

INFORME AL PROYECTO "LA REGULACIÓN JURÍDICA DE LA CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN CHILE"

Efectos de la Radiación Electromagnética sobre la Salud

Andrei N. Tchernitchin^{1,2}

¹Laboratorio de Endocrinología Experimental y Patología Ambiental, Instituto de Ciencias Biomédicas I.C.B.M., Facultad de Medicina, Universidad de Chile; ²Comisión de Salud y Medio Ambiente, Colegio Médico de Chile

1. Presentación

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 presente informe es el resultado de la asesoría externa al proyecto DID (Universidad de Chile) "La Regulación Jurídica de la Contaminación Electromagnética en Chile", ejecutado por el Centro de Derecho Ambiental de la Facultad de Derecho de la Universidad de Chile, y es una revisión de los efectos adversos sobre la salud de algunas radiaciones electromagnéticas no ionizantes.

2. Objetivo

El objetivo de la presente revisión 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 Chile conforme al principio precautorio y al principio de acceso a la información.

3. Metodología Empleada

Se ha realizado una revisión bibliográfica principalmente basada en datos obtenidos de Medline (revistas biomédicas con comité editorial de pares, e indexadas), y también, en referencias obtenidas por contacto directo con los investigadores o de informes de comités expertos (mencionados más abajo). Los trabajos que a partir de la lectura de los resúmenes de ellos y/o las referencias a ellos de los Informes de Comités de Expertos, fueron considerados los más importantes, fueron obtenidos para un análisis detallado de ellos, y en especial de los resultados obtenidos, como de los materiales y métodos utilizados, y en especial de la metodología del análisis estadístico.

Se analizaron además los siguientes informes realizados por comités de expertos y sus conclusiones: (a) The California EMF program, 2001; (b) The Independent Expert Group on Mobile Phones - Informe Stewart, Inglaterra, 2001; (c) The telephones mobiles, leurs stations de base et la santé - Etat des connaissances et recommandations - Informe para la Direction Generale de la Santé, Francia, 2001; (d) A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices - Expert pannel report prepared at the request of the Royal Society of Canada for Health Canada, 1999; (e) informes de la International Commission on non-ionizing Radiation Protection ICNIRP; (f) informes de la National Radiological Protection Board NRBP, Inglaterra.

La máxima importancia se asignó a los resultados obtenidos de publicaciones realizadas en revistas científicas con comité editorial, puesto que la validez estadística de las comparaciones presentadas o la lógica científica de las conclusiones obtenidas fue analizada por un comité editorial de pares con vasta experiencia científica en el tema.

En el análisis es necesario considerar que la validación estadística de cualquier efecto sobre la salud causado por un agente físico o químico depende del tamaño de la muestra bajo estudio y del número de casos afectados encontrado. De esta manera, para una misma población, un efecto adverso se demuestra (es decir, las diferencias son estadísticamente significativas) si el número "n" de personas sometidas al estudio es grande y el número de personas afectadas es elevado. Para la misma población anterior, si el tamaño de la muestra disminuye (el número "n" es menor), las diferencias dejan de ser estadísticamente significativas y el efecto adverso que realmente existe ya no se puede demostrar. En otras palabras, al disminuir el tamaño de la población bajo estudio, el método ya no permite discriminar entre las diferencias que se detectan en una población de mayor tamaño.

También es necesario considerar que los métodos estadísticos permiten calcular la probabilidad con que las diferencias entre grupos sean reales y que no se deban al azar, pero no pueden demostrar ausencia de efecto aunque estas diferencias no se hayan podido detectar. En consecuencia, en este estudio se mencionan sólo los principales efectos que han sido demostrados con significancia estadística; los resultados negativos sólo se mencionan a manera de ejemplo en donde sea importante para el análisis de la información presentada.

4. Clasificación de la Radiación Electromagnética No Ionizante

La figura y la tabla describen las frecuencias, longitudes de onda y fuentes de las principales radiaciones electromagnéticas a las cuales están expuestos los seres humanos.

La longitud de onda de la radiación ionizante es inferior a 350 nm (frecuencia mayor que 10^{15} Hz). Las radiaciones consideradas como "no ionizantes" se caracterizan por una longitud de onda sobre los 380 nm y una frecuencia menor de 10^{15} Hz. Sin embargo, es necesario considerar que radiaciones de energía menores son capaces de desplazar electrones de moléculas orgánicas a niveles de energía mayores, los que al volver a los niveles energéticos anteriores liberan la diferencia de energía, que en algunos casos puede ser en forma de luz visible, que pueden hacerse evidentes mediante microscopia

de fluorescencia. Dichos cambios energéticos en moléculas orgánicas pueden causar o modificar diversas reacciones químicas en el organismo, y de esta manera, ser responsables de los efectos sobre la salud de las radiaciones electromagnéticas.

La evidencia científica actual ha demostrado claramente efectos adversos para la salud de las radiaciones "no ionizantes" de alta intensidad (inducción de corrientes eléctricas y efectos térmicos, principalmente), que producen una elevación de la temperatura de órganos y tejidos, y los efectos que producen son denominados efectos térmicos. Éstos son bien conocidos y no van a ser analizados en detalle.

