

# Efectos de la Radiación Electromagnética sobre la Salud

## Health Effects of Electromagnetic Radiation

Andrei N. Tchernitchin,\* Rubén Riveros\*\*

### Resumen

Los efectos sobre la salud de la radiación electromagnética ionizante son bien conocidos. El presente trabajo describe los efectos descritos para las diferentes clases y fuentes de radiación electromagnética no-ionizante. Describe una asociación estadísticamente significativa de varias enfermedades a radiación electromagnética de frecuencia baja (ELF) proveniente de tendidos o transformadores de alta tensión, radiación electromagnética ELF del tendido eléctrico domiciliario y de artefactos electrodomésticos, exposición ocupacional a radiación electromagnética principalmente ELF, radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF) proveniente de antenas de transmisión de televisión, radiación RF de teléfonos celulares, y de antenas de transmisión de la telefonía móvil, y discute la evidencia que apoya la hipótesis de causa-efecto. El análisis crítico realizado por tres investigadores independientes (el estudio de California) confirmó con alta o mediana probabilidad la relación causa-efecto de la radiación electromagnética con las siguientes enfermedades: leucemia en adultos y niños, cáncer cerebral en adultos y niños, cáncer de mama femenino y masculino, abortos espontáneos, suicidio, enfermedad de Alzheimer, esclerosis lateral amiotrófica (enfermedad de Lou Gehring) y enfermedades cardiovasculares incluyendo infarto del miocardio. El mismo estudio demostró muy baja probabilidad de asociación con malformaciones fetales, bajo peso al nacimiento, y como un carcinógeno universal para todos los cánceres. Los mecanismos que explican los efectos biológicos de la radiación electromagnética son (a) efectos térmicos y (b) efectos no-térmicos. La melatonina, ferritina, ornitín descarboxilasa y poliaminas relacionadas, alteraciones en la membrana celular, inducción de proteínas de choque térmico (HSP), cambios endocrinos, mastocitos y liberación de histamina, mutagenicidad e imprinting han sido propuestos como involucrados en la generación de efectos no-térmicos. Se necesita realizar más estudios para investigar riesgos potenciales de los nuevos campos electromagnéticos tales como teléfonos celulares y sus antenas de transmisión, para posibles efectos diferidos tales como diversos cánceres o imprinting inducido durante la edad prenatal o postnatal precoz. La información resultante debiera ser utilizada para poner al día las normas vigentes, considerando el principio precautorio para la protección de la salud de la población.

Palabras clave: radiación electromagnética, efectos en salud, campos electromagnéticos, alto voltaje, teléfonos celulares, electrodomésticos, cáncer, daño neurológico, abortos espontáneos

\* *Laboratorio de Endocrinología Experimental y Patología Ambiental, Instituto de Ciencias Biomédicas, Facultad de Medicina, Universidad de Chile; Departamento de Salud y Medio Ambiente, Consejo Regional Santiago, Colegio Médico de Chile; atcherni@med.uchile.cl; dirección postal: Casilla 21104, correo 21, Santiago, Chile.*

\*\* *Departamento de Biofísica y Medicina Nuclear, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de Santiago de Chile; Servicio de Radiología, Hospital Salvador, Santiago de Chile.*

## Abstract

The health effects of ionizing electromagnetic radiation are well known. The present study describes the reported health effects for the different kinds and sources of non-ionizing electromagnetic radiation. Describes the significant association of various diseases to extremely low frequency (ELF) electromagnetic radiation from high voltage powerlines or transformers, ELF electromagnetic radiation from residence electric power lines and electrodomestic appliances, occupational exposure to electromagnetic radiation, mainly ELF, radiofrequency (RF) electromagnetic radiation from television transmitter towers, RF radiation from cellular telephones and transmission towers for cellular telephone, and discusses evidence supporting the cause-effect hypothesis. The critical analysis of published evidence performed by three independent scientists (the California study) confirmed high or intermediate probability of cause-effect relation of electromagnetic radiation to the following diseases: leukemia in adults and children, brain cancer in adults and children, female and male mammary cancer, miscarriages, suicide, Alzheimer disease, lateral amyotrophic sclerosis (Lou Gehring disease) and cardiovascular diseases including myocardial infarction. The same study reported a very low probability of electromagnetic radiation association with congenital malformations, low weight at birth, and as universal carcinogen inducing all cancers. The mechanisms explaining the non-ionizing radiation biological effects are (a) thermal effects and (b) non-thermal effects. Melatonin, ferritin, ornithin decarboxylase and related polyamines, alterations in the cell membrane, heat shock protein induction (HSP), endocrine changes, mast cells and histamine release, mutagenicity and imprinting were proposed to be involved in the generation of non-thermal effects. Further research is needed to investigate potential risks of new electromagnetic fields such as cellular phones and their transmission towers, for their potential delayed effects such as cancer or imprinting induced during prenatal or early postnatal age. The resulting information should be used for regulations update, following the precautionary principle for population health protection.

Key words: electromagnetic radiation, health effects, electromagnetic fields, high voltage, cellular telephones, electrodomestic appliances, cancer, neurologic damage, miscarriages

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico ha causado una exposición cada vez mayor de los seres humanos a radiaciones electromagnéticas de diverso tipo. Los efectos de la denominada radiación ionizante sobre los seres vivos son bastante bien conocidos y los métodos para prevenir estos efectos han sido reglamentados en la mayoría de los países. No obstante, los efectos sobre la salud de radiación electromagnética de menor energía, considerada como "no ionizante", han sido menos estudiados y en consecuencia, existe reglamentación insuficiente respecto de las medidas destinadas a disminuir o evitar los posibles efectos adversos sobre la salud. El objetivo del presente trabajo es analizar los efectos adversos sobre la salud de algunas radiaciones electromagnéticas no ionizantes con el fin de contribuir

al desarrollo de su regulación en los países de América del Sur conforme al principio precautorio y al principio de acceso a la información.

### EFFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA "NO IONIZANTE"

#### Efectos de la radiación electromagnética de baja frecuencia (ELF) de redes o transformadores de alta tensión

Olsen y cols. (1, 2) demostraron una asociación importante entre los tres tumores infantiles combinados: leucemia, tumores del sistema nervioso central o linfomas malignos, y exposición a campos magnéticos de instalaciones de alto voltaje, en re-

sidentes cercanos a estas instalaciones. También se demostraron una asociación probable con la enfermedad de Hodgkin. Feychting y cols (3) demostraron una asociación entre leucemia infantil y tendidos eléctricos de alta tensión. A niveles superiores a 0,2 microTesla ( $\mu\text{T}$ ), el riesgo relativo (RR) fue estimado en 2,7, con un intervalo de confianza (IC) 95%=1,0-6,3; a niveles superiores a 0,3  $\mu\text{T}$  el RR era 3,8 (IC 95%=1,4 a 9,3); la probabilidad para la tendencia,  $p=0,005$ .

Li y cols (4) demostraron que en Taiwan, el riesgo de leucemia en personas expuestas a radiación electromagnética mayor que 0,2  $\mu\text{T}$ , provenientes de líneas de alta tensión, en relación a los expuestos a menos que 0,1  $\mu\text{T}$ , presentan un RR=1,4 (IC 95%=1,0-1,9); para distancias menores de 50 m, comparados con distancias mayores de 100 m, el RR=2,0 (IC 95%=1,4-2,9).

