciones: síntomas neurasténicos como cefaleas, cansancio y debilidad, nerviosismo, ansiedad, dificultades en la concentración, trastornos de la memoria, alteraciones del sueño; trastornos funcionales del sistema nervioso con trastornos electroencefalográficos, alteraciones neuromusculares en miembro superior y temblores de dedos; también se recogieron en los diferentes estudios síntomas cardiovasculares vagotónicos con trastornos del ritmo y presión arterial, alteraciones del ritmo respiratorio y cambios cuantitativos y cualitativos en el examen hematológico periférico.

Posteriormente otros estudios también coinciden al describir trastornos similares relacionados con la exposición a C.E.M.

Así Filippov, (1972) estudia a 286 trabajadores de instalaciones de alto voltaje, describiendo trastornos inespecíficos del sistema nervioso central y cardiovascular, acompañados de cambios en la tensión arterial y en el examen hematológico periférico. Establece también unas limitaciones en la exposición a partir de 5 Kv/m. Fernández Fole, (1974) realiza un estudio experimental con 6 voluntarios entre los que se incluye él mismo, y estudia la exposición en Parques de Transformación de subestaciones de alta tensión. Coincide con los autores anteriores refiriendo cansancio y flojedad en miembros, alteración del sueño, bradicardias, elevación de la tensión arterial, etc. Waibel (1975) describe alteraciones en el ritmo alfa electroencefalográfico en 9 personas expuestas 50 Hz y 6 Kv/m.

Sin embargo, otros estudios realizados en trabajadores de subestaciones transformadoras no han corroborado ninguno de estos efectos, no encontrando diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de trabajadores expuestos y los controles.

Entre otros, Kouwenhoven, (1967) que no aporta ningún hallazgo patológico en una examen médico completo realizado a 11 trabajadores de líneas de alta tensión. Singewald, (1973), que estudió durante 9 años a 10 trabajadores sin encontrar trastornos en su salud. Johansson, (1973) con resultados también negativos realizando pruebas psicológicas. Malboysson, (1976) comparando en su estudio a 84 trabajadores de líneas de alta tensión, con un grupo de 94 trabajadores de líneas de baja tensión, sin observar diferencias en el examen general, radiológico, E.C.G., oftalmológico y hematológico. Roberge en el mismo año, en Canadá, examinó a 56 técnicos de subestaciones eléctricas sin aportar hallazgos en el examen médico completo y pruebas complementarias y analíticas realizadas. Issel, (1977) que aporta los resultados del estudio completo médico y psicológico realizado a 110 trabajadores de líneas

de alta tensión, sin encontrar diferencias con el grupo control. Knave y Gamberale, (1979) que, tras la revisión de 53 trabajadores expuestos y 53 controles, no objetivaron tampoco diferencias en los resultados del examen neurológico, psicológico, E.E.G., cardiovascular, E.C.G., y hematológico. Baroncelli, (1986) que examina a la población más numerosa de trabajadores, 627, en subestaciones de alta tensión de la red de ferrocarriles italianos, sin objetivar ninguna asociación entre la exposición a C.E.M. y los sistemas estudiados (nervioso, cardiovascular, hematológico y pruebas de laboratorio). en España AMXS-UNESA inicia en 1983 un estudio sobre 270 trabajadores expuestos a C.E.M., y un grupo control de 180, sin objetivar diferencias en los resultados de las pruebas diagnósticas y aportando únicamente los hallazgos de insomnio, sed excesiva, disminución de la audición y cierto efecto defatigante en el grupo de los expuestos.

Paralelamente, una serie de investigadores diseñaron estudios experimentales con sujetos voluntarios. Hauf, (1974), en un estudio a doble ciego, no objetiva diferencias en el E.E.G., E.C.G., frecuencia cardíaca y presión arterial. En una serie posterior refiere aumento de la cifra de neutrófilos y reticulocitos, pero dentro de los patrones de normalidad. Eiseman, (1975), en su estudio experimental, con 10 expuestos y 10 controles no obtiene hallazgos significativos. Rupilius, (1976), en un estudio similar con 10 sujetos voluntarios expuestos a C.E.M., tampoco aporta diferencias en los tiempos de reacción, E.C.G., E.E.G., frecuencia cardíaca, presión arterial, parámetros cardiovasculares, neurológicos, hematológicos, metabólicos y hormonales en 50 individuos expuestos, y tan sólo objetiva un aumento de 2.4% en la cifra de leucocitos con respecto a los controles.