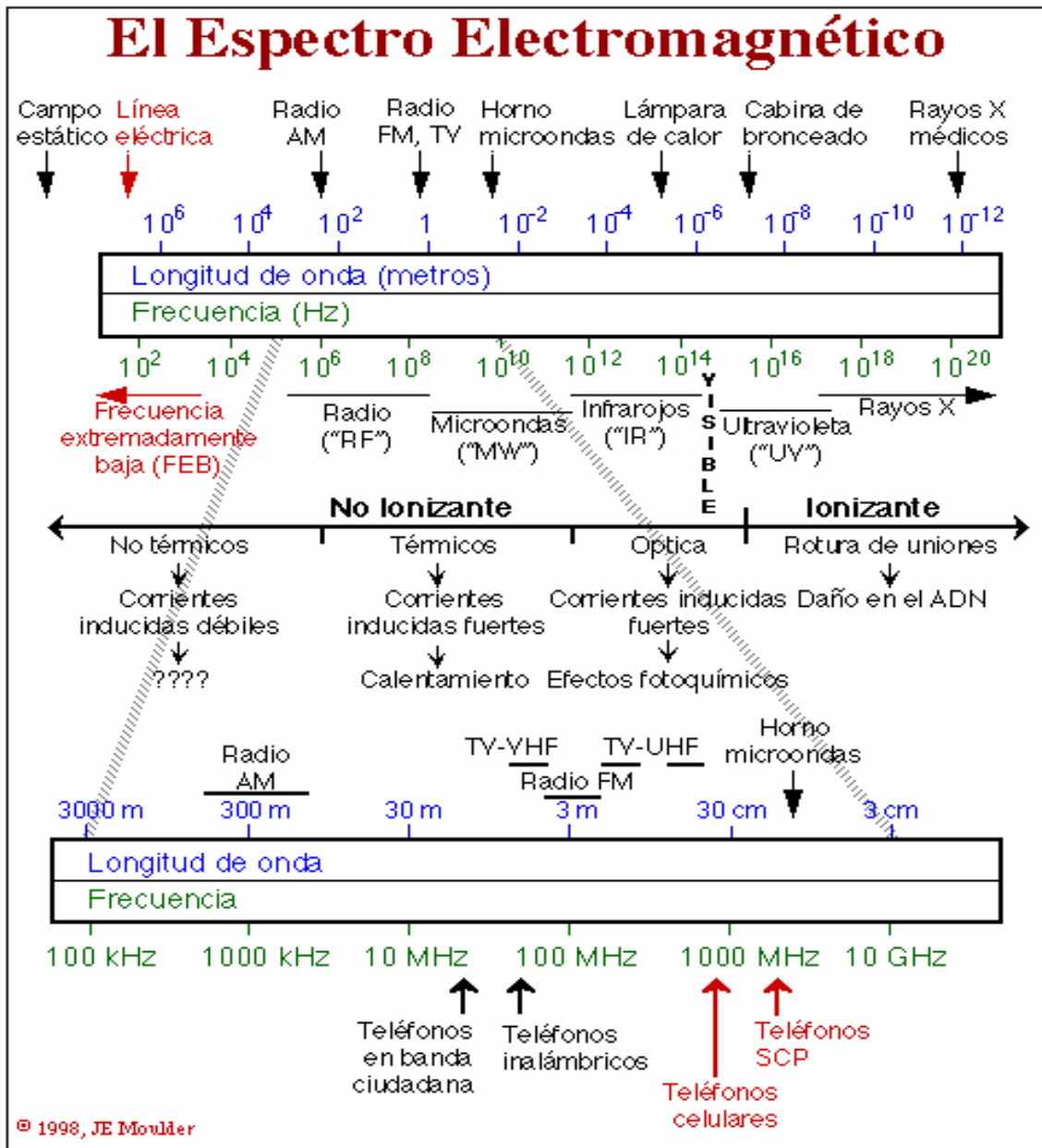


Figura. Radiación electromagnética. Reproducido con permiso de Moulder (1).

También existen evidencias que sugieren que las radiaciones electromagnéticas "no ionizantes" de baja intensidad, que no alcanzan a producir efectos térmicos, causan otros efectos biológicos menos probados, tales como el desarrollo de diversos tipos de cáncer y alteraciones en el sistema nervioso central, los que serán analizados en detalle más abajo.

Tabla. Características de principales radiaciones electromagnéticas cuyo potencial efecto sobre la salud se discute en el texto.

Fuentes	Frecuencia	Longitud de onda	Potencia (V o W)	Intensidad de campo eléctrico (V/m ²), magnético (μT) o densidad de potencia (W/m ²)
Electricidad en el hogar	50 Hz (USA: 60 Hz)	6.000 km		200 V/m ² cerca de algunos artefactos eléctricos a 2 V/m ² en centro de muchas habitaciones
Líneas de alta tensión	50 Hz		100.000 a 200.000 V	16 kV/m ² cerca de estaciones generadoras, 12 kV/m ² bajo tendido de transmisión
Trenes eléctricos	50 Hz			
Monitores y pantallas	3-30 kHz	10-100 km		
Radio AM	540 – 1600 kHz	185-555 m	Clase A: 50 Kw Clase B: 10 kW Clase C: 1 kW	
Radio onda corta		11-50 m	100 kW	
Radio FM	88-108 MHz	3 m	10 kW	
Transmisores de TV: Canales VHF Canales UHF	54 – 216 MHz 512-806 MHz	1,3 – 5,5 m 27-58 cm	Santiago: 20 kW (VHF) antenas de 10-14 dB: aumento potencia aprox 20 veces más (UHF: 10-100 kW)	
Telef. celular (analógico)	800-900 MHz	33-37 cm	0,6 – 1 W	
Telef. celular (digital)	824-849 MHz	35-36 cm		
Estaciones base telefonía móvil (analógico o digital)	869-894 MHz		Chile: aprox. 30 W. Antenas 18 dB potencian 100 veces más	Cerca de antena: 0,01 mW/cm ²
Sistema Comunicación personal	1,8 – 2,2 GHz	13,6–16 cm	5 W max	
Hondas microonda	2,45 GHz	12 cm		
Dispositivos de radar, Comunicación satelital	6-14 GHz			

5. Fuentes y Clases de Radiación Electromagnética “No Ionizante” que Afectan la Salud Humana

La información científicamente *mejor validada* sobre los efectos sobre la salud humana de la radiación electromagnética “no ionizante”, es decir, que permite afirmar con un alto grado de certeza sobre efectos sobre la salud causada por ella (2), se refiere a las siguientes clases y fuentes de radiación electromagnética:

- Campos de frecuencias extremadamente bajas (ELF):
 - Efectos de la radiación electromagnética proveniente de redes de alta tensión o de transformadores de alta tensión.