Dentro de los efectos sobre la salud de las radiaciones electromagnéticas de las redes o transformadores de alta tensión, existe la evaluación de los riesgos sanitarios de los campos ELF realizado por NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences, de Estados Unidos de Norteamérica), que concluyó que estos campos debían considerarse como "posible carcinógeno humano".

### **Efecto de radiación electromagnética ELF de redes eléctricas domiciliarias y electrodomésticos**

Un metaanálisis que resume 11 estudios sobre el efecto de radiación electromagnética de 50 o 60 Hz sobre el desarrollo de algunos cánceres dio resultados diferentes de acuerdo al método usado para evaluar la exposición (5). En efecto, el código de cable eléctrico que caracteriza la corriente eléctrica domiciliar estaba relacionado con el total de cánceres, las distancias desde la habitación al tendido eléctrico de alta tensión estaba asociado solo a leucemia, y las mediciones locales de radiación electromagnética no mostraron correlaciones estadísticamente significativas.

Wertheimer y cols. (6) encontraron una asociación entre las conexiones a tierra vía tuberías metálicas domiciliarias y cáncer infantil, con un RR=1,72 (IC=1,03-2,88) para niños que habitaban hogares con tuberías de agua conductoras de electricidad, RR=3,0 (IC=1,33-6,76) para niños que habitaban en forma estable dichos hogares, y un RR=4,0 (IC=1,6-10,0) cuando las mediciones de orientación de las radiaciones magnéticas era menor de 55° de la inclinación horizontal.

Dockerty (7) ha descrito una asociación entre el uso de diversos electrodomésticos y el cáncer, especialmente infantil. Para la frazada eléctrica, por ejemplo, el riesgo de leucemia infantil era de 2,2 (IC 95% = 0,7-6,4); para cáncer del sistema nervioso central el RR=1,6 (IC=0,4-7,1) y otros tumores malignos sólidos, RR=2,4 (IC=1,0-6,1). El riesgo de leucemia aumenta a la más alta categoría cuando se compara el campo magnético en los dormitorios ( $> \text{ó} = 0,2 \mu\text{T}$  comparado con  $< 0,1 \mu\text{T}$ ), con un RR ajustado de 15,5 (IC=1,1-224).

Bates (8) también presentó evidencia epidemiológica de la correlación entre la exposición a campos electromagnéticos débiles de 50 Hz de origen habitacional y el cáncer. Esta correlación es estadísticamente significativa para la exposición a campos de origen domiciliario en niños. La significancia estadística descrita es fuerte para cánceres del sistema nervioso central, especialmente cerebrales, en niños.

### **Efecto de exposición ocupacional a radiación electromagnética, principalmente ELF**

La información presentada más abajo se refiere principalmente a exposición ocupacional a radiación ELF, pero en muchos de los estudios epidemiológicos no se han separado de las radiaciones RF, puesto que en muchas actividades laborales estudiadas, se observa exposición a ambas. En consecuencia, se analizarán en conjunto.

Bates (8) presentó evidencia epidemiológica de la correlación entre la exposición a campos electromagnéticos débiles de 50 Hz de origen ocupacional y el cáncer. Esta correlación es estadísticamente fuerte para cánceres del sistema nervioso central, especialmente cerebrales, en trabajadores eléctricos y más débil para la asociación de leucemia y melanoma en trabajadores eléctricos.

Loomis y cols. (9) han descrito que la mortalidad por cáncer de mama es mayor en trabajadoras eléctricas de sexo femenino que en otras trabajadoras (RR=1,38; IC 95%=1,04-1,82). Los riesgos relativos para ocupaciones eléctricas específicas eran: RR=1,73 (IC 95%=0,92-3,25) para ingenieros eléctricos, RR=1,28 (IC 95%=0,79-2,07) para personal técnico eléctrico, y 2,17 (IC 95%=1,17-4,02) para instaladoras y reparadoras de teléfonos y para trabajadoras en líneas telefónicas. Sin embargo, los autores no han detectado ningún aumento de incidencia de cáncer de mama en otras 7 ocupaciones en mujeres, entre ellas las operadoras telefónicas, digitadoras, programadoras y operadoras de com-

putadoras, aunque estas también involucran exposiciones elevadas a campos electromagnéticos.

Caplan y cols. (10) han analizado once estudios ocupacionales relacionados con cáncer de mama en la mujer y han observado riesgos relativos en las siguientes condiciones: 1,98 en mujeres postmenopáusicas con historia ocupacional relacionada con a campos electromagnéticos; 2,17 en mujeres instaladoras y reparadoras de teléfono, 1,65 en analistas y programadores; 1,40 en operadoras de radio y telégrafo; 1,27 en operadoras telefónicas en otro estudio. En algunos estudios no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas o estas eran detectadas sólo en algunos subsistemas.

Kliukiene y cols. (11) encontraron una correlación entre la exposición ocupacional a radiación electromagnética de 50 a 60 Hz e incidencia de cáncer de mama, con un RR de 1,08 y de 1,14 (intervalos de confianza IC 95%=1,04-1,12 y 1,10-1,19) para la población que considera todas las mujeres expuestas a niveles mayores que los considerados como *background* (0,1  $\mu$ T) acumulados durante su vida laboral de 1000 a 1999 horas y a más de 2000 horas, comparados con aquellas expuestas a dicho nivel por menos de 900 h respectivamente. El RR era de 1,21 y de 1,20 (IC= 1,11-1,29), cuando se consideraron sólo mujeres menores de 50 años. En este último grupo, los RR eran 0,87 para trabajadoras agrícolas, 0,85 para trabajadoras no especializadas, 0,95 para trabajadoras especializadas, 1,14 para funcionarias de oficina y de 1,32 para funcionarias con educación universitaria. Este estudio involucró una cohorte total de 21.483.769 personas/año bajo riesgo y 22.543 casos observados de cáncer de mama.

Demers y cols. (12) han descrito un elevado riesgo para desarrollar cáncer de mama masculino en trabajadores relacionados con campos electromagnéticos, RR=1,8, IC=1,0-3,7; riesgo que se eleva entre los electricistas, instaladores de líneas de teléfonos y trabajadores de plantas eléctricas (RR=6,0, IC 95%=1,7-21) y en trabajadores y comunicadores de radio (RR=2,9, IC 95%=0,8-10).

Guénel y cols. (13) describen un riesgo relativo de 1,64 (IC 95%=1,20-2,24) de leucemia en personas ocupacionalmente expuestas a campos electromagnéticos en forma continua.

Un amplio estudio poblacional del Registro de Cáncer de Noruega muestra una asociación entre trabajo eléctrico y riesgo de leucemia (14),

y describe una asociación del cáncer de mama a la exposición acumulada expresada en  $\mu$ T/años.

Armstrong et al. (15) describe una asociación entre campos electromagnéticos pulsátiles y cáncer pulmonar en trabajadores de artefactos eléctricos en Quebec y en Francia.

