



Telefonía móvil (celular) y Salud Humana

Saraví F. D.

Área de Física Biológica. Departamento de Morfología y Fisiología. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Cuyo.

Servicio de Densitometría. Escuela de Medicina Nuclear. Mendoza.

Palabras clave: accidente de tránsito, cáncer, sistema nervioso, microondas, teléfono móvil.

Key words: cancer, microwaves, mobile phone, nervous system, traffic accidents.

Resumen

Un tercio de la población mundial emplea teléfonos móviles o celulares (TM), cuya posible repercusión sobre la salud ha originado numerosos estudios. Los TM y sus bases ("antenas") intercambian información mediante microondas, que son radiaciones electromagnéticas no ionizantes. Los efectos térmicos de las microondas son conocidos y son evitados por las normas de seguridad vigentes. No obstante, persisten dudas sobre efectos no térmicos, ya que no es claro que causen consecuencias adversas sobre la salud. En conjunto, la investigación básica y epidemiológica sobre TM y cáncer indican un riesgo muy bajo o inexistente, aunque se necesitan estudios prospectivos más prolongados. En el sistema nervioso, las microondas de TM producen cambios electrofisiológicos y modificaciones del flujo sanguíneo, con escasa repercusión sobre el desempeño. Los efectos sobre la tiroides, el aparato reproductivo y el estrés oxidativo requieren mayor estudio. Algunos usuarios de TM manifiestan síntomas inespecíficos, pero no está probada una relación causal en individuos normales ni en los que dicen padecer hipersensibilidad electromagnética. Los estudios epidemiológicos sobre poblaciones próximas a las bases sugieren efectos adversos de la exposición, aunque las investigaciones experimentales han dado resultados contradictorios. Los efectos sobre la población pediátrica apenas comienzan a explorarse. Los TM pueden interferir con equipamiento médico cuando se los opera muy cerca de los dispositivos. Paradójicamente, el efecto adverso más claro de los TM no es causado directamente por microondas. El uso del TM mientras se conduce causa una disminución del desempeño comparable al consumo moderado de alcohol y cuadruplica el riesgo de accidentes.

Abstract

A third of the world population uses mobile (cell) telephones (TM), which possible impact on health has originated many studies. TM and their bases ("antennae") exchange information through microwaves, which are non-ionizing electromagnetic radiations. Microwaves have thermal effects, which are avoided by current safety standards. However, there are lingering doubts about possible adverse health consequences of non-thermal effects of microwaves. As a whole, basic and epidemiological research on TM and cancer indicates a quite low or inexistent risk, although longer, prospective studies are needed. In the nervous system, TM microwaves cause electrophysiological changes and modifications of blood flow, with little effect on performance. Possible effects on the thyroid gland, the reproductive system, and oxidative stress demand additional research. Some TM users complain of unspecific symptoms, but no causal relationship has been proved either in normal subjects or those self-characterized as hypersensitive to electromagnetic fields. Epidemiological research on populations living close to base stations suggests adverse effects from

exposition, but experimental work has yielded contradictory results. The effects on children have just begun to be explored. TM may interfere with medical equipment when the phones are operated very close to the devices. Ironically, the clearest adverse effect of TM has no direct relationship with microwaves. Using a TM while driving reduces driving performance to an extent similar to moderate alcohol consumption, causing a four-fold increase in accident risk.

Introducción

La telefonía móvil o celular es un servicio que ha experimentado un crecimiento exponencial en años recientes, y por el momento el aumento de la demanda no da señales de estabilizarse. Se estima que en el mundo había en 2005 un aparato por cada cuatro habitantes, y el número actual de usuarios superaría los 2 mil millones. Debido a esta formidable expansión, y dado que la telefonía móvil es un sistema basado en radiaciones electromagnéticas, naturalmente ha surgido preocupación sobre sus posibles efectos nocivos para la salud humana.

La presente revisión está dedicada a proporcionar una visión de conjunto sobre el estado actual de la investigación básica, clínica y epidemiológica sobre los aspectos biomédicos de la telefonía celular. Como necesario prelude, se explicará lo esencial de sus fundamentos técnicos.

El sistema de telefonía celular

La idea de un sistema de comunicación de tipo celular nació en 1947, pero debieron transcurrir más de cuatro décadas antes de que se superaran limitaciones técnicas, comerciales y legales. Desde mediados de la década de 1980 los sistemas de comunicación celular comenzaron a expandirse, con creciente impulso a partir de la siguiente década (1). Por ejemplo, hacia 2000 había en el Reino Unido un aparato de telefonía móvil cada dos habitantes (2). En 2005 se vendieron en el mundo más de 800 millones de aparatos. La estimación para 2006 es de 935 millones, cifra que sería más del doble en 2011 (3). Según datos oficiales de la Secretaría de Comunicaciones de la República Argentina, el número de líneas aumentó diez veces entre 1993 y 2004 (4). Entre 1996 y 1997 se superó el millón de aparatos. En 2006 se superaron los 22 millones de líneas activas, y hay al menos igual número de aparatos en funcionamiento. Esto significa que tres de cada cuatro argentinos mayores de 14 años tiene un teléfono celular (5).

Diversos factores explican el enorme crecimiento de la demanda de telefonía móvil. Por ejemplo, las mejoras en el servicio de comunicaciones, el menor costo y tamaño de los aparatos y nuevos servicios, cada vez más diversificados. La telefonía celular se ha tornado a la vez en una herramienta indispensable en el mundo de los negocios, en una forma simple, económica y versátil de comunicarse, y en una fuente de diversión, especialmente entre los jóvenes.

Un sistema de telefonía móvil consta de un conjunto de bases (comúnmente llamadas "antenas", aunque los aparatos individuales también poseen antenas) que permiten la comunicación bidireccional con los aparatos móviles situados dentro de su radio de alcance, y con la red de telefonía fija. El número de bases en el mundo es próximo a un millón y medio.

El conjunto de estaciones de bases delimita células o regiones del espacio cubiertas por una o más de ellas. Si un aparato está encendido, su desplazamiento es monitoreado por las bases incluso cuando está ocioso. Cada base puede procesar simultáneamente numerosas llamadas que comparten una misma frecuencia o frecuencias muy próximas (1).

El tamaño de las células varía según la potencia de las bases, la presencia de obstáculos que interfieran la comunicación y el número de usuarios que deben atenderse. Las células se clasifican en macrocélulas, microcélulas y picocélulas (2). Las macrocélulas cubren radios de varias decenas de kilómetros. Las microcélulas cubren radio menores en zonas de gran tráfico de comunicaciones, como aeropuertos y centros comerciales. Las picocélulas tienen una cobertura todavía más limitada (por ejemplo, en el interior de un edificio). La potencia de las antenas de macrocélulas es de hasta 50 W (comparable a la de una lámpara incandescente de uso doméstico), mientras que las picocélulas tienen unos pocos vatios.

Cuando se realiza una llamada, el teléfono detecta automáticamente cuál de las bases cercanas provee la mejor señal y canaliza la comunicación a través de ella. Si el usuario se desplaza de una célula a otra, la comunicación es transferida imperceptiblemente y sin interrupción de una base a otra que proporcione una mejor señal. Esto mejora la calidad de la comunicación, reduce el consumo de electricidad y disminuye la energía empleada en el proceso. La energía del teléfono celular se ajusta automáticamente al mínimo necesario para mantener una comunicación adecuada (6).

El espectro electromagnético y las microondas

Las radiaciones electromagnéticas se caracterizan por propagarse en el vacío a 300.000 km/s produciendo perturbaciones en el campo eléctrico y magnético perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación. La velocidad de propagación v en medios diferentes del vacío es en general menor. En todos los casos $v = f \cdot \lambda$, donde f es la frecuencia de la onda en Hertz (Hz = ciclos/s) o un múltiplo, y λ es la longitud de onda. Para una onda determinada, existe una relación recíproca entre f y λ . Por ejemplo, las ondas de muy baja frecuencia tienen longitudes λ de kilómetros, mientras que ondas de muy alta frecuencia tienen longitudes de nanómetros (Fig. 1).