- Efecto de radiación electromagnética de redes eléctricas domiciliarias
- Efecto de la exposición ocupacional a radiación electromagnética
- Campos de radiofrecuencias (RF) (efectos térmicos y no térmicos):
 - Efectos de la radiación electromagnética de antenas de transmisión de televisión
 - Efecto de la exposición ocupacional a radiación electromagnética

La información menos validada sobre los efectos de la radiación electromagnética “no ionizante” sobre la salud, sobre la cual se estima un grado de certeza más bajo (ver referencia 2 y secciones 5.5, 5.6 y 6 del presente informe), en parte se basa en evidencias indirectas o en estudios sólo realizados en animales de experimentación, se refiere a las siguientes clases y fuentes de radiación electromagnética:

- Campos de radiofrecuencias (RF) (efectos térmicos y no térmicos):
 - Efectos de la radiación electromagnética de los teléfonos móviles o celulares.
 - Efectos de la radiación electromagnética de antenas base de teléfonos celulares.

No obstante lo anterior, ya se han publicado los primeros trabajos que muestran al menos para algunos tipos de tumores el efecto directo de los teléfonos celulares (ver sección 5.5).

5.1. Efectos de la radiación electromagnética ELF de redes o transformadores de alta tensión

Olsen y cols. (3, 4) 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 residentes cercanos a instalaciones de alto voltaje. También se demostraron una asociación probable con la enfermedad de Hodgkin. Feychting y cols (5) demostraron una asociación entre leucemia infantil y tendidos eléctricos de alta tensión. A niveles superiores a 0,2 microTesla (μT), 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 μT el RR era 3,8 (IC 95%=1,4 a 9,3); la probabilidad para la tendencia, $p=0,005$.

Li y cols (6) demostraron que en Taiwan, el riesgo de leucemia en personas expuestas a radiación electromagnética mayor que 0,2 μT , provenientes de líneas de alta tensión, en relación a los expuestos a menos que 0,1 μT , 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”.

5.2. Efecto de radiación electromagnética ELF de redes eléctricas domiciliarias

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 (7). 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. (8) 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 orientación horizontal.

Dockerty (9) 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 ($> 0,2 \mu\text{T}$ comparado con $< 0,1 \mu\text{T}$), con un RR ajustado de 15,5 (IC=1,1-224).

Bates (10) 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.

5.3. 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 (10) 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. (11) 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 computadoras, aunque estas también involucran exposiciones elevadas a campos electromagnéticos.

Caplan y cols. (12) 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. (13) 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 a niveles mayores que los considerados como *background* (0,1 μ 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. (14) 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. (15) 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 (15*16), y describe una asociación del cáncer de mama a la exposición acumulada expresada en μ T/años.

Armstrong et al. (17) 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 (18) 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 (19).

En un estudio basado en 1.596.959 hombres y 806.278 mujeres en Suecia (20), 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. (21) han descrito en trabajadores relacionados con electrodomésticos que el riesgo de cáncer cerebral aumenta por un factor de riesgo de 1,94 por μT 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.

5.4. Efectos de la radiación electromagnética RF de antenas de transmisión de televisión

Dolk y cols. (22) 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 (23) 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.

En relación al estudio de Hocking, los datos fueron reanalizados por McKenzie y cols (24), quienes encontraron que todo el exceso de mortalidad se produjo en una de las áreas con más exposición a campos de radiofrecuencias, pero no en otra área con similar exposición, lo cual, de acuerdo a la interpretación de KcKenzie y cols., significaría que la causa pudo haber sido otra y no la exposición a radiación electromagnética.

Maskarinec y cols. (25) encontraron también un aumento de incidencia de leucemia infantil en Hawaii entre 1982 y 1984, no obstante, durante 1985 no encontró ningún efecto. El número bajo de casos dificulta la interpretación de los resultados.

Selvin en 1992 (26) estudió la incidencia de leucemia y otros tumores en la cercanía de una antena de radiofrecuencia, y no encontró efectos estadísticamente significativos.

5.5. 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. (27) 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 (28).

Para el ser humano, hay algunos estudios preliminares que sugieren, pero de una manera no concluyente, una mayor frecuencia de tumores cerebrales en usuarios de teléfonos celulares (29). Dreyer y cols. (30, 31) han estudiado la morbilidad y mortalidad por cáncer cerebral en relación al uso de teléfonos celulares, y han encontrado una incidencia 3 veces mayor de cáncer cerebral en usuarios de teléfonos móviles aplicados al oído en comparación con teléfono manos libres; no se ha detectado, sin embargo, significancia estadística para dicho efecto, probablemente debido al reducido de casos en dicho estudio. Recientemente, Muscat y cols. (32, 33) demostraron un aumento de tumores neuroepiteliales cerebrales en el hemisferio

cerebral del lado de uso del teléfono celular, en comparación con hemisferio cerebral controlateral, y Hardell y cols. (34-36) demostraron un aumento de tumores cerebrales en el mismo lado de aposición del teléfono celular (RR=2,62; IC 95%= 1,02-6,71). El riesgo relativo era aún más alto para algunos tipos de tumores cerebrales (37).