En un estudio basado en 170.000 trabajadores de la Compañía de Gas y de Electricidad de Francia entre 1978 y 1989 (16) se ha demostrado la asociación de exposición ocupacional a campos electromagnéticos ELF con la incidencia de tumores cerebrales y el cáncer de colon. El RR de la exposición superior al percentil 90, para tumores cerebrales, era 3,08 (IC 95%=1,08-8,74), y aumentaba a 3,69 (IC=1,10-12,73) si se permitía un periodo de latencia de 5 años antes del diagnóstico.

También se ha encontrado una correlación entre radiación electromagnética de baja frecuencia con cáncer testicular no-seminoma, y se ha sugerido que la acción hormonal puede estar involucrada en el desarrollo de estas neoplasias (17).

En un estudio basado en 1.596.959 hombres y 806.278 mujeres en Suecia (18), se ha investigado la incidencia de diversos tipos de cáncer entre 1971 y 1984, correlacionándolos a la exposición ocupacional a campos magnéticos y electromagnéticos; tomando como base valores determinados por una matriz de exposiciones calculada a partir de medidas para diversas actividades laborales, y datos de censos realizados en ese país. En este estudio, se ha descrito, en hombres, un aumento del riesgo de cáncer testicular en trabajadores jóvenes, y en mujeres, una clara asociación con cáncer del cuerpo uterino. Además se han descrito asociaciones entre la exposición y los siguientes tipos de cáncer en hombres: cáncer de colon, de vías biliares, hígado, laringe y pulmón, riñón, órganos urinarios, melanoma, cáncer de piel no-melanoma y astrocitomas III-IV. Para las mujeres, se han descrito asociaciones con cáncer pulmonar, de mama, melanoma y leucemia linfocítica crónica. Se ha sugerido, una interacción del campo electromagnético con los sistemas inmune y endocrino, los que interfieren aumentando el riesgo de cáncer en sujetos expuestos.

Savitz y col. (19) han descrito en trabajadores relacionados con electrodomésticos que el riesgo de cáncer cerebral aumenta por un factor de riesgo de 1,94 por  $\mu$ T año de exposición a campo magnético durante los 2 a 10 años previos. La mortalidad aumenta en 2,6 veces en el grupo de exposición más alta.

### **Efectos de la radiación electromagnética de radiofrecuencia (RF) de antenas de transmisión de televisión**

Dolk y cols. (20) encontraron que el riesgo de leucemia adulta, en habitantes de una zona dentro de la distancia de 2 km de una antena de transmisión de televisión estaba aumentada 1,83 veces (IC 95%=1,22-2,74), y que había una disminución estadísticamente significativa del riesgo con la distancia del transmisor ( $p=0.001$ ). Estos hallazgos eran consistentes sobre los períodos entre 1974-1980 y entre 1981-1986.

Hocking y cols (21) estudiaron la asociación entre el incremento de la incidencia y mortalidad por leucemia en proximidades de antenas de transmisión de televisión en Australia. La densidad energética era de  $8,0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  cerca de las antenas,  $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  a una distancia radial de 4 km, y de  $0,02 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  a 12 km. Para todas las edades, la incidencia para leucemia estaba aumentada en 1,24 veces (IC 95%=1,09-1,40). Considerando solo los niños, la incidencia de leucemia estaba aumentada en 1,58 veces (IC 59%=1,07-2,34) y la mortalidad aumentada en 2,32 veces (IC 95%=1,35-4,01). El RR para morbilidad para leucemia linfocítica infantil era 1,55 (IC 95%=1,00-2,41), y la para mortalidad 2,74 (CI95%=1.42-5.27). No se han detectado aumentos de incidencia o mortalidad por cáncer cerebral.

### **Efectos de la radiación electromagnética de teléfonos móviles o celulares**

Estos efectos han sido menos estudiados, para lo cual también es necesario considerar que los potenciales efectos diferidos de este tipo de radiación, de producirse, pueden ocurrir 20 o más años de iniciada la exposición, por lo cual es prematuro buscar y encontrar efectos evidentes. Sin embargo, es posible hacer extrapolaciones de los efectos causados por ondas electromagnéticas de emisores de televisión, que sí producen efectos evidentes, y del efecto de ondas de muy baja intensidad y de baja frecuencia (50 Hz) de tendidos eléctricos domiciliarios o equipos electrodomésticos, para los cuales sí se han demostrado efectos sobre la salud (*vide supra*).

Taurisano y col. (22) han demostrado elevación de temperatura superficial y profunda en tejidos de la cabeza expuestos localmente a radiación electromagnética de 900 MHz proveniente de teléfonos celulares, indicando que el efecto térmico puede

alcanzar al tejido cerebral, con sus consiguientes efectos adversos para la salud.

Se ha medido experimentalmente los efectos de la radiación electromagnética similar a la de algunos equipos telefónicos celulares, de 900 MHz, con frecuencias de repetición de 217 Hz y el ancho de pulso de 0,6 milisegundos. La exposición de animales de experimentación (ratones) a este tipo de radiación causa en éstos un riesgo relativo de 2,4 en relación a animales controles para desarrollar linfomas (23).

Hay algunos estudios preliminares que sugieren, pero de una manera no concluyente, una mayor frecuencia de tumores cerebrales en usuarios de teléfonos celulares (24). Recientemente se ha demostrado que existe un importante aumento del riesgo de desarrollar un neurinoma acústico (25) en el lado del uso del teléfono celular, por 10 o más años, riesgo relativo 3,9 (1,6-9,5).

Se ha demostrado también que los campos electromagnéticos emitidos por teléfonos celulares alteran los electroencefalogramas, principalmente durante actividades que involucren memoria (26). Esto muestra efectos sobre la función del sistema nervioso central. De igual manera, se ha demostrado que durante el uso de los teléfonos celulares, hay un cambio en la temperatura de tejidos vecinos, vasodilatación en ellos, y un aumento del contenido nasal de óxido nítrico (NO) por la cavidad nasal del lado del teléfono, pero no en la cavidad nasal contralateral (27).

Por último, se ha demostrado que la exposición in vitro de leucocitos humanos a radiación electromagnética de frecuencias usadas en telefonía celular causa un efecto genotóxico (aneuploidía del cromosoma 17) a intensidades que no producen efecto térmico, apoyando la hipótesis que los efectos que se producen ocurren por mecanismos no térmicos (28).

### **Efectos de la radiación electromagnética de antenas base de teléfonos celulares**

Es necesario considerar que la radiación electromagnética emitida por antenas retransmisoras de teléfonos celulares es transmitida de manera no uniforme en ambientes urbanos. La no uniformidad se debe al patrón de emisión desde las diversas formas y características de las antenas que emiten principalmente en forma direccionada, y a reflexiones ambientales, y en especial, a que los estándares se refieren a intensidades promedio y no a los posibles picos de alta intensidad que pueden encontrarse en algunas áreas. Sin embargo, aún cuando las normas

aceptadas no sean excedidas y por lo tanto, no se produzcan los efectos térmicos sobre las personas expuestas, es necesario considerar la existencia de efectos no térmicos, producidos con intensidades mucho más bajas de radiación, cuyos efectos crónicos o diferidos sólo podrán ser detectados por estudios epidemiológicos en el largo plazo (29).

En apoyo a la posibilidad anterior, se han detectado efectos biológicos tales como un aumento de la permeabilidad de la membrana de eritrocitos humanos con densidades atómicas de radiación electromagnética de 2450 MHz (30).