Más recientemente Graham y Fotopoulos, (1984), Bonnel, (1985) y Stoilery, (1986) también obtienen resultados negativos en sus estudios experimentales.

Por último, dentro de este apartado, comentaremos los estudios realizados sobre los efectos en el hombre de descargas eléctricas producidas por la exposición a campos eléctricos: Krivova, (1968), Takagi, (1971), Hylten-Cavallius, (1976) y Hauf, (1979). En dichos estudios se aportaban reacciones del sistema nervioso central y autónomo, incremento de la frecuencia cardíaca, respiratoria y de la presión arterial, sensaciones dolorosas que inducían sus síndromes de estrés. Por el contrario no fueron encontrados hallazgos patológicos.

Antes de revisar los estudios epidemiológicos, conviene reseñar que ya Strumza, (1970) diseña un estudio en el que compara a 70 trabajadores de plantas eléctricas y sus familias, que vivían a 25 metros de líneas de alta tensión; con 74 familias que vivían a más de 125 metros, no encontrando diferencias en los antecedentes patológicos, consultas a médicos y especialistas y uso de medicamentos.

Estudios epidemiológicos

Esta línea en la investigación de los efectos sobre la salud de los Campos electromagnéticos fue posterior, pero supuso un cambio sustancial en los planteamientos iniciales de escepticismo, llegando a generar un cierto grado de alarma social.

La fecha clave fue la de 1979, cuando la epidemióloga Nancy Wertheimer y el físico Ed. Lepper, de la Universidad de Colorado, indicaron en su estudio una asociación entre la tasa de cáncer infantil y el hecho de vivir en las proximidades de transformadores eléctricos y líneas de alta tensión.

Wertheimer y Leeper en 1950 realizaron un estudio basado en los certificados de defunción, comparando la mortalidad por cáncer en relación a la exposición a C.E.M., y obtuvieron un exceso de riesgo de muerte por cáncer del 15% en el grupo de expuestos. Estas observaciones les llevaron a realizar 2 estudios Caso-Control en la región de Colorado.

El primero, realizado en Denver, estudió 344 muertes por cáncer entre 1950 y 1973, en menores de 19 años, y 344 controles seleccionados en el Registro de nacimientos. La exposición fue definida por la proximidad de la residencia habitual a subestaciones eléctricas y líneas de alta tensión. Los autores encuentran una asociación entre la residencia en las proximidades de líneas de alta tensión y las muertes por cáncer y leucemia en niños (OR 3.1-3.8 para cáncer y 2.3-3.0 para leucemia).

El segundo estudio Caso-Control, realizado también en Denver tomó como casos 904 muertes por cáncer en adultos, entre 1967 y 1977, y 275 casos de cáncer que sobrevivían en 1979. Los controles apareados se seleccionaron de los registros de defunción y de los directorios de la ciudad. Encontraron una asociación entre los diferentes tipos de cáncer (sistema nervioso, útero, mama, linfomas) con una OR de 1.39, y la residencia en la proximidad de tendidos de alta tensión. Con respecto a las leucemias no encontraron asociación.

Dichos estudios causaron gran conmoción, aunque metodológicamente sean dudosos, ya que no se cuantificó la exposición y no fue un estudio ciego, pues los investigadores conocían previamente los hogares en los que había niños con cánceres.

Fulton en 1980 aplica la misma metodología con 155 casos incidentes de leucemia y 240 controles diagnosticados entre 1964 y 1978 en menores de 21 años, en el área de Rhode Island. La exposición se definió en función del espesor del cableado y las distancias entre las casas y los tendidos. No encontró ninguna asociación entre leucemias y los niveles de exposición. En dicho estudio no se tuvo en cuenta el posible traslado de la población, ya que los controles se obtuvieron también del Registro de Nacimientos.