Se ha demostrado también que los campos electromagnéticos emitidos por teléfonos celulares alteran los electroencefalogramas, principalmente durante actividades que involucren memoria (38). 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 (39).

5.6. Efectos de la radiación electromagnética de antenas base de teléfonos celulares

Es necesario considerar que la radiación electromagnética emitida por antenas base 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. Además, para los cálculos de intensidades de radiación en un punto determinado, es necesario que la conocida disminución de la intensidad en relación inversa al cuadrado de las distancias debe calcularse, no, como distancia a la fuente que origina las radiaciones (antena) sino que a las fuentes virtuales de cada uno de sus planos direccionales (vertical, horizontal, oblicuos). Algunas fuentes virtuales pueden encontrarse a distancias notablemente mayores debido a la concentración del haz de radiaciones con un casi paralelismo de sus componentes radiativos en un plano determinado (ganancia de una antena). No obstante lo anterior, 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 (40).

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 atérmicas de radiación electromagnética de 2450 MHz (41).

5.7. Resumen de los cánceres según fuentes de radiación electromagnética

A continuación está el listado de los diferentes tipos de cáncer que se ha descrito pueden ser inducidos por exposición a cada una de las fuentes de radiación electromagnética. Los detalles y las referencias correspondientes están más arriba (ver 5.1 a 5.5).

5.7.1. Tendidos de alta tensión y transformadores de alta tensión

- Leucemia
- Asociación de tres tumores infantiles (leucemia, cáncer del sistema nervioso central, linfoma maligno)

5.7.2. Redes eléctricas domiciliarias:

- Total de cánceres
- Cáncer infantil
- Cáncer infantil del sistema nervioso central

5.7.3. Radiación electromagnética proveniente de electrodomésticos:

- Leucemia infantil
- Cáncer del sistema nervioso central
- Otros tumores sólidos

5.7.4. Radiación electromagnética proveniente de antenas transmisores de señal televisiva:

- Leucemia infantil
- Leucemia de adultos

5.7.5. Radiación electromagnética de fuentes ocupacionales:

- Cánceres del sistema nervioso central, especialmente del cerebro
- Leucemia
- Melanoma
- Cáncer de mama femenino
- Cáncer de mama masculino
- Cáncer pulmonar
- Cáncer de colon
- Cáncer del testículo no seminoma
- Cáncer del útero
- Otros cánceres

5.7.6. Teléfonos celulares

- Tumores cerebrales neuroepiteliales

6. Principales Efectos Sobre la Salud Causados por Exposición a Radiaciones "No Ionizantes", y Grado de Certeza de la Relación Causa-Efecto

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 neuroconductuales, 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 (2). 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 (hubo desacuerdo entre evaluadores científicos)

- Cáncer de mama femenino

- Leucemia en adultos

6.1. Cáncer.

Más arriba, en la sección 5, se han descrito los principales estudios que sugieren que la exposición a radiación electromagnética, tanto ELF como 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 (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 nula certeza para la clasificación de la radiación electromagnética como un carcinógeno universal (todos los cánceres) (certeza menor de un 10%) (2). Una certeza del 50% no significa que la enfermedad se desarrolle en el 50% de los expuestos, sino 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. En el primer caso, la afirmación es que la exposición aumenta la frecuencia que normalmente ocurre para algún cáncer a un porcentaje dado por el RR (riesgo relativo), por ejemplo al doble si el riesgo relativo fuera 2.

6.1.1. 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 (42), 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% (2).

6.1.2. Leucemia infantil. Un metaanálisis realizado por Wartenberg (43) muestra un riesgo relativo de 1,4 (IC 95%=1,0-2,0). La probabilidad de la asociación era mayor que un 50% (2).

6.1.3. Cáncer cerebral en adultos. De los 29 estudios revisados por Kheifets en su metaanálisis (44), 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% (2).

6.1.4. Cáncer cerebral infantil. La probabilidad de la asociación era entre un 10 y un 50% (2).

6.1.5. 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% (2). El riesgo de la exposición a radiación electromagnética en la generación de cáncer de mama femenino era mayor en mujeres más jóvenes (menores de 50 años) que en las mayores de esa edad, y era mayor para los cánceres con receptores de estrógeno presentes que para cánceres sin receptores para dicha hormona (45).

6.2. 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 años, es decir, 24.000 abortos, son causados por radiaciones electromagnéticas (46-48)

6.3. Efectos neuroconductuales.

Se ha demostrado la potenciación del efecto del fármaco psicoactivo clordiazepóxido bajo la exposición de radiaciones electromagnéticas de baja intensidad (2450 MHz, pulsos de 2 μ segundos, 550 pulsos por segundo, 10 W/m²) (49). Se han demostrado también alteraciones neuroconductuales en animales de experimentación sometidos a una prueba de laberinto y a aprendizaje espacial (50, 51). También se han detectado alteraciones bioquímicas bajo el efecto de radiación electromagnética de 61 GHz, la que induce la liberación de opioides cerebrales (52). 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) (53). También se ha demostrado una correlación dependiente de la dosis con la exposición acumulativa, expresada en microtesla-año, con 0,05 a 0,11 μ T, el RR=1,6 (IC 95%=1,0-2,7), y con exposiciones >0,12 μ T, el RR=1,7 (IC 95%=1,0-2,9) (54).

6.4. Esclerosis lateral amiotrófica (enfermedad de Lou Gehring).

Diversos autores han demostrado una correlación entre la exposición a radiación electromagnética y esta enfermedad (55, 56). Ahlbom (57) ha calculado los riesgos metaanalíticos a partir de y estudios previamente publicados relacionado 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).