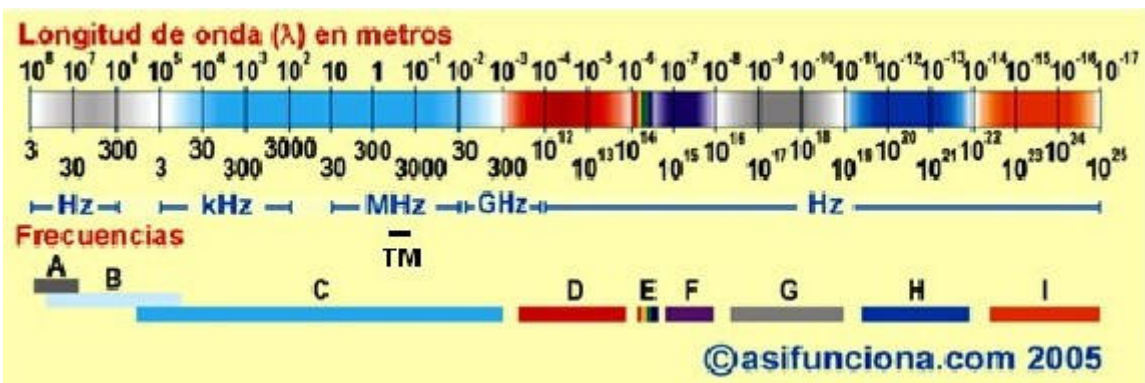


Figura 1: El espectro electromagnético. Nótese que las escalas de frecuencia y longitud de onda son logarítmicas. El rango de frecuencias correspondientes a la telefonía móvil (TM) se indica con una barra negra. Figura cortesía de www.asifunciona.com. Reproducida con autorización.

La energía de la onda es proporcional a su frecuencia. Las ondas con frecuencias mayores que $2,4 \cdot 10^{15}$ Hz (longitud de onda menor que 124 nm) son capaces de arrancar electrones orbitales y por tanto, de ionizar la materia. Las radiaciones de menor frecuencia se denominan colectivamente "no ionizantes". Las radiaciones no ionizantes incluyen los rayos ultravioleta, la luz visible, los rayos infrarrojos, las microondas y las ondas de radio.

La telefonía móvil emplea microondas, que son radiaciones no ionizantes con frecuencias entre 300 MHz y 300 GHz ($3 \cdot 10^7$ Hz a $3 \cdot 10^{10}$ Hz). Los sistemas de telefonía celular analógica, actualmente en desuso, empleaban frecuencias principales de 450 ó 900 MHz. Funcionaban de manera parecida a una radio de frecuencia modulada. Han sido reemplazados por los sistemas digitales, muy superiores desde el punto de vista técnico. Por ejemplo, el sistema digital GSM (Global System for Mobile communication) utiliza frecuencias en torno de los 900 y 1800 MHz. Actualmente se encuentra en fase de implementación la tercera generación de sistemas de telefonía móvil, que empleará bandas algo diferentes. Por ejemplo, el UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) utiliza frecuencias en torno de los 2 GHz (7).

Además de las bandas principales de alta frecuencia, los sistemas requieren modulación por pulsaciones de muy baja frecuencia, tales como 2 Hz, 8,3 Hz y 217 Hz. Esto es importante desde el punto de vista biomédico, porque en algunos estudios se ha hallado efecto biológico de las microondas moduladas (pulsadas) pero no de las microondas sin modulación.

Medición de la exposición y estándares de seguridad

La interacción de campos electromagnéticos con el cuerpo humano, que desde el punto de vista físico puede considerarse un conductor eléctrico, resulta en la formación de dipolos, la reorientación de dipolos ya existentes, y en flujo de corriente eléctrica. Se sabe desde hace décadas que las microondas poseen efectos térmicos, y por esa razón se las emplea en aplicaciones domésticas, industriales y médicas (fisioterapia, hipertermia). Debido a las crecientes aplicaciones de las radiaciones no ionizantes, desde la década de 1970 la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA) formó un grupo de trabajo sobre el tema, que evolucionó hasta constituir en 1992 una organización científica independiente, la Comisión Internacional sobre Protección contra Radiación No Ionizante (ICNIRP).

Ya en la década de 1980 los efectos térmicos habían sido minuciosamente caracterizados (8) y se propusieron normas de seguridad sobre esta base (9). La dosimetría de los efectos térmicos involucra dos variables principales, la densidad de energía y la tasa específica de absorción (SAR). La densidad de energía es la energía radiante por unidad de superficie (W/m^2 o un submúltiplo). La SAR es la cantidad de energía de microondas absorbida por un tejido u organismo, generalmente promediada para 1 ó 10 g de tejido, y se expresa en W/kg .

En 1998, la ICNIRP propuso lineamientos para limitar la exposición a campos electromagnéticos de frecuencias de hasta 300 GHz (10). En el caso de las microondas, una SAR de $4 W/kg$ para el cuerpo entero durante 30 min produce experimentalmente una elevación de la temperatura corporal de $1^\circ C$. Se propuso que la SAR se restringiese a la décima parte ($0.4 W/kg$) para la exposición ocupacional, y a la quincuagésima parte ($0.08 W/kg$) para el público en general. En forma congruente, se propusieron límites de densidad de energía de $50 W/m^2$ y de $10 W/m^2$ para la exposición ocupacional y del público general, respectivamente (Tabla 1).

Los sistemas de telefonía celular cumplen sobradamente con los estándares de la ICNIRP y otros similares. Las antenas no superan los 50 W de potencia total, lo que proporciona densidades de potencia del orden del W/m^2 a pocos metros de distancia. Los teléfonos en sí emplean potencias máximas pico de 2 W (GSM 900 MHz) ó 1 W (GSM 1800 MHz), pero la potencia máxima promedio es respectivamente de $0.25 W$ ó $0.125 W$ debido a que emiten para cada usuario en forma discontinua en un ciclo de tarea 1:8 (TDMA, Time Division Multiple Access). El sistema UMTS, en cambio, utiliza la técnica CDMA (Code Division Multiple Access), en la cual todos los

datos son transmitidos simultáneamente y se diferencian por códigos individuales que identifican a transmisores y receptores.

Tabla 1: Restricciones en densidad de potencia y tasa específica de absorción (SAR) de microondas en el rango de la telefonía móvil (10).

Tipo de exposición	Densidad de potencia (mW/cm ²)	SAR promedio de todo el cuerpo (W/kg)	SAR de cabeza y tronco (W/kg)	SAR de los miembros (W/kg)
Ocupacional	5	0.4	10	20
Público general	1	0.08	2	4

Se supone que la mayor parte del tiempo, los aparatos operan con potencias mucho menores que las máximas. Por el contrario, un estudio italiano mostró que en las condiciones habituales una elevada proporción de aparatos funcionaban a potencia máxima (11). Durante una llamada, la potencia es mayor mientras el usuario habla que cuando no lo hace. El rango de potencias puede variar alrededor de mil veces, según las condiciones. Es en general mayor en las áreas rurales, aunque siempre muy inferior a los límites recomendados por la ICNIRP (12). La diferencia en la potencia de operación debida a la duración de la llamada, que ésta se haga al aire libre o en un interior, en condición estacionaria o en movimiento son relativamente pequeñas en comparación con las diferencias notadas entre áreas urbanas y rurales (13). Recientemente se ha propuesto un modelo basado en redes neurales para estimar los niveles de exposición (14).

Efectos no térmicos de las microondas

Lo antedicho implica que las energías empleadas en telefonía celular no representan un problema de salud por sus efectos térmicos, que son obviamente insignificantes. No obstante, en la última década se ha acumulado evidencia que indica que las microondas empleadas en telefonía móvil pueden tener efectos biológicos que son independientes del aumento de temperatura (15). Estos efectos no térmicos (ENT) pueden ocurrir con energías de la magnitud empleada en telefonía celular, pero todavía no han sido considerados en las normas internacionales en vigencia (16). Por otra parte, otros grupos de expertos han recomendado precaución, dada la incertidumbre actual (2, 17).