En Suecia, Tomenius et al publican en 1982 un estudio con 660 casos de cáncer y 56 tumores benignos en menores de 19 años. Los controles fueron seleccionados entre los residentes en Estocolmo, aunque no se detalla bien el procedimiento de selección. La exposición se cuantifica midiendo la intensidad del campo magnético para corrientes alternas de 50 Hz en la entrada de las casas. Los resultados marcaban una asociación entre cáncer y C.E.M., (OR = 2) y, cuando se analizó por tipo de cáncer, se observó que los C.E.M. sólo se asociaban con el cáncer del sistema nervioso pero no con leucemias.

Por último comentar el estudio Caso-Control, realizado por McDowall, (1983) en Inglaterra y Gales, entre 537 casos de muerte por leucemia mielóide aguda en adultos con 1074 muertes por otras causas. La exposición fue recogida mediante la Clasificación Ocupacional del Reino Unido, obteniendo una OR de 2.3, lo que indica una mayor frecuencia de LMA en los profesionales del campo de las telecomunicaciones.

El otro gran grupo de estudios epidemiológicos son los basados en la Tasa o Razón proporcional de la mortalidad (PMR), estandarizada por edad y sexo, que representa la proporción de las defunciones debidas a una causa específica en relación con el total de defunciones. El cálculo se realiza dividiendo los casos observados de muertes por leu-

cemias u otros cánceres en cada categoría profesional, por los casos esperados de mortalidad específica en la misma categoría. Y los casos esperados se obtienen multiplicando el total de muertes en cada categoría profesional por la mortalidad proporcional específica en la población de referencia.

McDowall, (1983), estudiando la mortalidad de leucemias, linfoides y mieloides en Inglaterra y Gales entre 1970 y 1972, no encuentra diferencia con la mortalidad esperada para dichas causas en los trabajadores del sector eléctrico y telecomunicaciones.

En un estudio parecido Milham, (1982), sobre 438.000 casos de muerte en el estado de Washington en el período 1950-79, aporta un exceso de muertes (137 a 163%) por leucemia en el personal de telecomunicaciones y operadores de centrales eléctricas.

A continuación, recogeremos dos estudios basados en la Razón o Tasa de incidencia proporcional de Cáncer estandarizada por edad y sexo (PCIR). La tasa es parecida a la anterior sólo que utiliza los casos de incidencia registrados.

Así Wright et al, (1982), usando la clasificación ocupacional de Milham, estudia la incidencia de cáncer basándose en el Registro de Cáncer de Los Angeles entre 1972-79, encontrando una asociación entre las profesiones eléctricas y de telecomunicaciones (173% y 207%) y las leucemias agudas.

Coleman et al, (1983), estudiando la incidencia de cáncer en varones de 15 a 74 años en el período 1961-79 en la región de sudeste de Inglaterra (125.887 casos), sugieren en sus resultados que ciertas profesiones del sector eléctrico y Telecomunicaciones se asocian a algunos tipos de leucemia.

Otros estudios epidemiológicos han sido realizados sin encontrar una asociación estadísticamente significativa entre los diferentes tipos de cáncer y la exposición a C.E.M.:

McDowall, (1986), que estudia la mortalidad en relación con la proximidad de instalaciones de transmisión eléctrica; Olin et al, (1985) en Suecia, que estudiaron la mortalidad por leucemia en técnicos electrónicos comparándolo con la población general; Calle et al, (1985), que estudiaron la mortalidad por leucemia entre 1963 y 1978, mediante la Razón proporcional de mortalidad (PMR), entre diferentes grupos profesionales con exposición a C.E.M. Para las leucemias la estimación del riesgo Relativo era igual a la Unidad. Tornquist et al, (1986), en trabajadores de mantenimiento de subestaciones eléctricas y líneas de alta tensión, estudiaron la Razón estandarizada de mortalidad (SMR) con valores comprendidos entre 1 y 1.3. Peterson et al, (1980) estudiaron las muertes por leucemia en adultos en California entre 1959 y 1961, utilizando la Razón proporcional de mortalidad (PMR) sin encontrar diferencias significativas. Dubrow et al, (1984), mediante un estudio Caso-Control, estudiaron las muertes por leucemia en adultos en Massachusetts sin encontrar valores diferentes a la Unidad.