6.5. 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 (58, 59). 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 (2) 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 2 mG (RR=2,7, IC 95%=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 de la ocupación original estaba relacionada con la demencia vascular (RR=3,8, IC 95%=0,65-28) (60).

6.6. Enfermedad cardiovascular.

Sastre demostró que la exposición a 200 mG causa una disminución en la variabilidad de la frecuencia cardíaca en la especie humana (61). Se ha asociado una disminución de la variabilidad en la frecuencia cardíaca un mayor riesgo para la ocurrencia de eventos cardiovasculares (62). 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 respuesta a dichos estímulos (63). En base a estos antecedentes, Savitz y colaboradores (64) 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 a μT -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. μT -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 (64).

7. Principales Mecanismos Involucrados en los Efectos de las Radiaciones “No Ionizantes” Sobre la Salud

Se han descrito numerosos efectos biológicos y moleculares que explican, cada uno de ellos, la mayor parte de los efectos. A continuación se describen los mecanismos físico-químicos y biológicos a través de los cuales se generan los efectos biológicos de las radiaciones “no ionizantes”:

- 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

7.1. 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 involucrados 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 (65).

7.2. 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 (66).

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 (67), lo que también puede contribuir a incrementar el desarrollo de tumores.

7.2.1. Melatonina. Stevens y cols (68, 69) 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. (70) demostraron que la exposición continua a campos electromagnéticos potenciaba la proliferación celular de líneas de células de cáncer de próstata y cáncer de endometrio.

7.2.2. Ferritina. Shao (71) 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.

7.2.3. 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 (72). Estos antecedentes permiten suponer un posible mecanismo que favorecería la carcinogénesis inducida por estas radiaciones.

7.2.4. Alteraciones en la membrana celular. Se ha demostrado que las radiaciones electromagnéticas afectan diversos canales iónicos de las membranas celulares (73), aumentan el paso de calcio a través de las membranas celulares (74), proceso en el cual parecen estar involucrados los radicales libres (75).

7.2.5. Aumento de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica . Esta aumenta en forma considerable bajo la acción de radiación electromagnética (76), permitiendo el paso de sustancias tóxicas que normalmente no pueden atravesar esta barrera, afectando así el sistema nervioso central.

7.2.6. Proteínas de choque térmico (HSP). Estas pueden también ser inducidas por exposición a niveles subtérmicos de radiación electromagnética, tal como se ha demostrado experimentalmente en el nemátodo *Caenorhabditis elegans* (77). 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.

7.2.7. Cambios endocrinos. Se han descrito aumento de secreción de opioides bajo el efecto de radiaciones electromagnéticas (52). 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.

7.2.8. Mastocitos e histamina. Uno de los efectos comunes a la exposición a diversos tipos de radiación electromagnética, especialmente de radiofrecuencia, es el aumento del asma bronquial y de reacciones alérgicas, especialmente cutáneas, el cuadro de reacción de electrosupersensibilidad y la dermatitis por exposición al monitor de televisión o del computador. Se han descrito, por exposición a terminales de video, síntomas cutáneos y de origen cardíaco; entre las primeras, en piel y mucosas, prurito, eritema, dolor, pápulas y pústulas. Algunos desarrollan sintomatología a la exposición de luz artificial o a teléfonos celulares. Se ha propuesto que el efecto de las radiaciones RF, que afectan a las células dendríticas y a los mastocitos de la piel, inducen a estas últimas a degranularse y liberar histamina y otros mediadores, que a su vez serían los causantes de los síntomas descritos en piel (78). A nivel cardíaco, la degranulación de los mastocitos sería responsable de los síntomas cardíacos (78)

7.2.9. 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 = ó > 0,3 microTesla estaba asociada a un aumento de riesgo de leucemia infantil (RR=2,0, IC 95%=1,1-3,5) (79)

7.2.10. 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 (80-82). 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) (83).

8. Conclusiones

El presente 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 domiciliaria 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 y están normadas.

Es importante mencionar que también existen trabajos epidemiológicos que no han demostrado ningún efecto adverso de las radiaciones electromagnéticas sobre la salud. Esta controversia se puede explicar con el número bajo de casos en los estudios con resultados negativos, o a 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 es necesario considerar que 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 de varios o muchos años. En el caso específico de los teléfonos móviles o celulares y el de las centrales de retransmisión de dichos teléfonos, la información es aún insuficiente por el limitado tiempo de su uso (84), siendo posible que cuando se haya cumplido un tiempo más largo de exposición a radiaciones provenientes de esta fuente los efectos se manifiesten con más claridad y con mayor significancia estadística. No obstante lo anterior, la semejanza del tipo de radiación electromagnética con aquella en la que se han demostrado claramente efectos biológicos hace suponer con alta probabilidad que los efectos adversos para la salud también se deben producir, 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 (29-39), 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 base. 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.

Considerando la posibilidad de la ocurrencia de efectos adversos para la salud por exposición a radiación electromagnética de fuentes de las cuales todavía no está claramente demostrado el efecto adverso (teléfonos celulares y sus antenas base), estimamos necesario aplicar el principio precautorio y de acceso a la información en la legislación y las normas que se dicten, para evitar o minimizar el daño a la salud. Estas consideraciones no significan prohibir la telefonía móvil, sino que reducir la exposición al campo electromagnético en forma significativa, lo cual puede realizarse sin modificar la calidad del servicio.