#### GRADOS DE CERTEZA DE LA RELACIÓN CAUSA-EFECTO DE LOS PRINCIPALES EFECTOS SOBRE LA SALUD CAUSADOS POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES “NO IONIZANTES”

Se conoce que los campos electromagnéticos están relacionados con una mayor incidencia de diversas formas de cáncer, entre éstas, leucemia, tumores cerebrales, cáncer de mama. No obstante, se han descrito otras enfermedades que parecen tener relación con la radiación electromagnética, tales como esclerosis lateral amiotrófica, enfermedad de Alzheimer, asma bronquial, enfermedades alérgicas, aumento de incidencia de abortos, dermatitis por monitor de televisor o computador, electrosensibilidad, alteraciones neuroconductorales, cardíacas y endocrinas, etc.

A continuación se presenta un listado de las diversas enfermedades en cuya etiopatogenia puede intervenir la radiación electromagnética, clasificadas de acuerdo a la certeza que se tiene respecto del papel etiológico de dichas radiaciones de acuerdo al estudio realizado en el Programa de Campos Electromagnéticos de California, bajo el patrocinio de las autoridades administrativas y de salud del Estado de California (31). En ese programa, además de clasificar las probabilidades de causa-efecto para las radiaciones electromagnéticas y diversas patologías mediante las pautas de la IARC (International Agency of Research on Cancer), estableció las “pautas-guía de California”, de acuerdo a las cuales tres revisores expertos calificaron la información existente de acuerdo a grado de confianza de los análisis estadísticos de los trabajos publicados, y establecieron un criterio para definir si existía una relación causa-efecto para cada patología, y la probabilidad de la ocurrencia de esa relación causa-efecto.

- Radiación electromagnética como etiología muy improbable (2 a 10% de probabilidad que exista una relación causa-efecto):
  - Alteraciones reproductivas o de desarrollo (excluyendo abortos)
    - malformaciones congénitas
    - bajo peso al nacimiento
  - Radiación electromagnética como carcinógeno universal (todos los cánceres)
- Radiación electromagnética como factor etiológico posible (10 a 50% de probabilidades de existencia de relación causa-efecto)
  - Enfermedad de Alzheimer
  - Cáncer de mama masculino
  - Cáncer cerebral en niños
  - Problemas cardíacos, incluyendo infarto del miocardio
  - Suicidio
- Radiación electromagnética como factor etiológico probable (más de 50% de probabilidades de existencia de relación causa-efecto)
  - Leucemia en niños
  - Cáncer cerebral en adultos
  - Aborto espontáneo
  - Esclerosis lateral amiotrófica (enfermedad de Lou Gehring)
- Radiación electromagnética posible o probable (desacuerdo entre evaluadores científicos)
  - Cáncer de mama femenino
  - Leucemia en adultos

#### **Cáncer.**

Más arriba se han descrito los principales estudios que sugieren que la exposición a radiación electromagnética, tanto ELF como de radiofrecuencia, aumenta el riesgo para desarrollar diversos tipos de tumores: leucemias y linfomas, cáncer de mama masculino y femenino, tumores cerebrales, cáncer de testículo, endometrio y colon, entre otros. La certeza de esta afirmación es variable de acuerdo al tipo de tumor y órgano del que se origina. Por ejemplo, se le ha asignado alta certeza (certeza mayor de un 50%) para la asociación de estas radiaciones con leucemia en niños y cáncer cerebral en adultos, mediana o baja certeza (entre un 10 y un 50%) para cáncer de mama masculino y para cáncer cerebral en niños, y muy baja o nula certeza

para la clasificación de la radiación electromagnética como un carcinógeno universal (todos los cánceres) (certeza menor de un 10%). Una certeza del 50% significa que existen 50% de posibilidades que la asociación entre ese cáncer y la radiación electromagnética exista realmente y el 50% complementario de posibilidades que la aparente asociación fuera causada por azar en forma independiente a las radiaciones electromagnéticas.

### **Leucemia en adultos.**

Kheifets ha hecho estudios metaanalíticos que han mostrado que la exposición a radiación electromagnética está asociada a un aumento de incidencia de leucemia en adultos (32), esta evidencia está basada en 43 estudios, de los cuales 23 tienen un RR sobre 1,0 y 20 sobre 1,2; el resumen metaanalítico de estos datos es 1,2 (IC 95%=1,12-1,24). La probabilidad de la asociación era entre un 10 y un 50% (31).

### **Leucemia infantil.**

Un metaanálisis realizado por Wartenberg (33) muestra un riesgo relativo de 1,4 (IC 95%=1,0-2,0). La probabilidad de la asociación era mayor que un 50% (31).

### **Cáncer cerebral en adultos.**

De los 29 estudios revisados por Kheifets en su metaanálisis (34), 23 tenían un RR superior a 1,0 ( $p=0,004$ ), y 15 estaban sobre 1,2 ( $p=0,14$ ); el RR=1,2 (IC 95%=1,1-1,3). La probabilidad de la asociación como causa-efecto era mayor que un 50% (31).

### **Cáncer cerebral infantil.**

La probabilidad de la asociación era entre un 10 y un 50% (31).

### **Cáncer de mama.**

Para el cáncer de mama femenino, debido a desacuerdo entre evaluadores del Programa de Campos Electromagnéticos de California, se ha establecido una probabilidad entre un 10 y un 90% para la asociación con exposición a radiación electromagnética; para cáncer de mama masculino, la probabilidad de asociación era entre un 10 y un 50% (31).

### **Abortos espontáneos.**

Se ha demostrado que la exposición a radiación electromagnética, tanto ELF como la proveniente de terminales de video, incrementa en forma importante la incidencia de abortos espontáneos, principalmente al inicio del embarazo. Estudios recientes han permitido estimar, para el Estado de California, que el 40% de los 60.000 abortos espontáneos que ocurren al año, es decir, 24.000 abortos, son causados por radiaciones electromagnéticas (35-37).

### **Efectos neuroconductuales.**

Se ha demostrado la potenciación del efecto del fármaco sicoactivo clorodiazepóxido bajo la exposición de radiaciones electromagnéticas de baja intensidad (2450 MHz, pulsos de 2  $\mu$ segundos, 550 pulsos por segundo, 10 W/m<sup>2</sup>) (38). Se han demostrado también alteraciones neuroconductuales en animales de experimentación sometidos a una prueba de laberinto y a aprendizaje espacial (39, 40). También se han detectado alteraciones bioquímicas bajo el efecto de radiación electromagnética de 61 GHz, la que induce la liberación de opioides cerebrales (41). Todo lo anterior indica que este tipo de radiaciones, por distintos mecanismos propuestos, causan un efecto a distinto nivel en el funcionamiento del sistema nervioso central. Esto concuerda con las descripciones del aumento de la tasa de suicidios en trabajadores de líneas eléctricas (RR=2,0, IC 95%=1,1-3,8) y en operadores de plantas eléctricas (RR=2,7, IC 95%=1,3-55,5) (42). También se ha demostrado una correlación dependiente de la dosis con la exposición acumulativa, expresada en microtesla/año, con 0,05 a 0,11  $\mu$ T, el RR=1,6 (IC 95%=1,0-2,7), y con exposiciones >0,12  $\mu$ T, el RR=1,7 (IC 95%=1,0-2,9) (43).