Desde el punto de vista experimental, los ENT representan un enorme desafío. Mientras que los efectos térmicos dependen básicamente sólo de la SAR del sistema en estudio, los ENT son modificados por un gran número de variables. Por ejemplo, muestran efectos de polarización, dependencia de la onda moduladora, y ventanas de frecuencia relativamente estrechas en las cuales los ENT son observados. Como consecuencia de esta complejidad, a menudo dos o más estudios con objetivos y métodos similares no son realmente comparables, y de hecho sus resultados pueden ser contradictorios. Desde luego, esto torna muy compleja su reproducibilidad, criterio fundamental para la ciencia experimental. Adicionalmente, en la práctica es difícil o imposible discriminar entre efectos (micro) térmicos y ENT en un gran número de trabajos publicados (18).

Los efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes han sido objeto de varias revisiones recientes (10, 19-21). En lo que sigue, el tratamiento se limitará a los efectos de frecuencias y condiciones relevantes para la telefonía móvil, que comprende exclusivamente los ENT de microondas, en general entre 800 y 2500 MHz.

Telefonía celular y riesgos para la salud

Debe advertirse que el hecho de que existan ENT de las microondas no implica necesariamente que dichos efectos sean perjudiciales, pero naturalmente son los posibles efectos adversos los que preocupan a los expertos (22-28) y al público en general. De todos modos, según una encuesta reciente en Suiza sobre nueve fuentes diferentes de campos electromagnéticos, el público tiene más temor de las líneas eléctricas de alto voltaje que de las antenas y aparatos celulares. Quienes eran usuarios asiduos de telefonía móvil percibían mayores beneficios y menores riesgos que los usuarios esporádicos. Hubo correlación positiva entre la idea de que la mayoría de las sustancias químicas producen cáncer y el riesgo percibido de la telefonía celular. La creencia en fenómenos paranormales también se correlacionó ($p < 0.0001$) con la percepción de riesgo de la telefonía móvil (29).

Una posible relación entre la telefonía celular y el riesgo de cáncer alcanzó notoriedad a raíz de una demanda judicial iniciada en EE.UU. en mayo de 1993. El querellante sostenía que el uso de este servicio era responsable del desarrollo de un tumor cerebral en su esposa. La demanda fue desestimada porque no existía evidencia de una asociación semejante, y mucho menos de una relación causal.

Desde entonces se han realizado numerosos estudios en animales y en humanos sobre la relación entre telefonía celular y cáncer. Además se ha investigado sobre efectos neurológicos, endocrinos, reproductivos y cardiovasculares, como también la posible interferencia de la telefonía móvil con instrumental de uso médico. Otra área de activa investigación es la relación entre el uso de teléfonos celulares y los accidentes de tránsito (Tabla 2).

Tabla 2: Principales áreas relacionadas con la salud humana en las que se ha investigado el efecto de la telefonía móvil

Efectos directos	Efectos indirectos
Oncogénicos (iniciación y promoción) Neurofisiológicos Cardiovasculares Endocrinos y reproductivos Hemopoyéticos Crecimiento y desarrollo (niños) Estrés oxidativo Síntomas subjetivos	Interferencia con equipos de uso médico Empleo de teléfonos móviles mientras se conduce un vehículo

Telefonía celular y cáncer

El temor de que la telefonía móvil cause aumento del riesgo de cáncer se debe probablemente a una asociación, en la imaginación popular, entre las microondas y los riesgos de las radiaciones ionizantes (22). El efecto genotóxico y carcinógeno de la radiación ionizante es bien conocido (30-32). Aunque permanezcan áreas de incertidumbre, se conoce mucho acerca de los mecanismos celulares y moleculares involucrados (33-35) y de la relación entre la dosis de radiación ionizante y el riesgo de cáncer (36-39).

Nada de esto ocurre con las microondas que, como ya se vio, son por definición radiaciones no ionizantes. Los posibles efectos carcinógenos de la radiación no ionizante en general, y de las microondas empleadas en telefonía celular en particular, han sido objeto de estudios experimentales en sistemas in vitro y en animales. No

obstante, no ha sido posible formular ningún modelo adecuado sobre cómo las microondas podrían inducir o promover el cáncer.

Estudios "in vitro"

Un mecanismo obvio por el cual puede actuar un carcinógeno es producir daño del ADN y en consecuencia mutaciones. Existen estudios en ejecución que pueden aportar nuevos datos, pero la situación actual básicamente es como sigue. Algunos estudios iniciales sugirieron la posibilidad de daño del ADN, pero sin que se descartase efecto térmico o sin que otros autores pudieran reproducir el efecto. Por ejemplo Lai y Singh informaron que la exposición de ratas a microondas de 2450 MHz (continuas o pulsadas) causaba lesión del ADN de células cerebrales en la forma de roturas simples de la cadena (40), y que el efecto era bloqueado por melatonina (41). Otros autores no pudieron reproducir el efecto adverso (42, 43). Tampoco se observó efecto sobre el ADN en otras líneas celulares (44, 45), ni cambios en la frecuencia de transformación neoplásica en líneas celulares susceptibles (46). En dos tipos de células humanas in vitro (gliomatosas y fibroblastos) microondas con un SAR en el límite permitido de exposición (80 mW/kg) no causaron daño del ADN (47).

Según varias revisiones, no ha sido posible demostrar consistentemente que las microondas en dosis no térmicas posean efectos sobre el ADN (48-50). Sin embargo, recientemente se informó que campos de 1800 MHz causan lesión no térmica del ADN en fibroblastos humanos en cultivo y una línea de células de la granulosa de rata transformadas por el virus SV-40 (51). La exposición intermitente produjo un efecto mayor que la exposición continua. Se emplearon SAR 15 a 25 veces mayores que las máximas permitidas en telefonía celular (1.2 y 2.0 W/kg), y la metodología del trabajo ha sido criticada (52). No obstante, los resultados son suficientemente importantes como para ameritar evaluaciones independientes (53) con métodos más refinados y energías dentro de los límites de SAR actualmente permitidos.

Los posibles efectos citogenéticos de las microondas de telefonía celular han sido objeto de varias investigaciones. En cultivos de sangre periférica, no se halló efecto sobre la cinética de proliferación atribuible a exposición por 15 min a campos de 1800 MHz continuos o modulados, pero hubo mayor proporción de micronúcleos con los campos modulados (54). La SAR fue de hasta 5 W/kg. Igualmente, con SAR de 5 a 10 W/kg durante 24 h, se halló evidencia de daño cromosómico en linfocitos humanos con 837.0 y 1909.8 MHz (55). Las elevadas SAR hacen difícil decidir la relevancia de estos efectos para los riesgos de la telefonía móvil. Puede tener mayor importancia la reciente demostración de efectos sobre la condensación de la cromatina y el número de focos de reparación del ADN en linfocitos humanos, inducidos in vitro con una SAR de sólo 37 mW/kg (56).

Por otra parte, en células inmortalizadas Mono Mac 6 sometidas a campos tipo GSM de 1800 MHz a 2 W/kg por 12 h no se halló diferencia en la cinética celular, apoptosis o necrosis (57). Asimismo, en varios estudios de un mismo grupo no se demostró efecto cromosómico de las microondas tipo GSM de 900 MHz (58-60).

Otro conjunto de mecanismos involucrados en la carcinogénesis son aquéllos que involucran modificaciones epigenéticas (61). En los cambios epigenéticos no se altera la secuencia de bases del ADN, sino que se producen cambios como metilación del ADN (62) o acetilación de las histonas asociadas a él, con cambios en la transcripción de oncogenes o de genes supresores de tumores (63, 64).