En este mismo contexto, nuestras recomendaciones concuerdan con aquellas de la Royal Society de Canadá y la del Informe del Grupo Experto Independiente en Telefonía Móvil (IEGMP) de Inglaterra, en el sentido de: (a) disminuir el nivel de la exposición ocupacional a radiación a los mismos niveles aceptados para público en general; (b) basarse en el principio precautorio para cualquier riesgo potencial

asociado con telefonía móvil; (c) reducir el promedio de la exposición de la población al nivel más bajo posible compatible con la calidad del servicio; (d) aumentar la investigación de los efectos biológicos y médicos de la exposición a radiofrecuencias, para reducir las incertidumbres y dilucidar aquellos aspectos en los cuales falta información; (e) implementar medidas de prudencia por los usuarios, tales como reducir la exposición superflua (minimizar el uso de los teléfonos móviles cuando la percepción es pobre, usar artefactos de protección auricular, evitar el transporte del teléfono cerca de órganos o tejidos sensibles, como el abdomen de una mujer embarazada o las gónadas de los adolescentes; (f) continuar sus esfuerzos por las empresas fabricantes de teléfonos celulares para reducir las emisiones de los teléfonos móviles a los niveles más bajos posibles compatibles con una calidad del servicio; (g) reducir la exposición del público al mínimo especialmente para grupos poblacionales potencialmente sensibles, incluyendo el sector infantil y personas enfermas (edificios “sensibles” tales como hospitales, guarderías infantiles y escuelas, localizadas a menos de 100 metros de una estación base de celulares, no deben estar en la ruta o dirección del haz de transmisiones).

Aun cuando persiste un grado de incertidumbre sobre las conclusiones obtenidas de numerosos trabajos epidemiológicos sobre la exposición a campos electromagnéticos provenientes de teléfonos celulares o de antenas base de teléfonos celulares, se están publicando nuevos trabajos, de los cuales algunos apoyan la hipótesis de efectos sobre la salud. La Organización Mundial de la Salud ha encargado un estudio en ese sentido, y se espera que hacia el año 2005 será posible dar respuesta algunas de las interrogantes surgidas en el presente informe.

9. Referencias

1. Moulder JE, Bernar J, Llanos C. Líneas Eléctricas y Cáncer (2000) En: <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/lineas-electricas-cancer-FAQ/toc.html> (modificado de: JE Moulder JE. Power-frequency fields and cancer. Crit Rev Biomed Eng 26:1-116, 1998).
2. 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.
3. Olsen JH; Nielsen A; Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. Brit Med J 307: 891-895, 1993.
4. Olsen JH; Jensen JK; Nielsen A; Schulgen G. Electromagnetic fields from high-voltage installations and cancer in childhood. Ugeskr Laeger, 156: 2579-2584, 1994.
5. Feychting M; Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. Am J Epidemiol, 138: 467-481, 1993.
6. Li CY; Thériault G; Lin RS. Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. Epidemiology, 8: 25-30, 1997
7. 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, 15: 281-287, 1995.
8. Wertheimer N; Savitz DA; Leeper E. Childhood cancer in relation to indicators of magnetic fields from ground current sources. Bioelectromagnetics 16: 86-96, 1995.
9. Dockerty JD; Elwood JM; Skegg DC; Herbison GP. Electromagnetic field exposures and childhood cancers in New Zealand. Cancer Causes Control, 9: 299-309, 1998
10. Bates MN. Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: the epidemiologic evidence. Environ Health Perspect, 95: 147-156, 1991

11. Loomis DP; Savitz DA; Ananth CV. Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States. *J Natl Cancer Inst*, 86: 921-925, 1994
12. Caplan LS; Schoenfeld ER; OLeary ES; Leske MC. Breast cancer and electromagnetic fields--a review. *Ann Epidemiol* 10: 31-41, 2000
13. 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*, 36: 147-154, 1999
14. 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*, 134: 340-347, 1991.
15. 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* 50: 758-764, 1993.
16. Tynes T; Andersen A; Langmark F. Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields. *Am J Epidemiol*, 136: 81-88, 1992.
17. 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* 140: 805-820, 1994.
18. 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*, 144: 1107-1121, 1996.
19. 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*, 8: 184-191, 1997.
20. Floderus B; Stenlund C; Persson T. Occupational magnetic field exposure and site-specific cancer incidence: a Swedish cohort study. *Cancer Causes Control*, 10: 323-332, 1999.
21. Savitz DA, Loomis DP. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol*, 141: 123-134, 1995.
22. 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*, 145: 1-9, 1997.
23. Hocking B; Gordon IR; Grain HL; Hatfield GE. Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med J Aust*, 165: 601-605, 1996.
24. McKenzie DR, Yin Y, Morell S. Childhood incidence of acute lymphoblastic leukaemia and exposure to broadcast radiation in Sydney – a second look. *Aust N Z J Public Health* 22 (3 Suppl): 360-367, 1998
25. Maskarinec G, Cooper J, Swygert L. Investigation of increased incidence in childhood leukemia near radio towers in Hawaii: preliminary observations. *J Environ Pathol Toxicol Oncol*. 13: 33-37, 1994
26. Selvin S, Schulman J, Merrill DW. Distance and risk measures for the analysis of spatial data: a study of childhood cancers. *Soc Sci Med*. 34: 769-777, 1992
27. 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*, 48: 2022-2032, 2000.
28. 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* 147: 631-640, 1997.
29. 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* 15: 113-116, 1999.
30. Rothman KJ, Loughlin JE, Funch DP, Dreyer NA. Overall mortality of cellular telephone customers. *Epidemiology*. 7: 303-305, 1996.
31. Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ. Case specific mortality in cellular telephone users. Manuscrito en preparación (1999), citado por Carlo GL, *MedGenMed* 2000, Jul 11.
32. Muscat J. Cellular telephone use and risk of brain cancer. In: Carlo GL. Editor. *Wireless phones and health II: State of the science*. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers; publicación esperada para fines de 2000; citado por Carlo GL, *MedGenMed* 2000, Jul 11.
33. Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, Shore RE, Stellman SD, McRee D, Neugut AI, Winder EL. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 284: 3001-3007, 2000.