### **Esclerosis lateral amiotrófica (enfermedad de Lou Gehring).**

Diversos autores han demostrado una correlación entre la exposición a radiación electromagnética y esta enfermedad (44, 45). Ahlbom (46) ha calculado los riesgos metaanalíticos a partir de estudios previamente publicados relacionando exposición a campos magnéticos u ocupaciones eléctricas, y encontró un RR=1,5 (I.C. 95% 1,2-1,7), y en dos estudios de cohorte que asignaron exposiciones electromagnéticas según matriz de exposiciones por ocupación, un RR de 2,7 (I.C. 1,4-5,0).

## Enfermedad de Alzheimer.

Sobel y cols., en dos estudios, demostraron una asociación entre exposición ocupacional a campos electromagnéticos y enfermedad de Alzheimer, con  $RR = 3,0$  y  $3,9$  respectivamente, con  $IC\ 95\% = 1,6-5,4$  y  $1,5$  y  $10,6$  (47, 48). Considerando que esta asociación fue significativa sólo en dos estudios y en varios otros la diferencia estadísticamente significativa no fue detectada, de acuerdo a las guías desarrolladas para el Programa de Campos Electromagnéticos de California (31) ha considerado con menor certeza a los campos electromagnéticos como causales de enfermedad de Alzheimer que como determinantes de esclerosis lateral amiotrófica; considerando por ejemplo, que otros factores confundentes tales como shocks eléctricos o corrientes eléctricas de contacto pudieron haber, alternativamente, influido en el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer. El rol de la exposición reciente a radiación electromagnética en la enfermedad de Alzheimer se ve apoyada por el estudio de Feychting y cols., en donde, en un estudio comparativo dentro de una población de mellizos y gemelos en Suecia se vio que la ocupación reciente con exposiciones ocupacionales mayores de  $0,2\ \mu T$  ( $RR=2.4$ ,  $IC95\%=0.8-6.9$ , y  $RR=2.7$ ,  $IC95\%=0.9-7.8$ ), pero no la más antigua u ocupación original ( $RR=0,8$ ,  $IC\ 95\%=0,3-2,3$ ), estaba estadísticamente relacionada con la enfermedad de Alzheimer, y que la exposición ocupacional reciente estaba relacionada con la demencia ( $RR=3.3$ ,  $IC95\%=1.3-8.6$ , y  $RR=3.8$ ,  $IC95\%=1.4-10.2$ ) (49).

## Enfermedad cardiovascular.

Sastre demostró que la exposición a  $200\ mG$  causa una disminución en la variabilidad de la frecuencia cardíaca en la especie humana (50). Se ha asociado una disminución de la variabilidad en la frecuencia cardíaca un mayor riesgo para la ocurrencia de eventos cardiovasculares (51). En general, una disminución de la variabilidad biológica en respuesta a diversos estímulos refleja una alteración de los mecanismos de regulación homeostática que pueden prevenir el desarrollo de eventos biomédicos tales como infarto de miocardio; estas alteraciones de los mecanismos homeostáticos suelen ocurrir cuando el individuo está sometido a agentes externos que sobrepasan el límite de la regulación homeostática en respuesta a dichos estímulos (52). En base a

estos antecedentes, Savitz y colaboradores (53) investigaron, por separado, las muertes causadas por arritmia, infarto agudo del miocardio, arteriosclerosis y enfermedad coronaria crónica en 138.905 trabajadores empleados en 5 empresas de electrodomésticos, y ha seguido su mortalidad entre 1950 a 1986. En este estudio, se ha calculado la exposición acumulativa a campos magnéticos basado en 2841 mediciones de campo magnético, y se ha establecido una correlación entre exposición acumulativa en  $\mu T$ -años y muertes por arritmia y por infarto agudo de miocardio (subgrupo considerado como vulnerable a la interferencia con el control autonómico de la frecuencia cardíaca), pero no hubo correlación con las otras causas de muerte por causas cardíacas. Los riesgos relativos para exposiciones a  $0$  a  $< 0,6$ ,  $0,6$  a  $< 1,2$ ,  $1,2$  a  $< 2,0$ ,  $2,0$  a  $< 3,4$ , y  $> 4,3$ .  $\mu T$ -años era de  $RR=1,00$  ( $IC\ 95\%=1,0-1,0$ ),  $RR=1,14$  ( $IC\ 95\%=1,04-1,26$ ),  $RR=1,19$  ( $IC\ 95\%=1,08-1,31$ ),  $RR=1,35$  ( $IC\ 95\%=1,22-1,48$ ) y  $RR=1,62$  ( $IC\ 95\%=1,45-1,82$ ) respectivamente (53).

## MECANISMOS PROPUESTOS PARA LOS EFECTOS BIOLÓGICOS DE RADIACIONES “NO IONIZANTES”

Los mecanismos propuestos son:

- \* Efectos térmicos.
- \* Efectos no térmicos
  - \* melatonina
  - \* ferritina
  - \* ornitín descarboxilasa y poliaminas relacionadas
  - \* alteraciones en la membrana celular
  - \* aumento de permeabilidad de la barrera hematoencefálica
  - \* proteínas de choque térmico (HSP)
  - \* cambios endocrinos
  - \* mastocitos e histamina
  - \* mutagenicidad
  - \* imprinting

## Efectos térmicos

Las radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia, dependiendo de su intensidad, producen una elevación térmica de los tejidos. La mayoría de las normas internacionales consideran que los mecanismos implicados en los efectos biológicos principales involucran un efecto térmico, y se basan en los efectos térmicos inducidos por estas radiaciones.



Una elevación de la temperatura puede afectar el funcionamiento de diversos sistemas biológicos y si es más pronunciada, causar un daño irreversible. No obstante, aún las elevaciones moderadas inducen la síntesis, por parte de las células afectadas, de proteínas de choque térmico (HSP), las cuales por un lado protegen a las células contra las altas temperaturas y otras condiciones de stress físico o químico, pero también protegen a las células neoplásicas de la acción de agentes farmacológicos terapéuticos usados en el tratamiento del cáncer y pueden proteger a la célula cancerosa contra su destrucción por el sistema inmunológico. Además, como las HSP intervienen en la modulación de la acción de diversas hormonas, pueden afectar la acción de éstas provocando alteraciones de diverso tipo e incluso favoreciendo el desarrollo de cánceres hormono-dependientes (vide infra).

Los tejidos que más se alteran son los que tienen un mayor porcentaje de agua en ellos (sistema nervioso central, globo ocular), lo cual se manifiesta frecuentemente como cefaleas, insomnio, y otras alteraciones bajo el efecto de exposición a este tipo de radiaciones. En órganos con poca o nula circulación sanguínea (globo ocular) el daño puede ser mayor puesto que la pérdida de calor es más lenta.

Uno de los efectos que es considerado por algunos autores como térmico es el aumento de permeabilidad de la barrera hematoencefálica, lo que permite el paso de diversas moléculas desde la sangre al cerebro, entre ellas, moléculas tóxicas que normalmente son detenidas por esta barrera (54).