Los estudios sobre cambios epigenéticos producidos por microondas han brindado resultados contradictorios (50). Un estudio en el nematodo *Caenorhabditis elegans* mostró como ENT de microondas la inducción de *hsp16*, una proteína de golpe de calor ó HSP (65). Ya que la activación de HSP está relacionada con la respuesta celular al estrés (no solamente térmico), ellas serían una vía potencial de alteración de la función celular en general, y de la carcinogénesis en particular (66). Se sugirió que el estrés desencadenante de la inducción de HSP causada por microondas podría involucrar un aumento de las especies reactivas del oxígeno. Los radicales libres o especies reactivas del oxígeno (y del nitrógeno) son mediadores importantes en los efectos celulares de las radiaciones ionizantes (67, 68).

En una línea de células endoteliales humanas se halló que microondas de 900 MHz inducían HSP27 y la kinasa p38MAPK, entre otras proteínas (69). No obstante, en otras células humanas no se observó efecto sobre las HSP con microondas de la misma frecuencia (900 MHz) y varios niveles de SAR (70). La hipertermia (40°C) y un éster de forbol aumentaron las especies reactivas del oxígeno y la HSP70 en líneas celulares inmortalizadas derivadas de pacientes leucémicos (71) y en cultivos primarios de monocitos y linfocitos humanos (72). Por el contrario, campos de 1800 MHz con varias SAR no tuvieron efecto sobre las citadas variables. Tampoco hubo efecto de microondas de 1900 MHz sobre las HSP en líneas celulares del sistema inmune (73, 74) o derivadas de glioma (75). En general, no se ha hallado una respuesta consistente de inducción de HSP en líneas celulares humanas (76). En tres líneas celulares de origen humano (TK6, HL60 y MonoMac-6) expuestas de manera intermitente durante 6 h a un campo modulado de 1900 MHz con SAR de 1 W/kg y 10 W/kg no se halló diferencia en la viabilidad celular, apoptosis, cinética del ciclo celular, ni liberación de diversas citokinas inflamatorias (77). Los efectos sobre una línea celular epidermoide se tratarán más abajo.

Otra molécula que se postuló como un posible blanco de las microondas es la ornitina decarboxilasa (78, 79). Esta enzima tiene un papel central en la síntesis de poliaminas, está sobreexpresada en diversos tumores y contribuye a la progresión tumoral (80). No obstante, el efecto estimulante de las microondas sobre la ornitina decarboxilasa dista de ser consistente en diversos tipos de células estudiadas; en algunos casos, las microondas no causan cambio, e incluso pueden reducir la actividad de la enzima (77, 81).

Algunas investigaciones han explorado posibles cambios en la expresión génica causada por microondas, los cuales no han sido en general importantes (77), como tampoco los cambios en la expresión de proteínas (82). Sin embargo, en una línea de células endoteliales de origen humano, las microondas de 900 MHz modificaron la expresión de genes de 38 proteínas, entre ellos la proteína citoesquelética vimentina (83). En un trabajo posterior, los mismos autores notaron que el perfil de genes afectados era diferente en dos variantes de la misma línea celular, lo que sugiere que los efectos precisos de la radiación depende del contexto genómico y proteómico (84). En cambio, las microondas moduladas de 1900 MHz no produjeron cambio en la expresión génica de una línea celular de glioblastoma humano (85).

Cabe esperar que distintos tipos de células reaccionen diferencialmente a las microondas de telefonía móvil. Un estudio muy reciente comparó la respuesta de varias líneas celulares a campos de 900 y 1800 MHz mediante exploración del genoma completo. Las líneas NB69 (neuroblastoma), CHME5 (microglial) y linfocitos T no mostraron cambios en la expresión, mientras que en las líneas EA.hy926 (endotelial), U937 (linfoblastoma) y HL-60 (leucemia) se detectó cambio en la expresión de un gran número de genes. Sin embargo, los cambios en el perfil de expresión no representaban una respuesta típica al estrés celular (86).

Estudios en animales

Los intentos de inducción de tumores por exposición de animales normales a microondas han dado resultados generalmente negativos (50, 87-91). Tampoco se observó modificación en la progresión de tumores en animales a los que se les inyectaron células cancerosas (91).

Otros estudios han investigado el efecto de las microondas como moduladoras de iniciación o progresión tumoral en animales genéticamente propensos a tumores o tratados con carcinógenos conocidos. En ratones transgénicos moderadamente propensos a desarrollar linfomas, se halló que la exposición a campos de 900 MHz con modulación similar a la empleada en telefonía celular aumentaba el riesgo de linfoma a más del doble (92). El aumento de riesgo no fue confirmado por otro estudio que empleó SAR de 0.25 a 4.0 W/kg durante hasta 26 meses en ratones de la misma cepa (93). Tampoco se halló mayor frecuencia o desarrollo acelerado de la enfermedad en ratones AKR/J (que desarrollan linfoma antes del año) expuestos a campos de 900 MHz 24 h al día con una SAR promedio de 0.4 W/kg hasta 40 semanas (94).

Adey y colaboradores estudiaron el efecto de la exposición a microondas desde la vida intrauterina en ratas Fischer 344, con un seguimiento de hasta dos años, en la frecuencia de tumores cerebrales espontáneos o inducidos por el carcinógeno nitrosourea. No hallaron efectos adversos atribuibles a la irradiación (95). Dos investigaciones independientes evaluaron el efecto de las microondas empleadas en telefonía celular en el desarrollo de tumores mamarios inducidos en ratas por un antraceno, sin hallar efecto significativo (96, 97). En otro modelo, se administró una furanona carcinógena a ratas expuestas durante dos años a campos de 900 MHz con SAR de 0.3 a 0.9 W/kg. No se detectaron efectos genotóxicos (98) ni aumentos en la mortalidad o la frecuencia de ningún tipo de tumor (99). Otros modelos animales –por ejemplo, de estimulación por microondas de la carcinogénesis causada por radiación ionizante– también han dado resultados negativos (50, 90, 100). Por ejemplo, en un estudio se expusieron grupos de 50 ratones hembras de 3 a 5 semanas de vida a radiación ionizante en forma aguda, y durante las siguientes 78 semanas a 2 tipos de microondas pulsadas de teléfonos celulares (NMT y GSM) en forma continua. No hubo diferencias en la incidencia de tumores entre ninguno de estos grupos y el de animales irradiados con rayos X pero no expuestos a microondas (101).

Estudios epidemiológicos

En los últimos años se han realizado cierto número de estudios de caso-control y un número más limitado de estudios de cohorte en relación con la incidencia de diversas neoplasias en usuarios de telefonía celular (Tabla 3). Los datos de estudios anteriores a 2000 han sido previamente revisados (102). Como advertencia general, debe notarse que en la mayoría de los trabajos, la evaluación de la exposición ha sido poco precisa y el tiempo de seguimiento excesivamente breve, considerando la biología de los tumores humanos. Sobre lo primero, la exposición se ha determinado, por ejemplo, mediante encuesta histórica, duración de la suscripción y registro de facturas (103). Sólo recientemente se ha validado una evaluación de la correlación entre el uso informado por los usuarios y la potencia total acumulada por las llamadas efectivamente realizadas; aún así, el coeficiente de regresión, aunque significativo, es sólo de aproximadamente 0.5 (104). Kundi y colaboradores han realizado una crítica exhaustiva sobre los defectos de diseño e interpretación de los estudios publicados hasta 2003 (105).

Sobre el tiempo de exposición, de los estudios con radiación ionizante se sabe que la latencia mínima entre la inducción y la manifestación clínica de tumores sólidos es de 10 años y la incidencia máxima puede ser de varias décadas (36, 37, 39). Dado que la telefonía móvil es una tecnología cuyo empleo masivo es reciente, en la mayoría de los estudios publicados el tiempo de seguimiento no ha superado los 5 años. Por otra parte, si en lugar de tener un efecto carcinogénico (iniciador), las microondas actúan como promotoras de tumores, la latencia entre el inicio de la exposición y la manifestación clínica del tumor puede ser más breve.