Conclusiones

En la zona del espectro electromagnético, correspondiente a frecuencias extremadamente bajas, es el movimiento de cargas y corrientes el origen de los efectos biológicos y bioquímicos que representan los posibles riesgos para la salud; aunque todavía los mecanismos íntimos de la interacción con los sistemas biomoleculares y tejidos no están completamente aclarados.

Los resultados de los estudios experimentales, tanto «in vivo» como «in vitro», no son extrapolables al hombre en cuanto que son muchos y complejos los factores que influyen en la interacción de los C.E.M. con el cuerpo humano como: situación del individuo en el interior del campo, edad, sexo, susceptibilidad individual, estado previo de salud, factores ambientales, parámetros de exposición, etc., dificultando la evaluación de las condiciones en las que se produce la exposición laboral.

En relación con los estudios sobre el estado general de salud de las personas expuestas, los resultados no son nada concluyentes, ni se confirman con posterioridad los efectos descritos en los primeros estudios realizados por los investigadores de la Europa Oriental. Se trata por lo general de estudios descriptivos transversales, que no nos permiten estudiar hipótesis de causalidad, y con diseños metodológicos deficientes. Es importante señalar que los estudios que aportaban hallazgos, en muchos casos se realizaron sin contar con grupos control; pudiéndose atribuir dichos efectos a la existencia de otros factores ambientales, físicos químicos o psicosociales. La influencia de las potenciales variables confusoras no controladas en los estudios, es todavía mayor al tratarse los hallazgos encontrados de efectos subjetivos e inespecíficos.

Por todo ello, el interrogante sobre si la exposición a C.E.M. constituye un riesgo para la salud, no puede ser resuelto a la luz de los resultados de este tipo de estudios transversales; aunque sí se puede afirmar que no se ha demostrado todavía la existencia de efectos fisiológicos, biológicos o patológicos como consecuencia directa de la exposición.

En cuanto a los estudios epidemiológicos revisados, la mayoría han sido realizados basándose en estadísticas de mortalidad y/o registros de cáncer. Lógicamente una de las limitaciones de estos estudios es la inseguridad e indefinición acerca de los niveles de exposición a C.E.M.

Para mejorar la medición de los niveles de exposición habrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tiempo real de exposición, sobre todo en los estudios relacionados con el domicilio, donde se tendría que considerar el tiempo de permanencia en el mismo.
- Cuantificación de los niveles de exposición a C.E.M. por cableado y por carga en el interior de las viviendas, y no en el exterior. Sin embargo la mayoría aportan tan sólo datos cualitativos de la exposición.
- Considerar la existencia de otros factores ambientales de acción conciergen y de posibles factores de confusión que puedan estar asociados, tanto a la exposición como a la enfermedad.

Los estudios basados en la Razón Proporcional de Mortalidad no miden directamente el Riesgo o probabilidad de morir, como lo haría la tasa de mortalidad específica; siendo además posible que las diferencias encontradas se debieran a la menor mortalidad por otras causas en la población expuesta.

Con respecto a los estudios Caso-Control, es muy difícil obtener, basándose en registros, grupos controles comparables en todo excepto en la exposición. Por ejemplo, en algún caso se han utilizado como controles los registros basados en los certificados de nacimiento, con todas las limitaciones que ello implica. Otra cuestión es la enorme dificultad de obtener, mediante cuestionarios retrospectivos, información acerca de la exposición del sujeto y especialmente en los controles. Sirva de ejemplo que en algunos estudios la exposición se definía en función de la profesión que

figuraba en el parte de defunción, sin validar posteriormente si existió realmente la exposición a C.E.M. en tales individuos.