## Efectos no térmicos

Existen efectos que se producen bajo intensidades mucho menores que aquellas que producen efectos térmicos. Se considera que la absorción de energía bajo 0,08 W/kg para la población general y bajo 0,4 W/kg para los trabajadores no estaría produciendo efectos térmicos. Sin embargo, bajo esos niveles se pueden estar produciendo efectos por mecanismos microtérmicos, por inhibición de la secreción de la hormona melatonina por igual mecanismo que el de la luz, por interacción con los mecanismos de repolarización de neuronas, alteración en la estructura y función de diversas enzimas, alteración de canales iónicos, u otros cambios a través de variados mecanismos, que serán analizados más abajo.

Entre los efectos microtérmicos se describe la percepción auditiva de las ondas de radar. Se piensa

que estas radiaciones producen elevaciones de temperatura muy rápidas pero muy débiles ( $10^{-6}$  °C en un microsegundo). El gradiente térmico genera ondas de presión termoelásticas que se propagan a través del tejido cerebral hasta la cóclea, en donde ese estímulo es percibido como un sonido (55).

Pueden generarse también efectos indirectos, por ejemplo, corrientes eléctricas en implantes metálicos en el organismo, que causan molestias o bien alteran el funcionamiento de estos aparatos (por ejemplo, marcapasos).

Se considera que la mayoría de los efectos descritos más arriba, como el aumento de la morbimortalidad por diversos tipos de cáncer bajo el efecto de radiaciones electromagnéticas de diverso tipo, tanto las de muy baja frecuencia (50 Hz), como las de frecuencias mayores (radiofrecuencias, frecuencias de microondas), son inducidos por mecanismos no térmicos.

La radiación electromagnética también aumenta la proliferación celular, en especial en algunas líneas celulares tumorales (56), lo que también puede contribuir a incrementar el desarrollo de tumores.

**Melatonina.** Stevens y cols (57, 58) propusieron que luz nocturna o radiaciones electromagnéticas causan una disminución de la secreción de melatonina. Se ha demostrado que la melatonina disminuye la tumorigénesis mamaria en animales de experimentación. Watson y cols. (59) demostraron que la exposición continua a campos electromagnéticos potenciaba la proliferación celular de líneas de células de cáncer de próstata y cáncer de endometrio.

**Ferritina.** Shao (60) propuso que la ferritina, marcador tumoral que se presenta en altas concentraciones en pacientes portadores de varios tipos de cáncer, puede estar involucrada en el desarrollo de tumores inducidos por radiación electromagnética.

**Ornitín descarboxilasa y poliaminas relacionadas.** Se las ha relacionado con la inducción de crecimiento tumoral. Se ha demostrado que la exposición a diversas radiaciones electromagnéticas a intensidades bajas induce en diversos cultivos celulares y también in vivo aumento de la concentración celular de ornitín descarboxilasa (61). Estos antecedentes permiten suponer un posible mecanismo que favorecería la carcinogénesis inducida por estas radiaciones.

**Alteraciones en la membrana celular.** Se ha demostrado que las radiaciones electromagnéticas afectan diversos canales iónicos de las membranas celulares (62), aumentan el paso de calcio a través de las membranas celulares (63), proceso en el cual

parecen estar involucrados los radicales libres (64).

**Aumento de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica.** Esta aumenta en forma considerable bajo la acción de radiación electromagnética (65), permitiendo el paso de sustancias tóxicas que normalmente no pueden atravesar esta barrera, afectando así el sistema nervioso central.

**Proteínas de choque térmico (HSP).** Estas pueden también ser inducidas por exposición a niveles subtermostáticos de radiación electromagnética, tal como se ha demostrado experimentalmente en el nemátodo *Caenorhabditis elegans* (66). Las proteínas de choque térmico, como se ha mencionado más arriba, pueden proteger a las células cancerosas contra su rechazo inmunológico y a la vez modificar la acción de diversas hormonas.

**Cambios endocrinos.** Se han descrito aumento de secreción de opioides bajo el efecto de radiaciones electromagnéticas (41). También se conoce que la melatonina puede modificar los niveles de estrógeno y de prolactina, lo cual puede modificar el riesgo y el pronóstico para varios cánceres hormono-dependientes. Las proteínas de choque térmico también pueden modificar la acción de diversas hormonas vía interacción con receptores hormonales.

**Mutagenicidad.** Existen diversos estudios que demuestran efectos mutagénicos en animales de experimentación o en células en cultivo. No obstante, ya existe información en el ser humano. Esta información se basa en un estudio de una población de 235.635 niños nacidos poco tiempo después de dos censos diferentes en Suecia; sobre los cuales se realizó un seguimiento desde su nacimiento hasta los 14 años de edad, y los casos de cáncer fueron obtenidos del registro de cáncer sueco. No se encontró una asociación entre cáncer y exposición ocupacional materna a los campos magnéticos. Por el contrario, se demostró que la exposición paterna  $\geq 0,3$  microTesla estaba asociada a un aumento de riesgo de leucemia infantil (RR=2,0, IC 95%=1,1-3,5) (67)

**Imprinting.** La exposición perinatal o durante la infancia a radiación electromagnética puede provocar cambios en la diferenciación de diversos tipos celulares, que se manifiestan mucho más tarde como cambios irreversibles cuantitativos y cualitativos en receptores de diversas hormonas. Esto puede causar en forma diferida la predisposición para desarrollar diversas patologías en etapas más tardías de la vida (68-70). La inducción de proteínas de choque térmico es un claro indicio que el fenómeno imprinting puede desarrollarse, en forma directa por la radiación

electromagnética, o bien indirectamente, a través de la modificación de los niveles de diversas hormonas que inducen imprinting, tales como las hormonas del stress (catecolaminas, glucocorticoides, hormona de crecimiento, prolactina, endorfinas) y la melatonina.

Un posible efecto causado por este mecanismo es el desarrollo de cáncer cerebral desarrollado en forma diferida después de la exposición prenatal a campos electromagnéticos ELF por el uso de frazadas eléctricas (RR=2,5, IC 95%=1,1-5,5) (71).

## CONCLUSIONES

La presente publicación resume los efectos de la radiación electromagnética sobre la salud. Existen evidencias científicamente comprobadas que por un lado la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (50 o 60 Hz), tales como los producidos por la corriente eléctrica domiciliar y los producidos por tendidos y transformadores de alta tensión, y por otro lado las radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencias o de frecuencias de microondas, todas ellas constituyen un factor de riesgo para la salud humana. En especial, aumentan el riesgo para el desarrollo de diversos tipos de cáncer. Estos efectos son causados por intensidades menores que aquellas que causan efectos térmicos, en relación a la cual existe legislación. En contraposición a esto, existen también trabajos epidemiológicos que no han demostrado ningún efecto adverso de las radiaciones electromagnéticas sobre la salud. Esta controversia se puede explicar por el número bajo de casos en los estudios con resultados negativos, o por la alta variabilidad en la población bajo estudio. La capacidad estadística para discriminar entre dos variables diferentes entre sí es directamente proporcional al número  $n$  de casos en cada una de las variables e inversamente proporcional a la variabilidad dentro de las poblaciones bajo estudio. Además, el desarrollo del cáncer por exposición a radiaciones electromagnéticas es un efecto diferido, es decir, se desarrolla después de un período de latencia que puede ser bastante largo. En el caso específico de los teléfonos móviles o celulares y el de las antenas de retransmisión de dichos teléfonos, la información es aún insuficiente por el limitado tiempo de su uso (72). No obstante, la semejanza del tipo de radiación electromagnética con aquella en la que se han demostrado efectos biológicos hace suponer con alta probabilidad que los efectos adversos para la salud