Una dificultad a tener en cuenta es que la tecnología de la telefonía celular está en rápido cambio. No es claro hasta qué punto los resultados de estudios realizados con un sistema de comunicaciones son extrapolables a otros sistemas, en particular porque se conoce que ciertos efectos no térmicos de las microondas se producen en ventanas muy estrechas de frecuencia (15). Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es si hay una diferencia en la frecuencia de tumores del lado de la cabeza en que habitualmente se coloca el teléfono, ya que la energía absorbida es 10 veces menor del lado opuesto (102).

Según encuestas epidemiológicas de Nueva Zelanda (106) y EE.UU. (107) no hubo un incremento de tumores cerebrales en la población a pesar del aumento exponencial del empleo de telefonía celular. Un estudio inicial de cohorte (108) y otro de caso-control (109) no hallaron mayor frecuencia de tumores cerebrales malignos en usuarios de telefonía analógica, pero el seguimiento fue muy breve. Johansen y colaboradores estudiaron la incidencia de cáncer en Dinamarca en una cohorte de más de 400.000 usuarios de telefonía celular, sin hallar aumento en ningún tipo de tumor (110). Con diseños caso-control, otros trabajos tampoco pudieron demostrar asociación entre telefonía celular y tumores cerebrales malignos (111, 112). Por el contrario, en otros estudios caso-control Hardell y colaboradores encontraron un leve aumento de riesgo de tumor maligno –especialmente astrocitoma de alto grado– del mismo lado en que se empleaba el teléfono, para aparatos de tipo analógico (113, 114). Los mismos autores hallaron que también el uso de teléfonos digitales (e inalámbricos) se asocia con un aumento del riesgo, particularmente con exposiciones superiores a los 10 años, para tumores diagnosticados entre 2000 y 2003 (115).

Por razones obvias, varias investigaciones han explorado la asociación entre telefonía celular y neuroma (schwannoma) acústico. Un estudio caso-control no halló asociación, y además en los usuarios el tumor fue más frecuente del lado contralateral de la cabeza (116). Para neuromas diagnosticados en Dinamarca entre 2000 y 2002, no se halló correlación con el uso de telefonía celular. Los neuromas no ocurrieron con mayor frecuencia en el oído empleado preferentemente, y el mayor tiempo de uso no se asoció con un aumento del riesgo (117). En otros estudios hubo un mayor riesgo de neuroma del acústico asociado con teléfonos móviles analógicos y digitales (118-120). Se halló una mayor frecuencia del lado isolateral de la cabeza, y un mayor riesgo con la prolongación de la exposición (120). Asimismo, un estudio internacional en los cuatro países escandinavos y el Reino Unido halló que el odd ratio de un neuroma isolateral era de 1.8 (intervalo de confianza 95% = 1.1 a 3.1) cuando la exposición superaba los 10 años (121). Este estudio originó una áspera controversia entre quienes creen que el riesgo es mayor (122-125). El riesgo relativo puede ser tan alto como 3.5 cuando se consideran solamente los estudios con tiempos prolongados de exposición (105), pero véase el meta-análisis citado más abajo.

Si bien es raro, el melanoma de la úvea es la neoplasia primaria del ojo más común en adultos. Slang y colaboradores hallaron evidencia sugestiva de una asociación de las microondas con este tumor (126). Por el contrario, un estudio danés destinado específicamente a explorar la relación entre este melanoma y la telefonía ce-

lular no mostró asociación (127). Se aguardan los resultados de un estudio europeo conjunto actualmente en ejecución (128).

La situación parece algo más clara con respecto a los gliomas y meningiomas. Los primeros estudios no hallaron asociación con la telefonía celular (109-111, 129). Posteriormente se halló un aumento del riesgo con teléfonos analógicos, pero no con tecnología digital (121). En estudios de casos diagnosticados en pacientes de 20 a 69 años durante 2000 a 2002 no hubo asociación de gliomas o meningiomas con la telefonía celular incluso con exposiciones superiores a 10 años en Suecia (130) ni en Dinamarca (131).

Tabla 3: Estudios epidemiológicos sobre telefonía celular y cáncer.					
País y año de publicación	Tipo de teléfono#	Exposición máxima	Número de sujetos	Neoplasias evaluadas	Razón de riesgo (intervalo de confianza 95 %)
Suecia 1999 (129)	A, D	> 5 años	34 casos 69 contr	Intracraneales	0.83 (0.49-1.42)
USA 2000 (111)	NI	> 4 años	17 casos 22 contr	Malignos intracraneales	0.7 (0.4-1.4)
USA 2001 (109)	NI	> 5 años	22 casos 31 contr	Intracraneales	0.9 (0.5 – 1.6)
Finlandia 2002 (112)	A, D	> 2 años	398 casos 1986 contr	Intracraneales	1.3 (0.9- 1.8)
Suecia 2002 (114)	A, D	> 5 años	153 casos 124 contr	Intracraneales	0.9 (0.6-1.5)
USA 2002 (116)	NI	6 años	11 casos 6 contr	Neuroma acústico	1.7 (0.5-5.1)
Suecia 2004 (141)	A, D	> 10 años	267 casos 1053 contr	Glándulas salivales	A 0.92 (0.58-1.44) D 1.01 (0.68-1.50)
Suecia 2005 (130)	A, D	> 5 años	136 casos 171 contr	Glioma y meningioma	0.73 (0.55-0.96)
Dinamarca 2005 (131)	NI	> 5 años	83 casos 193 contr	Glioma y meningioma	0.66 (0.46-0.95)
Cinco países nórdicos, 2005 (121)	A, D	> 5 años	127 casos 646 contr	Neuroma acústico	0.95 (0.75-1.18)
Suecia 2005 (120)	A, D	> 5 años	87 casos 129 contr	Neuroma acústico, meningioma	1.4 (1.02-1.93)
Suecia 2005 (139)	A, D, C	> 5 años	920 casos 1016 contr	Linfoma no Hodgkin	0.92 (0.76-1.12)*
USA 2006 (140)	A, D	> 8 años	551 casos 462 contr	Linfoma no Hodgkin	1.0 (0.7-1.3)
Suecia 2006 (115)	A, D	> 5 años	98 casos 129 contr	Intracraneales malignas	1.49 (1.10-2.02)
Suecia 2006 (132)	A, D, C		1254 casos 2162 contr	Neuroma acústico meningioma	Neuroma A 2.9 (2.0-4.3) D 1.5 (1.1-2.1) Meningioma A 1.3 (1.0-1.7) D 1.1 (0.9-1.3)
Reino Unido 2006 (133)	A, D	> 10 años	966 casos 1716 contr	Glioma	0.94 (0.78-1.13)
Dinamarca, Suecia 2006 (142)	A,D	> 10 años	172 casos 681 contr	Parotídeas	Benignas 0.9 (0.5-1.5) Malignas 0.7 (0.4-1.3)

Dinamarca 2006 (144)	A, D	> 10 años	420 095 (cohorte)	Todas	0.95 (0.93-0.95)§
Suecia 2006 (143)	A, D, C	> 10 años	888 casos 870 contr	Testiculares (346 no seminomas)	Seminoma A 1.2 (0.9-1.6) D 1.3 (0.9-1.8) Otros A 0.7 (0.5-1.1) D 0.9 (0.6-1.4)
Cinco países nórdicos 2007 (134)	A, D	> 10 años	1522 casos 3301 contr	Glioma	0.78 (0.68-0.91)

A, análogo; D, digital; C, inalámbrico (cordless); NI, no informado.

* Calculada incluyendo usuarios de teléfonos móviles e inalámbricos.

§ Razón de incidencia estandarizada.

Un análisis conjunto de los casos diagnosticados en Suecia entre 1997 y 2003 tampoco indicó un aumento de riesgo de meningioma (132). Asimismo, un estudio caso-control de casi 1000 gliomas diagnosticados en el Reino Unido entre 2000 y 2004 no encontró aumento del riesgo, aunque debe advertirse que sólo un pequeño porcentaje de los pacientes eran usuarios de telefonía celular por más de 10 años (133). Un estudio colaborativo de cinco países del norte de Europa con 1522 casos y 3301 controles tampoco halló aumento del riesgo de glioma (134).