Otro elemento a tener en cuenta es la falta de especificidad del riesgo de leucemia. En algunos estudios aparece un incremento de riesgos también para los cánceres de pulmón, vejiga, riñón, cerebro y sistema nervioso. A no ser que los C.E.M. se comporten como un carcinógeno general para el hombre, cabe pensar que otros factores de riesgos están actuando o que existe algún error en el diseño del estudio, al comparar con los controles o con los valores «esperados».

Como comentario común a todos los estudios epidemiológicos revisados, decir que en ellos se realizan aproximaciones al Riesgo Relativo, ya que los diferentes diseños utilizados no permiten calcular realmente el riesgo de morir o enfermar. En ningún caso se realizaron estudios prospectivos con cohortes de expuestos a C.E.M.

Resumiendo, tampoco los estudios epidemiológicos muestran una asociación clara entre la exposición a C.E.M. y el riesgo de cáncer (leucemias). No se estableció la relación temporal entre exposición y efecto; la relación dosis-respuesta fue basada en niveles cualitativos de exposición sin tener ni siquiera en cuenta la duración de dicha exposición; y obviamente no se consigue establecer relaciones de causalidad. Así mismo en los estudios que aportan asociaciones significativas, la magnitud de las mismas eran poco fuertes.

Por todo ello se requieren más estudios epidemiológicos, especialmente los prospectivos o de cohortes para confirmar o rechazar la hipótesis de que exposiciones ambientales y/o laborales a C.E.M. puedan causar leucemias.

Reportaje fotográfico realizado por Jacobo Maldonado

Bibliografía

- Czerski, P; ROCKVILLE, M.D. *bga-Schriften* 3/1986.
- Extremely low frequency (elf) fields. Environmental Health Criteria 35. World Health Organization. Geneva, 1984.*
- Blackman, C.F.; Benane, S.G.; Rabinowitz, J.R.; House, D.E.; and Joine, W.T. (1985) *A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium, ions from brain tissue in vitro Bioelectromagnetics* 6, 327-337.
- Azanda, M.J. *Efecto de los campos magnéticos sobre la cinética iónica de la membrana neuronal. Archivos de la Facultad de Medicina de Zaragoza. vol 29. num. 2. 1989.*
- Azanda, M.J. *Efectos fisiológicos inducidos en el hombre por exposición a campos magnéticos. I Jornadas sobre contaminación electromagnética y medio ambiente. Alcalá de Henares. Madrid 1990.*
- Easterley, Clay E.: *Cardiovascular risk from exposure to static magnetic fields. American Industrial Hygiene Association Journal. vol 43. num 7, July 1982.*
- Miller Gordon: *Exposure guidelines for magnetic fields. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 48 (12): 957-968 (1987).*
- Blanchi, C.L.; Cedrini, L.; Ceria, F.; Meda, E.; and Re, G. (1973) *Exposure of mammals to strong 50-Hz electric fields. 2. Effects on heart and brain electric activity. Arch. Fisiol., 70: 30-34.*