también se producen, y que al prolongar el estudio de los efectos en el tiempo, se podrán detectar dichos efectos. Aún cuando ya se han detectado algunas evidencias preliminares que apoyan dicha hipótesis (24), se necesita profundizar la investigación sobre el potencial riesgo a largo plazo por exposición a campos electromagnéticos derivados de los teléfonos celulares y sus antenas retransmisoras. Además, para los diferentes tipos e intensidades de radiaciones

electromagnéticas de baja intensidad a las cuales está expuesto el hombre, se requiere investigar los posibles efectos diferidos sobre diferentes órganos y sistemas, causados por exposición prenatal o perinatal a ellas. Los resultados de estas investigaciones como la información ya publicada debe ser aplicada para modificar la legislación y reglamentación presente y aplicar el principio precautorio para proteger la salud de la población.

*Agradecimientos: Financiado en parte por el Departamento de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Chile, proyecto DID SOO-11/2 "Regulación de la Contaminación Electromagnética en Chile" (asesoría externa).*

## Referencias

- Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *Brit Med J* 1993; 307:891-895
- Olsen JH, Jensen JK, Nielsen A, Schulgen G. Electromagnetic fields from high-voltage installations and cancer in childhood. *Ugeskr Laeger* 1994; 156:2579-2584.
- Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. *Am J Epidemiol* 1993; 138:467-481
- Li CY, Thériault G, Lin RS. Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. *Epidemiology* 1997; 8:25-30
- Miller MA, Murphy JR, Miller TI, Ruttenber AJ. Variation in cancer risk estimates for exposure to powerline frequency electromagnetic fields: a meta-analysis comparing EMF measurement methods. *Risk Anal* 1995; 15:281-287
- Wertheimer N, Savitz DA, Leeper E. Childhood cancer in relation to indicators of magnetic fields from ground current sources. *Bioelectromagnetics* 1995; 16:86-96
- Dockerty JD, Elwood JM, Skegg DC, Herbison GP. Electromagnetic field exposures and childhood cancers in New Zealand. *Cancer Causes Control* 1998; 9:299-309
- Bates MN. Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: the epidemiologic evidence. *Environ Health Perspect* 1991; 95:147-156
- Loomis DP, Savitz DA, Ananth CV. Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States. *J Natl Cancer Inst* 1994; 86:921-925
- Caplan LS, Schoenfeld ER, OLeary ES, Leske MC. Breast cancer and electromagnetic fields--a review. *Ann Epidemiol* 2000; 10:31-41
- Kliukiene J, Tynes T, Martinsen JI, Blaasaas KG, Andersen A. Incidence of breast cancer in a Norwegian cohort of women with potential workplace exposure to 50 Hz magnetic fields. *Am J Ind Med* 1999; 36:147-154
- Demers PA, Thomas DB, Rosenblatt KA, Jimenez LM, McTiernan A, Stalsberg H, Stemhagen A, Thompson WD, Curnen MG, Satariano W. Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men. *Am J Epidemiol* 1991; 134:340-347
- Guénel P, Raskmark P, Andersen JB, Lynge E. Incidence of cancer in persons with occupational exposure to electromagnetic fields in Denmark. *Br J Ind Med* 1993; 50:758-764
- Tynes T, Andersen A, Langmark F. Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. *Am J Epidemiol* 1992; 136:81-88
- Armstrong B, Thériault G, Guénel P, Deadman J, Goldberg M, Héroux P. Association between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Quebec, Canada, and France. *Am J Epidemiol* 1994; 140:805-820
- Guénel P, Nicolau J, Imbernon E, Chevalier A, Goldberg M. Exposure to 50-Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors, and other cancers among French electric utility workers. *Am J Epidemiol* 1996; 144:1107-1121
- Stenlund C, Floderus B. Occupational exposure to magnetic fields in relation to male breast cancer and testicular cancer: a Swedish case-control study. *Cancer Causes Control* 1997; 8:184-191
- Floderus B, Stenlund C, Persson T. Occupational magnetic field exposure and site-specific cancer incidence: a Swedish cohort study. *Cancer Causes Control* 1999; 10:323-332

19. Savitz DA, Loomis DP. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol* 1995; 141:123-134
20. Dolk H, Shaddick G, Walls P, Grundy C, Thakrar B, Kleinschmidt I, Elliott P. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield transmitter. *Am J Epidemiol* 1997; 145:1-9
21. Hocking B, Gordon IR, Grain HL, Hatfield GE. Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med J Aust* 1996; 165:601-605
22. Taurisano MD, Vorst AV. Experimental thermographic analysis of thermal effects induced on a human head exposed to 900-MHz fields of mobile phones. *IEEE Trans Microwave Theor Tech* 2000; 48:2022-2032
23. Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finni J, Harris AW. Lymphomas in E-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 1997; 147: 631-640
24. Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A, Mild KH. Use of cellular telephones and the risk of brain tumors. A case-control study. *Int J Oncol* 1999; 15:113-116
25. Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M. Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology* 2004; 15:653-659
26. Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *Int J Radiat Biol* 2000; 76: 1659-1667
27. Paredi P, Kharitonov SA, Hanazawa T, Barnes PJ. Local vasodilator response to mobile phones. *Laryngoscope* 2001; 111:159-162
28. Mashevich M, Folkman D, Kesar A, Barbul A, Korenstein R, Jerby E, Avivi L. Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. *Bioelectromagnetics* 2003; 24:82-90
29. Bernardi P, Cavagnaro M, Pisa S, Piuze E. Human exposure to radio base-station antennas in urban environment. *IEEE Trans Microwave Theor Tech* 2000; 48:1996-2001
30. Sajin G, Kovacs E, Moraru RP, Savopol T, Sajin M. Cell membrane permeabilization of human erythrocytes by athermal 2450-MHz microwave radiation. *IEEE Trans Microwave Theor Tech* 2000; 48:2072-2075
31. Davis G, Johnson G, Bontá DM. An evaluation of the possible risks from electric and magnetic fields (EMFs) from power lines, internal wiring, electrical occupations and appliances. Draft 3 for public comment. California EMF Program, State of California, Oakland, California (2001) 329 p.
32. Kheifets LI, Afifi AA, Buffler PA, Zhang ZW, Maitkin CC. Occupational electric and magnetic field exposure and leukemia. A meta-analysis. *J Occup Environ Med* 1997; 39: 1074-1091
33. Wartenberg D. Residential EMF exposure and childhood leukemia: meta-analysis and population attributable to risk. *Bioelectromagnetics* 2001; Suppl 5:S86-S104
34. Kheifets LI, Afifi AA, Buffler PA, Zhang ZW. Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer: a meta-analysis. *J Occup Environ Med* 1995; 37:1327-1341
35. Lee GM, Neutra RR, Hristova L, Yost M, Hiatt RA. The use of electric bed heaters and the risk of clinically recognized spontaneous abortion. *Epidemiology* 2000; 11:406-415
36. Lee GM, Neutra RR, Hristova L, Yost M, Hiatt RA. A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages. *Epidemiology* 2002; 13:21-31
37. Li DK, Odouli R, Wi S, Janevic T, Golditch I, Bracken TD, Senior R, Rankin R, Iriye R. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. *Epidemiology* 2002; 13:9-20
38. Thomas JR, Burch LS, Yeandle SC. Microwave radiation and chlordiazepoxide: Synergistic effects on fixed-interval behaviour. *Science* 1979; 203:1357
39. Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat. *Bioelectromagnetics* 1994; 15:95-104
40. Lai, H. Spatial learning deficit in the rat after exposure to a 60Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 1996; 17:494-496
41. Rojavin MA, Cowan A, Radziewsky A, Ziskin MC. Anti-puritic effect of millimeter waves in mice: Evidence for opioid involvement. *Life Sci* 1998; 63:PL251-PL257
42. Kelsh MS Jr. Mortality among a cohort of electric utility workers, 1960-1991. *Am J Industr Med* 1997; 31:534-544
43. van Wijngaarden E, Savitz DA, Kleckner RC, Cai J, Loomis D. Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility worker: a nested case-control study. *Occup Environ Med* 2000; 57:258-263