Dos estudios alemanes, que forman parte del proyecto INTERPHONE, no hallaron aumento de riesgo de glioma o meningioma por exposición ocupacional a microondas (135) ni por exposición a antenas y aparatos de un sistema de comunicación inalámbrico (136). Un estudio retrospectivo (1969-2002) analizó la incidencia de tumores cerebrales en Suiza antes de la introducción de la telefonía móvil en 1987 y después de ella (137). No se halló aumento de la incidencia, y las tasas de mortalidad permanecieron estables, lo que sugiere que el uso de telefonía celular no es un factor de riesgo importante, al menos en el mediano plazo.

Lahkola y colaboradores publicaron recientemente un meta-análisis de los estudios publicados hasta diciembre de 2005 sobre la relación entre telefonía celular y tumores intracraneales, que incluyó 2 780 casos (138). La razón de riesgo (odd ratio) del conjunto de tumores fue de 0.98, con un intervalo de confianza de 95% de 0.83 a 1.16. Las estimaciones de riesgo se basaron en casos con uso de teléfono celular por más de 5 años. No se halló riesgo elevado para ningún tipo de tumor endocraneano, como glioma, meningioma o neuroma acústico.

Aunque el conjunto de la evidencia epidemiológica es hasta el momento en gran medida negativa con respecto a leucemia y linfoma (23, 27), investigadores suecos hallaron un aumento modesto del riesgo con teléfonos analógicos, digitales e inalámbricos para el linfoma no Hodgkin de células T con más de 5 años de exposición, pero no para el de células B (139). No obstante, solamente hubo 53 casos de linfoma de células T. Por otra parte, un estudio muy reciente, dirigido por investigadores del Instituto Nacional del Cáncer de EE.UU., no halló ninguna asociación significativa entre riesgo de linfoma no Hodgkin y empleo de telefonía celular (140).

Dada la ubicación de las glándulas salivales, varios estudios han analizado la relación entre el cáncer de estas glándulas y el empleo de teléfonos celulares. Tres estudios realizados respectivamente en Dinamarca (110), Finlandia (112) y Suecia (141) no han mostrado asociación de la telefonía celular con los tumores de glándulas salivales. Tampoco se halló ningún vínculo con tumores limitados a la parótida, benignos o malignos (142).

Un reciente estudio sueco analizó el riesgo de tumores testiculares en usuarios de telefonía móvil o inalámbrica en casi 900 casos y otros tantos controles. No se halló aumento del riesgo de seminoma ni de otros tumores testiculares asociado al empleo de teléfonos analógicos, digitales, ni inalámbricos (143).

En diciembre de 2006 se publicaron los resultados del seguimiento en Dinamarca de una cohorte de más de 420 000 hombres y mujeres (110) que comenzaron a emplear teléfonos móviles entre 1985 y 1995 y fueron seguidas hasta 2002 con respecto a la incidencia de cáncer luego de una mediana de uso de 8 años (144). No se halló aumento de la frecuencia total de cáncer por encima de la esperada. Tampoco aumentó la frecuencia de neoplasias específicas, como las del sistema nervioso (incluido el neuroma acústico), glándulas salivales, ojo, pulmón, esófago, riñón, cuello del útero, mama, próstata, ni testículo. Los autores notaron que "los estrechos intervalos de confianza proveen evidencia de que cualquier asociación grande entre riesgo de cáncer y uso de un teléfono celular puede ser excluida" (144).

Telefonía celular y sistema nervioso central

Los posibles efectos de las microondas de la telefonía celular sobre el sistema nervioso central son un área de activa investigación, por dos obvias razones. Primero, por la proximidad del aparato al cerebro durante su uso normal, y segundo, por ser el cerebro un órgano eléctricamente excitable, cuya actividad involucra fenómenos eléctricos locales y propagados. Por su elevada frecuencia, las ondas electromagnéticas empleadas en telefonía móvil no pueden estimular directamente a las neuronas, pero esto no descarta que puedan tener efectos más sutiles. Las primeras investigaciones han sido reseñadas por varios autores (145-147), pero desde entonces se han publicado muchos estudios.

Estudios "in vitro" y en animales

No se han detectado efectos electrofisiológicos claros con exposición de tejido nervioso in vitro a frecuencias y energías propias de la telefonía celular, aunque en células de neuroblastoma en cultivo se observó una mayor liberación de Ca^{2+} al medio extracelular (145). Este fenómeno no pudo reproducirse en tejido cerebral de rata. Tampoco se han hallado ENT consistentes sobre el electroencefalograma de animales (145-147).

Otros investigadores han estudiado el efecto de las microondas sobre la expresión de genes y sus productos. La expresión de genes de respuesta rápida al estrés celular (hsp72, c-fos y c-jun) no aumentó con la irradiación con 900 MHz modulados a 217 Hz, excepto con dosis de 7.5 W/kg (SAR), mucho mayor que las máximas emitidas por los teléfonos (148). Tampoco hubo aumento de la expresión de c-fos en el cerebro fetal de ratón tras la exposición in utero a ondas de 900 MHz (SAR 4 W/kg) 1 h diaria durante el embarazo (149). Sin embargo, recientemente se demostró una sinergia entre microondas y el convulsivante picrotoxina con respecto a la expresión de c-fos en ratas adultas. López Martín y colaboradores trataron animales expuestos a ondas moduladas de 900 MHz con una SAR medias en la cabeza de 0.27 a 0.42 W/kg durante 2 h, y animales no expuestos. Se observaron convulsiones en los animales expuestos y tratados con picrotoxina, pero no en los que recibieron un solo tratamiento. La picrotoxina aumentó la expresión de c-fos significativamente más en los animales expuestos a microondas, especialmente en la circunvolución dentada, pero también en otras áreas corticales y en el tálamo (150).

Con la técnica de micromatrices, otro estudio halló que la exposición de ratas a una señal modulada de 915 MHz por 2 h a 0.4 W/kg (límite ocupacional de SAR) produ-

jo leves cambios en la regulación de algunos genes vinculados con la regulación de neurotransmisores, la producción de melatonina y la barrera hematoencefálica (151). En cambio, no hubo efecto sobre la integridad del ADN ni sobre la estructura de la cromatina, confirmando hallazgos previos (145).

Aunque diversas microondas pueden afectar los sistemas neurotransmisores noradrenérgico, serotoninérgico y colinérgico, en algunos casos no puede descartarse un efecto térmico. Además, no hay evidencia de que las microondas específicas empleadas en la telefonía celular influyeran en estos sistemas neurotransmisores (145-147).

Por otra parte, la exposición por 15 min a ondas moduladas de 900 MHz produjo cambios rápidos en receptores para glutamato tipo NMDA, receptores GABAA y transportadores de dopamina en el cerebro de rata. En general se observó moderada disminución de la afinidad por ligandos específicos, excepto en el striatum donde aumentó el número de transportadores funcionales para dopamina (152). Las microondas redujeron la expresión postsináptica de receptores NMDA en corteza, striatum e hipocampo, y el estado de fosforilación del receptor en la corteza. No obstante, estos efectos se produjeron con SAR de 6 W/kg, muy superiores a las empleadas efectivamente en la comunicación y tres veces mayores que las permitidas por los estándares internacionales. Estas dosis elevadas produjeron asimismo una intensa reacción glial en los animales tratados (152). El efecto sobre la glía puede ser indirecto, pues en células de astroglia en cultivo no hubo cambios en la liberación de citocinas (interleukina 6 y γ -TNF) ni del nivel de la proteína ácida fibrilar con dosis de hasta 27 W/kg por 24 h (148). En el mismo estudio, tampoco se modificaron las citocinas ni el marcador de reactividad ED-1 en células microgliales (153).