- Gavalas, R.J., Walter, D.O., Hamner, J., and Adey, W.R. (1970). Effect of low-level, low frequency electric fields on E.E.G. and behaviour in *Macaca nemestrina*. *Brain Res.* 18: 491-501.
- Hansson, H.A. (1981a) Purkinje nerve cell changes caused by electric fields: ultrastructural studies on long-term effects on rabbits. *Med. Biol.*, 59: 103-110.
- Sagan, P.M.; Stell, M.; and Adey, W.R. (1981) Absolute threshold sensitivity of rats to 60 Hz electric fields. In: Third Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, August, Washington DC (abstract).
- Rosenberg, R.S.; Duffy, P.H.; Sacher, G.A., and Ehret, C.F. (1983). Relationship between fields strength and arousal response in mice exposed to 60-Hz electric fields. *Bioelectromagnetics*, 4: 181-191.
- Hjeresen, D.L.; Miller, M.C.; Kaune, W.T.; and Phillips, R.D. (1982) A behavioral response of swine to a 60-Hz electric field. *Bioelectromagnetics*, 3: 443-451.
- Hjeresen, D.L.; Kaune, W.T.; Decker, J.R.; and Phillips, R.D. (1980) Effects of 60 Hz electric fields on avoidance behaviour and activity of rats. *Bioelectromagnetics*, 1: 299-312.
- Gavalas-Medici, R.J. and Day-Magdaleno, S.R. (1976) Extremely low frequency, weak electric fields effect schedule-controlled behaviour of monkeys *Nature (Lond.)*, 261: 256-259.
- Phillips, R.D.; Anderson, L.E. and Kaune, W.T. (1981) Biological effects of high strength electric fields on small laboratory animals, Washington DC, US Department of Energy, Division of Electric Energy Systems (DOE/RLO1830/T7).
- Phillips, R.D. (1983) Biological effects of electric fields on miniature pigs. In: Proceeding of the Fourth Workshop of the US/USSR Scientific Exchange on Physical Factors in the Environment, June 21-24 1983, Research Triangle Park, North Carolina. National Institute of Environmental Health Sciences.
- Delgado, J.M.R.; Leal, J.; Monteagudo, J.L.; Gracia, M.G. Embryological changes induced by weak, extremely low frequency electromagnetic fields. *J. Anat.* 134: 533-551; 1982.
- Ubeda, A; Leal, J.; Trillo, M.A.; Jiménez, M.A.; Delgado, J.M.R. Pulse shape of magnetic fields influences chick embryogenesis. *J. Anat.* 137: 513-536; 1983.
- Chacón, L.; Trillo, M.S.; Shamsaifer, R.; Ubeda, A.; Teal, J. A. 30 Hz pulsed field can stop early embryonic development (abstr.) 8th. Annual Meeting, BRAGS, 1988; p.3.
- Tofani, S.; Agnesod, G.; Ossola, P. Effects of continuous low-level exposure to radiofrequency radiation on intrauterine development in rats. *Health Physics* 51: 489-499; 1986.
- Jukka Juutilainen, Esa Laara and Keijo Saali. Relationship between field strength and abnormal development in chick embryos exposed to 50 Hz magnetic fields. *Int. J. Radiat. Biol.*, 1987, vol 52, n° 5, 787-793.
- Coate, W.B. and Negerbow, W.H. (1970). Insect mutagenesis study M: Project sanguine biological effects test program pilot study, Falls Church, Virginia, Hazelton Laboratories (Final Report).
- Monteagudo, J.L. Efectos de los campos electromagnéticos de baja frecuencia en la reproducción y desarrollo de los organismos. I Jornadas sobre contaminación electromagnética y medioambiente. Alcalá de Henares. Madrid 1990.
- Liboff, A.R.; Williams, J.; Strong, D.M. and Winstar, R. (1984) «Time varying Magnetic fields: Effect on DNA Synthesis» *Science* 223: 818-820.
- Fukada, E. et al (1981) Paper n° 8, Jap, Comm. of Electrical Enhancement of Bone Healing.
- Becker, R.O. and C. Esper (1981) «Electrostimulation and Undetected Malignant Tumors». *Clin. Orthop.* 161: 336-339.
- Akamine, T.; H. Muramatsu; H. Hamada and T. Sakon (1985) «Effects of PEMF on Growth and Differentiation of Embryonal Carcinoma cells». *J. Cell. Physiol.* 124: 247-254.
- Jerome Beers, G. Biological effects of weak electromagnetic fields from 0 Hz to 200 MHz. A survey of the literature with special emphasis on possible magnetic resonance effects. *Magnetic Resonance Imaging*, vol. 7, pp. 309-331. 1989.
- Ralph J. Smialowick. Immunologic Effects of Nonionizing Electromagnetic Radiation. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine.* 1987.
- J. Juutilainen; M. Harri, K. Saali, and Lahtinen Effects of 100 Hz magnetic fields with various waveforms on the development of chick embryos. *Radiation and Environmental Biophysics* (1986) 25: 65-74.
- J. Juutilainen and K. Saali. Development of chick embryos in 1 Hz to 100 KHz magnetic fields. *Radiation and Environmental Biophysics* (1986) 25: 135-140.
- Asanova, T.P. & Rakov, A.N. Health conditions of workers exposed to an electrical field of 400-500 kV in open distributing installation. *Gigiena truda i professional 'nye zabolovaniya*, 5: 50-52 (1966).
- Sazonova, T.E. Physiological and hygienic assessment of the working conditions at the outdoor switchyards 400 and 500 kV. In: Proceedings of the Institute of Labour Protection under the All-Union Central Council of Trade Unions, 1967, N° 2.
- Krivova, T.I. Electrical discharge influence upon a man. In: Proceedings of the 3rd All-Union Symposium on Hygiene of Labour and Biological Effects of Radio Frequency Electromagnetic Waves, Moscow, 1968.