34. Hardell L, Hansson Mild K. Handheld cellular telephones and brain cancer risk. *JAMA* 285: 1838, 2001.
35. Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A. Case-control study on radiology work, medical x-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors. *Medscape General Medicines*, May 4, 2000. Disponible en: <http://www.medscape.com>.
36. Hardell L y cols. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours. A case-control study. *Int J. Oncol.* 15: 113-116, 1999.
37. Hardell L, Hansson Mild K, Hallquist A, Carlberg M, Pahlson A y cols. Swedish study on the use of cellular and cordless telephones and the risk of brain tumours. *Resumen, Conf Mobile Telephones and Health – The Latest Developments*, London, June 6,76, 2001.
38. 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* 76: 1659-1667, 2000.
39. Paredi P, Kharitonov SA, Hanazawa T, Barnes PJ. Local vasodilator response to mobile phones. *Laryngoscope* 111: 159-162, 2001.
40. Bernardi P, Cavagnaro M, Pisa S, Piuze E. Human exposure to radio base-station antennas in urban environment. *IEEE Trans Microwave Theor Tech*, 48: 1996-2001, 2000.
41. 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*, 48: 2072-2075, 2000.
42. Kheifets LI, Afifi AA y cols. Occupational electric and magnetic field exposure and leukemia. *JOEM.* 39: 1074-1091, 1997.
43. Wartenberg D. Residential EMF exposure and childhood leukemia: meta-analysis and population attributable to risk. *Bioelectromagnetics (Suppl. 5, 2001): S86-S104*, 2001.
44. Kheifets LI, Afifi AA y cols. Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer: a meta-analysis. *JOEM.* 37: 1327-1341, 1995.
45. Forssén UM, Feychting M, Rutqvist LE, Floderus B, Ahlbom A. Occupational and residential magnetic field exposure and breast cancer in females. *Epidemiology* 11: 24-29, 2000.
46. Lee GN, Hristova L, Yost M, Hiatt RA. The use of electric bed heaters and the risk of clinically recognized spontaneous abortion. *Epidemiology* 11: 406-415, 2000.
47. Lee GN, Hristova L, Yost M, Hiatt RA.. A nested case-control study of residential and personal magnetic field measures and miscarriages. *Epidemiology*, enviado a publicación, 2001
48. Li DOR, Wi S, Janevic T, Golditch I, Bracken T, Senior R, Rankin R, Iriye R. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of spontaneous abortion. *Epidemiology*, enviado a publicación, 2001.
49. Thomas JR, Burch LS, Yeandle SC. Microwave radiation and chlordiazepoxide: Synergistic effects on fixed-interval behaviour. *Science*, 203: 1357, 1979.
50. Lai H, Horita A, Guy AW. Microwave irradiation affects radial-arm maze performance in the rat. *Bioelectromagnetics* 15: 95-104, 1994.
51. Lai, H. Spatial learning deficit in the rat after exposure to a 60Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 17:494-496, 1996.
52. Rojavin MA, Cowan A, Radziewsky A, Ziskin MC. Anti-puritic effect of millimeter waves in mice: Evidence for opioid involvement. *Life Sci* 63: PL251-PL257, 1998.
53. Kelsh MS, Jr. Mortality among a cohort of electric utility workers, 1960-1991. *Am J Industr Med* 31: 534-544, 1997.
54. van Wijngaarden ES, Kleckner RC y cols. Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility worker: a nested case-control study. *Occup Environ Med* 57: 258-363, 2000.
55. Savitz D, Loomis D, et al. (1998). Electrical occupations and neurodegenerative disease: analysis of U.S. mortality data. *Achives of Environmental Health.* 53: 1-5, 1998.
56. Johansen, C. (1998). Mortality from amyotrophic lateral sclerosis, other chronic disorders and electric shocks among utility workers. *Amer J of Epidemiology* (1998) en prensa.
57. Ahlbom A. (2001). "Neurodegenerative diseases, suicide and depressive symptoms in relation to EMF." *Bioelectromagnetics Supplement 5: S132-S143*, 2001
58. Sobel E, Davanipour Z y cols. Occupations with exposure to electromagnetic fields: a possible risk factor for Alzheimer's disease. *Amer J of Epidemiology.* 142: 515-523, 1995.