Los efectos de las microondas sobre la permeabilidad de la barrera hematoencefálica también fueron objeto de varias investigaciones, con resultados contradictorios (145). En un estudio bien controlado se demostró que la misma inmovilización de los animales, necesaria para exponerlos a microondas, causaba alteraciones de la permeabilidad en ratas. La exposición durante 4 h solamente causó efectos adicionales en la mitad de los animales que recibieron dosis elevadas (7.5 W/kg), pero no con dosis de 0.3 ó 1.5 W/kg (154). Otro estudio en ratones, con SAR de 4 W/kg, tampoco halló efecto sobre la permeabilidad (155). El mismo grupo estudió el efecto de la irradiación durante el embarazo en ratonas (4 W/kg, 1 h/día durante los días 1 a 19), sin detectar efecto adverso sobre la barrera hematoencefálica de las crías (156). Otros estudios en modelos in vitro (157) e in vivo (158) tampoco hallaron efectos de las microondas de 1800 y 2450 MHz, respectivamente.

En los estudios anteriores, el intervalo entre la exposición y el examen de los efectos de las microondas no superó una semana. Es posible que existan cambios más tardíos. Se expusieron ratas adultas jóvenes durante 2 h a potencias de 0.01, 0.1 y 1 W emitidas por un teléfono GSM, que resultaron en SAR para todo el cuerpo de 0,002 W/kg, 0,02 W/kg y 0,2 W/kg respectivamente. Los cerebros fueron examinados al cabo de 50 días. En los animales expuestos se halló extravasación de albúmina en diversas localizaciones no halladas en los controles. Además, excepto con el SAR más bajo, los cerebros de las ratas expuestas mostraron un aumento significativo de neuronas anormales (posiblemente apoptóticas) que no superó en promedio 2%, pero eran más numerosas en algunas áreas (159). Este estudio demostró por primera vez que microondas y dosis relevantes en telefonía móvil pueden causar daño neuronal a mediano plazo, pero hasta la fecha los hallazgos no han recibido confirmación independiente.

La hipótesis según la cual los teléfonos móviles causan estrés oxidativo en el sistema nervioso central se trata por separado más abajo.

Estudios electrofisiológicos en humanos

El electroencefalograma (EEG) es un registro de la actividad eléctrica de la corteza cerebral que corresponde a la sumatoria en el tiempo y espacio de los potenciales sinápticos de grandes conjuntos de neuronas (160). Las frecuencias dominantes en adultos se denominan alfa (8 a 13 Hz) y beta (14 a 30 Hz). En una persona despierta, en ausencia de estimulación sensorial y de actividad cerebral deliberada, las ondas alfa predominan en la región occipital y las ondas beta predominan en la región frontal.

Los primeros estudios sobre la influencia de las microondas de telefonía celular sobre el EEG en reposo no hallaron efectos (145-147). Posteriormente se observó que la exposición a ondas moduladas de 900 MHz aumentaba la energía de la frecuencia alfa (161). Este hallazgo fue confirmado por otro grupo, el cual notó que el efecto era menor si la exposición era previa al registro que simultánea con él (162). Se halló un mayor efecto de las microondas sobre el ritmo alfa y beta cuando el aparato estaba a potencia plena (con el parlante desconectado) que cuando estaba simplemente encendido (163). Otro estudio mostró un efecto complejo sobre el EEG, con disminución de la actividad de 1 a 4 Hz (delta) y aumento de la actividad alfa en regiones posteriores próximas a la línea media, con reducción de las respuestas en la banda beta y aumento de la actividad de 30 a 45 Hz (gamma). Los efectos dependieron también de la duración de la exposición (164).

Un hallazgo inexplicado es que puede existir una diferencia según el sexo: una señal de 900 MHz redujo la energía del EEG en varones pero la aumentó en mujeres. No hubo, en cambio, diferencia en el desempeño relacionada con el sexo de los voluntarios (165). Con registro telemétrico del EEG se observó que, con una latencia de 10 a 15 s, en adultos aumentó la frecuencia del EEG en la región de la cabeza más próxima a la antena. De 20 a 40 s después, se registró actividad lenta (2.5 a 6 Hz) del lado contralateral, que duraba 1 s y reaparecía con un período de 15 a 20 s, desapareciendo lentamente luego de apagarse el teléfono (166). En niños, las ondas lentas tuvieron menor frecuencia y aparecieron con una latencia menor (166). Se desconoce la significación de los efectos de la telefonía celular en el EEG de reposo de adultos o niños.

Hasta la fecha se ha publicado una sola investigación sobre la excitabilidad cortical en humanos expuestos a microondas de telefonía celular. La estimulación magnética transcraneal (167) fue empleada para monitorear la excitabilidad de la corteza motora durante la exposición a una señal GSM típica, con un SAR máximo de 0.5 W/kg (168). El aparato aumentó la excitabilidad cortical solamente del lado expuesto (izquierdo) y sólo cuando el aparato estaba funcionando. Se observó tanto una reducción de la inhibición intracortical breve como un aumento de la facilitación intracortical. Se desconoce el mecanismo de este efecto, aunque podrían estar involucrados receptores para glutamato y GABA, que responden a señales de telefonía celular (152).

Metabolismo y flujo sanguíneo cerebral

Los posibles cambios inducidos por las microondas sobre el metabolismo cerebral han recibido relativamente poca atención (145). Recientemente se empleó espectroscopia por resonancia magnética para comparar in vivo el metabolismo del lóbulo temporal y tallo cerebral, las áreas cerebrales que reciben mayor dosis durante el uso normal del teléfono celular. Se comparó un grupo control (n=15) con un grupo de 21 personas que habían empleado telefonía celular por una media de 5.5 años y 2.4 h diarias (169). No se halló diferencia en las relaciones de N-acetilaspártato, colina o mioinositol con la de creatina/fosfocreatina. Evidentemente se requieren

más estudios con exposición concurrente, y no sólo histórica, a las microondas de la telefonía móvil, pero son caros y complejos.

Se ha estudiado el efecto de la telefonía celular sobre el caudal sanguíneo cerebral mediante tomografía de emisión de positrones. La exposición a campos electromagnéticos pulsados que simulan los producidos por un aparato de telefonía celular produce aumentos del flujo sanguíneo cerebral en la corteza prefrontal del lado de la antena tras 30 min de exposición (163). El efecto no se produce cuando la señal simula aquélla emitida por una base, en la cual los componentes pulsátiles de baja frecuencia son de menor amplitud (170). La SAR promedio fue de 0.27 W/kg del lado expuesto, lo cual hace muy poco probable que el aumento del caudal se debiera a un efecto térmico. Además, si bien el aumento del caudal sanguíneo se produjo dentro de la región del cerebro donde la SAR fue mayor, permaneció localizado (áreas de Brodmann 2, 6, 9, 10, 40 y 44), de modo que aparentemente no es un efecto inespecífico. Por otra parte, se detectó un aumento del caudal con la exposición a una señal tipo base con respecto a una señal tipo aparato en el área de Brodmann 20, situada en la circunvolución temporal inferior (170).

En los trabajos citados (163, 170) la exposición a las microondas fue previa a la determinación del caudal, y la cabeza se situó entre dos antenas planas para proporcionar una exposición uniforme. En cambio, Haarala y colaboradores (171) emplearon una geometría más realista, basada en la posición que ocupa el aparato con respecto a la cabeza durante el uso normal mientras los sujetos realizaban una tarea de memoria visual. La exposición a 902 MHz durante la adquisición produjo una disminución bilateral del caudal en la corteza auditiva. En un estudio posterior del mismo grupo, se tomaron precauciones para evitar fuentes de interferencia, como el sonido emitido por la batería. Se empleó un aparato cuya antena estaba del lado izquierdo a 17 mm del cráneo, como en la condición normal de operación (Fig. 2).