- Korobkova, V.P. et al. Influence of the electric field in 500 and 750 kV switchyards on maintenance staff and means for its protection. París, Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques, 1972 (report 23-06).
- Gamberale, F. Effetti biologici dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici derivanti da elettrodi ad altissimo voltaggio. Arch. Scienze Lavoro. 2: 127, 1986.
- Kouwenhoven, W.B. et al. Medical evolution of men working in A.C. electric fields. IEEE transactions on power apparatus and systems, PAS 86: 506-511 (1967).
- Fleischmann, L. The damage to health from alternating magnetic fields. Naturwissenschaften.
- Deno, D.W. Calculating electrostatic effects on overhead transmission lines. IEEE transactions on power apparatus and systems, PAS-93: 1458-1466 (1974).
- Filipov, V. The effect of alternating electric fields on man. In: 2. Int. Colloquium für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten durch Elektrizität, Köln, Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, 1972, pp. 170-177.
- Fole, F.F. & Dutrus, E. Nueva aportación al estudio de los campos electromagnéticos generados por muy altas tensiones. Medicina y seguridad del trabajo, 22 (1974).
- Waibel, R. The effects of low-frequency electric fields on man. Dissertation, Technical University, Graz, Austria, 1975.
- Singewald, M.L. ET AL. Medical follow-up study of KV line-men working in A.C. electrical fields. IEEE transactions on power apparatus and systems, PAS-92: 1307-1309 (1973).
- Johansson, R. et al. Is there a relationship between atmospheric electricity and human functioning?, 1971-1973 (FOA report C 2461-70, C 2621-45, C 2627-H5).
- Malboysson, E. Medical control of men working within electromagnetic fields. Revue générale de l'électricité, July 1976, pp. 75-80.
- Issel, I. et al. The usefulness and suitability of electromechanics - explanation of a new approach to examination. Deutsche Gesundheitswesen, 32: 1526-1531 (1977).
- Roberge, P.F. Etude de l'état de santé des électriciens d'entretien préposé à l'entretien des postes 735 kV de l'Hydro-Québec, Québec, Hydro-Québec, 1976.
- Knave, B. et al. Exposure to electric fields: and epidemiological health examination on long-term exposed switchyard workers. Arbete och hälsa (1978).
- Baroncelli, p. et al. A Health Examination of Railway High-Voltage Substation Workers Exposed to ELF Electromagnetic Fields. American Journal of Industrial Medicine 10: 45-55, 1986.
- Bernar, J. (AMYS-UNESA). Estado actual de la investigación del Sector Eléctrico español, sobre los efectos biológicos de los C.E.M. de frecuencia extremadamente baja. I Jornadas sobre contaminación Electromagnética y Medio Ambiente. Alcalá de Henares. 1990.
- Hauf, G. Investigations on the effects of industrial energy fields on man, Dissertation, University of Munich, 1974.
- Eisemann, B. Studies on the long-term effects on man of small alternating currents at 50 Hz. Dissertation University of Freiburg, 1975.
- Rupilius, J.P. Studies on the effects of an alternating 50 Hz electric and magnetic field on man, Dissertation, University of Freiburg, 1976.
- Graham, C. et al. Human exposure to 60-Hz fields: Effects on performance, physiology and subjective state. Department of Energy, Electric Power Research Institute and New York State Power Lines Project, contractors Review Meeting, St. Louis, Missouri, Nov. 1984.
- Bonnel, J.A. et al. Can induced 50 Hz body currents affect mental functions? Proceedings of the conference on Electric and Magnetic fields in medicine and biology, London. 4-5 dic. 1985.
- Stollery, B.T. et al. Effects of 50 Hz Electric currents on mood and verbal reasoning skills. Br. J. Ind Med. 43: 339, 1986.
- Tagaki, T. & Muto, T. Influences upon human bodies and animals of electrostatic induction caused by 500 kV transmission lines, Tokyo, Tokyo Electric Power Co., Inc., 1971.
- Hylten-Cavallius, N. et al. Effects du champ électrostatique dans le voisinage de lignes de transport d'énergie et dans les postes RT, París, Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques, 1976 (report 36-04).
- Hauf, R. & Utmischi, D. Influence of alternating electric fields 50 Hz on human beings. Archives of industrial hygiene and toxicology, 30 (Suppl.) (1979).
- Strumza, M.W. Influence sur la santé humaine de la proximité des conducteurs d'électricité à haute tension. Résultats d'une enquête sur la «consommation médicale». Archives des maladies professionnelles, de médecine du travail et de sécurité sociale, 31: 269-276 (1970).
- Wertheimer, N., and Leeper, E. 1979. Electrical wiring configuration and childhood cancer. Am J Epidemiol 109.
- Wertheimer, N., and Leeper, E. 1982. Adult cancer related to electrical wires near the home. In J Epidemiol 11: 345-55.
- Fulton, J.P.; Cobb, S.; Preble, L.; Leone, L; and Forman, E. 1980. Electrical wiring configuration and childhood leukemia in Rhode Island. Am J Epidemiol 111: 292-96.
- Tomenius, L. Hellstrom, L., and Enander, B. 1982. Electrical constructions and 50 Hz magnetic fields at the dwellings of tumor cases (0-18 years of age) in the county of Stockholm. Proceedings of the International Symposium on Oc-