59. Sobel E, Dunn M y cols. (1996). Elevated risk of Alzheimer's disease among workers with likely electromagnetic field exposure. *Neurology*. 47: 1477-1481.
60. Feychting M, Pedersen NL y cols. Dementia and occupational exposure to magnetic fields. *Sc& J Work Environ Health*. 24: 46-53, 1998.
61. Sastre A, Cook MR y cols. Nocturnal exposure to intermittent 60 Hz magnetic fields alter human cardiac rhythm. *Bioelectromagnetics*. 19: 98-106, 1998.
62. Tsuji H, Larson M y cols. Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. The Framington heart study. *Circulation*. 94: 2850-2855, 1996.
63. Silva H, Tchernitchin AN, Tchernitchin NN. Low doses of estradiol-17 α degranulate blood eosinophil leukocytes; high doses alter homeostatic mechanisms. *Med Sci Res* 25: 201-204, 1997.
64. Savitz (99) Savitz DA, Liao D y cols. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *Epidemiology*. 149: 135-142 1999.
65. Lin JC, Lin MF. Microwave hyperthermia-induced blood-brain barrier alterations. *Radiat Res* 89: 77-87, 1982.
66. Chou CK, Yee KC, Guy AW. Auditory response in rats exposed to 2450 MHz electromagnetic fields in a circularly polarized waveguide. *Bioelectromagnetics* 6: 323-326, 1985.
67. Cleary, S.F., Cao, G., and Liu, L.M. Effects of isothermal 2450 MHz microwave radiation on the mammalian cell cycle: comparison with effects of isothermal 27 MHz radiofrequency radiation exposure. *Bioelectrochem Bioenerget*. 39:167-173, 1996.
68. Stevens RG; Davis S; Thomas DB; Anderson LE; Wilson BW. Electric power, pineal function, and the risk of breast cancer. *FASEB* 6: 853-860, 1992.
69. Stevens RG; Davis S. The melatonin hypothesis: electric power and breast cancer. *Environ Health Perspect*, 104 Suppl 1:, 135-140, 1996.
70. Watson JM; Parrish EA; Rinehart CA. Selective potentiation of gynecologic cancer cell growth in vitro by electromagnetic fields. *Gynec Oncol* 71: 64-71, 1998.
71. Shao T. EMF-cancer link: the ferritin hypothesis. *Med Hypothesis* 41: 28-30, 1993.
72. Byus CV, Hawel L. 1997. Additional considerations about bioeffects, in *Mobile Communications Safety* (ed. by Q.Balzano and J.C. Lin); Chapman and Hall London pp. 133-144, 1997.
73. Repacholi 1998 Repacholi MH. Low Level Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields: Health Effects and Research Needs. *Bioelectromagnetics*. 19:1-19, 1998.
74. Dutta, S.K., Subramanian, A., Ghosh, B. and Parshad, R. Microwave radiation-induced calcium efflux from brain tissue in vitro. *Bioelectromagnetics* 5:71-78, 1984.
75. Phelan, 1992 Phelan A.M., D.G. Lange, H.A. Kues, G.A. Luty. Modification of membrane fluidity in melanin containing cells by low level microwave radiation. *Bioelectromagnetics*. 13:131-146, 1992.
76. Salford, L.G., Brun, A., Stureson, K., Eberhardt, J.L. and Persson, B.R.R. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, 200Hz. *Microscopy Research and Technique* 27:535-542, 1994.
77. 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*, 48: 2076-2081, 2000.
78. Gangi S, Johansson O. A theoretical model based upon mast cells and histamine to explain the recently proclaimed sensitivity to electric and/or magnetic fields in humans. *Med Hypotheses* 54: 663-671, 2000.
79. Feychting M; Floderus B; Ahlbom A. Parental occupational exposure to magnetic fields and childhood cancer (Sweden). *Cancer Causes Control*, 11: 151-156, 2000.
80. 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* 67: 202-212, 1986.
81. 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* 20: 391-397, 1992.
82. 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* 50: 425-440, 1999.
83. Savitz DA, John EM, Kleckner RC. Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 131: 763-773, 1990.

84. Moulder JE, Erdreich LS, Malyap a RS, Merritt J, Pickard WF. Cell phones and cancer: What is the evidence for a connection? Radiat. Res.151: 513-531, 1999.

Agradecimientos: Financiado 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). Se agradece además al Centro de Derecho Ambiental de la Facultad de Derecho, Universidad de Chile por la colaboración y participación en el presente informe.

10. Índice

1. Presentación	1
2. Objetivo	1
3. Metodología empleada	1
4. Clasificación de la radiación electromagnética no ionizante	2
5. Fuentes y clases de radiación electromagnética “no ionizante” que afectan la salud humana	4
5.1. Efectos de la radiación electromagnética ELF de redes o transformadores de alta tensión	5
5.2. Efecto de radiación electromagnética ELF de redes eléctricas domiciliarias	6
5.3. Efecto de exposición ocupacional a radiación electromagnética, principalmente ELF	6
5.4. Efectos de la radiación electromagnética RF de antenas de transmisión de televisión	8
5.5. Efectos de la radiación electromagnética de teléfonos móviles o celulares	9
5.6. Efectos de la radiación electromagnética de antenas base de teléfonos celulares	10
5.7. Resumen de cánceres según fuentes de radiación electromagnética	10
6. Principales efectos sobre la salud causados por exposición a radiaciones “no ionizantes” y grado de certeza de la relación causa-efecto	11
6.1. Cáncer	12
6.1.1. Leucemia en adultos ..	13
6.1.2. Leucemia infantil.....	13
6.1.3. Cáncer cerebral en adultos	13
6.1.4. Cáncer cerebral infantil	13
6.1.5. Cáncer de mama	13
6.2. Abortos espontáneos	13
6.3. Efectos neuroconductuales	14
6.4. Esclerosis lateral amiotrófica (Enfermedad de Lou Gehring)	14
6.5. Enfermedad de Alzheimer	14
6.6. Enfermedad cardiovascular	15
7. Principales mecanismos involucrados en los efectos de las radiaciones “no ionizantes” sobre la salud	15
7.1. Efectos térmicos	16
7.2. Efectos no térmicos	16
7.2.1. Melatonina	17
7.2.2. Ferritina	17
7.2.3. Ornitín descarboxilasa y poliaminas relacionadas	17
7.2.4. Alteraciones en la membrana celular	17
7.2.5. Aumento de permabilidad de la barrera hematoencefálica	17
7.2.6. Proteínas de choque térmico (HSP)	17
7.2.7. Cambios endocrinos	17
7.2.8. Mastocitos e histamina	18
7.2.9. Mutagenicidad	18
7.2.10. Imprinting	18
8. Conclusiones	18
9. Referencias	20
10. Índice	24