44. Savitz DA, Loomis DP, Tse CK. *Electrical occupations and neurodegenerative disease: analysis of U.S. mortality data.* *Ach Environ Health* 1998; 53:71-74
45. Johansen C, Olsen JH. *Mortality from amyotrophic lateral sclerosis, other chronic disorders, and electric shocks among utility workers.* *Amer J Epidemiol* 1998; 15;148: 362-368
46. Ahlbom A. *Neurodegenerative diseases, suicide and depressive symptoms in relation to EMF.* *Bioelectromagnetics* 2001; Suppl 5: S132-S143
47. Sobel E, Davanipour Z, Sulkava R, Erkinjuntti T, Wikstrom J, Henderson VW, Buckwalter G, Bowman JD, Lee PJ. *Occupations with exposure to electromagnetic fields: a possible risk factor for Alzheimer's disease.* *Amer J Epidemiol.* 1995; 142:515-524
48. Sobel E, Dunn M, Davanipour Z, Qian Z, Chui HC. *Elevated risk of Alzheimer's disease among workers with likely electromagnetic field exposure.* *Neurology* 1966; 47:1477-1481.
49. Feychting M, Pedersen NL, Svedberg P, Floderus B, Gatz M. *Dementia and occupational exposure to magnetic fields.* *Scand J Work Environ Health* 1998; 24:46-53
50. Sastre A, Cook MR, Graham C. *Nocturnal exposure to intermittent 60 Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm.* *Bioelectromagnetics* 1998; 19:98-106
51. Tsuji H, Larson MG, Venditti FJ Jr, Manders ES, Evans JC, Feldman CL, Levy D. *Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. The Framingham heart study.* *Circulation* 1996; 94:2850-2855
52. Silva H, Tchernitchin AN, Tchernitchin NN. *Low doses of estradiol-17 $\beta$  degranulate blood eosinophil leukocytes; high doses alter homeostatic mechanisms.* *Med Sci Res* 1997; 25:201-204
53. Savitz DA, Liao D, Sastre A, Kleckner RC, Kavet R. *Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers.* *Epidemiology* 1999; 149: 135-142
54. Lin JC, Lin MF. *Microwave hyperthermia-induced blood-brain barrier alterations.* *Radiat Res* 1982; 89:77-87
55. Chou CK, Yee KC, Guy AW. *Auditory response in rats exposed to 2450 MHz electromagnetic fields in a circularly polarized waveguide.* *Bioelectromagnetics* 1985; 6: 323-326
56. Cleary SF, Cao G, Liu LM. *Effects of isothermal 2450 MHz microwave radiation on the mammalian cell cycle: comparison with effects of isothermal 27 MHz radiofrequency radiation exposure.* *Bioelectrochem Bioenerget* 1996; 39:167-173
57. Stevens RG, Davis S, Thomas DB, Anderson LE, Wilson BW. *Electric power, pineal function, and the risk of breast cancer.* *FASEB* 1992; 6:853-860
58. Stevens RG, Davis S. *The melatonin hypothesis: electric power and breast cancer.* *Environ Health Perspect* 1996; 104 Suppl 1:135-140
59. Watson JM, Parrish EA, Rinehart CA. *Selective potentiation of gynecologic cancer cell growth in vitro by electromagnetic fields.* *Gynec Oncol* 1998; 71:64-71
60. Shao T. *EMF-cancer link: the ferritin hypothesis.* *Med Hypothesis* 1993; 41:28-30
61. Byus CV, Hawel L. *Additional considerations about bioeffects, in Mobile Communications Safety (ed. by Q.Balzano and J.C. Lin); Chapman and Hall London 1997; pp 133-144*
62. Repacholi MH. *Low Level Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields: Health Effects and Research Needs.* *Bioelectromagnetics* 1998; 19:1-19
63. Dutta SK, Subramanian A, Ghosh B, Parshad R. *Microwave radiation-induced calcium efflux from brain tissue in vitro.* *Bioelectromagnetics* 1984; 5:71-78
64. Phelan AM, Lange DG, Kues HA, Luty GA. *Modification of membrane fluidity in melanin containing cells by low level microwave radiation.* *Bioelectromagnetics* 1992; 13: 131-146
65. Salford LG, Brun A, Stureson K, Eberhardt JL, Persson BRR. *Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, 200Hz.* *Microsc Res Tech* 1994; 27:535-542
66. de Pomerai D, Daniells C, David H, Allan J, Duce I, Mutwakil M, Thomas D, Sewell P, Tattersall J, Jones D, Candido P. *Microwave radiation induces a heat-shock response and enhances growth in the nematode *Caenorhabditis elegans*.* *IEEE Trans Microwave Theor Tech* 2000; 48:2076-2081
67. Feychting M, Floderus B, Ahlbom A. *Parental occupational exposure to magnetic fields and childhood cancer (Sweden).* *Cancer Causes Control* 2000; 11:151-156

68. Csaba G, Inczefi-Gonda A, Dobozy O. Hormonal imprinting by steroids: a single neonatal treatment with diethylstilbestrol or allylestrenol gives a rise to a lasting decrease in the number of rat uterine receptors. *Acta Physiol Hung* 1986; 67:202-212
69. Tchernitchin AN, Tchernitchin N. Imprinting of paths of heterodifferentiation by prenatal or neonatal exposure to hormones, pharmaceuticals, pollutants and other agents or conditions. *Med Sci Res* 1992; 20:391-397
70. Tchernitchin AN, Tchernitchin NN, Mena MA, Unda C, Soto C. Imprinting: perinatal exposures cause the development of diseases during the adult age. *Acta Biol Hung* 1999; 50:425-440
71. Savitz DA, John EM, Kleckner RC. Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1990; 131:763-773
72. Moulder JE, Erdreich LS, Malyapa RS, Merritt J, Pickard WF. Cell phones and cancer: What is the evidence for a connection? *Radiat Res* 1999; 151:513-531