cupational Health and Safety in Mining and Tunnelling, Prauge, June 1982; Communication N° 71.

McDowall, M.E. 1983. Leukemia mortality in electrical workers in England and Wales. *Lancet* i: 246.

Milham, S. 1982. Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *N Engl J Med* 307: 249.

Wright, W.E.; Peters, J.M.; and Mack, T.M. 1982. Leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *Lancet* ii: 1160-61.

Coleman, M.; Bell, J. and Skeet, R. 1983. Leukemia incidence in electrical morkers. *Lancet* i: 982-83.

McDowall, M.E. Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmissions facilities. *Br. J. Cancer* 53: 271, 1986.

Olin, R. et al. Mortality experience of electrical engineers. *Br. J. Ind. Med.* 42: 211, 1985.

Calle, E.E., Savitz D.A. Laukemia in occupational groups with presumed exposure to electrical and magnetic fields. *N. Engl. J. Med.* 313: 1476, 1985.

Tornquist, S. et al. Cancer in the electric power industry. *Br. J. Ind. Med.* 43: 212, 1986.

Peterson, G.R., Milham S. Jr. Occupational Mortality in the State of California 1959-61. DHEW (NIOSH) publication. N° 80-104. Cincinnati. OH. National Institute for the Occupational Safety and Health 1980.

Dubrow, R., Wegman, D.H. Occupational Characteristics of cancer victims in Massachusetts 1971-1973. DHHS (NIOSH) publication N. 84-109. Cincinnati. OH. National Institute for Occupational Safety and Health. 1980.

Sobre CONDICIONES DE TRABAJO

"Tiene toda la información."

Ofrece la actualidad sobre Medicina e Higiene del Trabajo, Seguridad y Ergonomía aparecida en más de 150 revistas y textos especializados de todo el mundo, así como las disposiciones legales en estas materias que va publicando el Boletín Oficial del Estado y el Diario de las Comunidades Europeas.

Solicite ejemplar de muestra GRATUITO llamando al Teléf: (93) 280 01 02, Ext. 1106, ó por escrito a: INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO. C/ Dulcet, 2-10 - 08034 Barcelona.

Suscripción anual (12 números) 3.000 Ptas. (+ IVA)