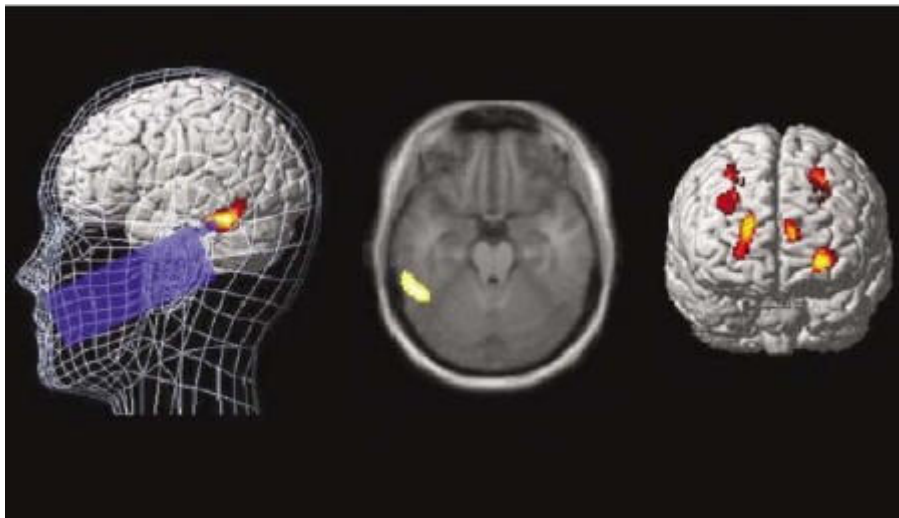


Figura 2: Efecto de un teléfono móvil sobre el flujo sanguíneo cerebral determinado con tomografía de emisión de positrones. A la izquierda se indica la posición del teléfono. En la imagen de la izquierda y el centro se muestra una reducción del flujo en la circunvolución fusiforme del lóbulo temporal posteroinferior izquierdo durante la exposición. A la derecha se indican áreas de ambos lóbulos frontales con aumento del flujo durante la exposición. De Aalto y col. (172). Reproducido con permiso de Macmillan Publishers Ltd, *J Cerebral Blood Flow Metab* 26: 885-890, copyright 2006.

La emisión fue a 902 MHz pulsada a 217 Hz, con una potencia de 0.25 W y una SAR media de 0.74 W/kg. Se realizaron barridos repetidos con el teléfono activo o desconectado mientras los sujetos realizaban una tarea de memoria de trabajo (172). La exposición a las microondas produjo aumentos localizados pero bilaterales en las circunvoluciones frontales superior y media, y una disminución del caudal localizada en la circunvolución fusiforme del lóbulo temporal izquierdo. La memoria de trabajo no fue afectada por las microondas.

En síntesis, la exposición a microondas de telefonía celular produce cambios localizados en el flujo sanguíneo cerebral que no se deben a cambios térmicos y posiblemente sean causados por efectos sobre grupos de neuronas.

Sueño

El sueño es un estado fisiológico complejo, en el cual se observan en el EEG períodos de ondas de baja frecuencia alternados con períodos más breves de ondas de alta frecuencia (alfa o beta). En los períodos con ondas de alta frecuencia se producen movimientos oculares rápidos, por lo que se denominan sueño REM (Rapid Eye Movements).

El efecto de las microondas de telefonía celular sobre el sueño es de interés, en particular porque el trastorno del sueño es uno de los síntomas que algunos pacientes relacionan con la exposición a microondas, aunque la evidencia epidemiológica es escasa (173). El primer estudio de laboratorio halló una leve disminución en la latencia para dormirse, un aumento en la latencia del sueño REM y una reducción en la duración de éste, pero no del sueño total (174). Se halló una mayor energía del EEG solamente durante el sueño REM. Sin embargo, estos hallazgos no pudieron ser confirmados por estudios posteriores (175).

La exposición de varones jóvenes durante 30 min a ondas de 900 MHz (SAR pico 1 W/kg) previamente al sueño causa un aumento de la energía del EEG durante el sueño no REM, en la banda alfa (174, 175) y una disminución de la latencia para el primer período de sueño REM (176). La exposición durante el sueño tuvo un efecto similar sobre el EEG, siempre que la onda fuese modulada y no continua (161, 177, 178). Los efectos también se producen con exposición unilateral; los autores postularon la participación de estructuras subcorticales. La exposición durante el sueño redujo la probabilidad de despertar luego de iniciado el sueño (175).

En resumen, las microondas de telefonía celular pueden afectar levemente el EEG durante el sueño no REM, acortar la duración del sueño REM y tener un leve efecto hipnótico (173). No obstante, se desconoce actualmente si estos efectos tienen significación para la salud humana, y es posible que carezcan de trascendencia clínica.

Funciones superiores

La influencia de las microondas de telefonía celular sobre el procesamiento cognitivo y sus correlatos electrofisiológicos ha sido objeto de muchos estudios, con resultados inconsistentes. La primera investigación en adultos no mostró efectos en el desempeño en tareas de memorización de nombres, números o figuras ni en la memoria espacial, pero sí un acortamiento del tiempo de reacción en una prueba de elección (179). Otro estudio independiente halló asimismo reacciones más rápidas en una batería de tareas que exploraban el tiempo de reacción y una reducción del tiempo necesario para una tarea matemática (180). Además, se hallaron efectos sutiles de sincronización y desincronización del EEG (181) durante la realización de una tarea de memoria visual (182) y auditiva en adultos (183) y niños (182). Edelstyn y Oldershaw informaron que la exposición durante 30 min aumentaba la

atención y mejoraba la velocidad de procesamiento en algunas pruebas (185). Otros autores informaron que las microondas de telefonía celular mejoraba la atención de manera dependiente de la duración de la exposición (186). Por el contrario, en un estudio destinado a detectar efectos vinculados con cuatro tareas dependientes del hemisferio derecho o izquierdo, el único efecto consistente fue un aumento del tiempo de reacción de la mano izquierda cuando se estimuló el lado izquierdo (187), lo que puede sugerir un efecto sobre el cerebelo.

Se sugirió un efecto facilitador de las microondas sobre la memoria de trabajo, que sólo se manifestaría en tareas exigentes (188). No obstante, con una muestra mayor ($n=64$) los mismos autores no pudieron reproducir ese efecto, y no hallaron diferencias en el desempeño cognitivo ni la memoria de trabajo (189, 190) y, en tareas de memoria auditiva, un mayor número de errores durante la exposición a las microondas (191). Otro estudio halló asimismo un deterioro del desempeño en una tarea de discriminación auditiva luego de la exposición a ondas de telefonía celular GSM (192).

La falta de disminución en el tiempo de reacción en tareas visuales y auditivas fue confirmada independientemente en niños (193) y en una muestra de 120 sujetos adultos (194). El mismo grupo realizó una serie de pruebas neuropsicológicas en voluntarios expuestos a ondas de un teléfono digital (Nokia 6110) a la máxima potencia de 0.25 W, y hallaron que en cuatro de las pruebas hubo una disminución del desempeño. En dos de ellas hubo un aumento del tiempo de reacción. Sin embargo, la exposición mejoró significativamente en dos pruebas visuales que involucraban una respuesta motora (195).

Un estudio mostró que la exposición a un teléfono móvil activo facilitaba la memoria espacial (menor número de errores) en varones, pero no en mujeres (196). No obstante, en 168 voluntarios no hubo efectos sobre la atención de las microondas continuas o pulsadas, emitidas desde el lado derecho o izquierdo de los sujetos (197).

Se evaluó el efecto de un teléfono GSM 1800 MHz previamente a una tarea de codificación y recuperación verbal. Las microondas modificaron un componente del magnetoencefalograma relacionado con la tarea, pero no afectaron el desempeño (198).

Esen y Esen utilizaron una medida objetiva del tiempo de procesamiento central al medir la respuesta electrodérmica (disminución de la resistencia de la piel) a la estimulación propioceptiva. En esta respuesta participan áreas cerebrales, como la corteza promotora y los ganglios de la base, que son cruciales para el control motor. En personas diestras, la respuesta es más precoz del lado derecho. En condiciones doble ciego, hallaron que la exposición a un teléfono activo de cualquier lado de la cabeza abolía la asimetría por aumento de latencia de la respuesta más precoz (derecha). Los autores postularon que un teléfono móvil puede reducir la velocidad de procesamiento central (199).

La mayoría de las investigaciones sobre efectos cognitivos se han realizado con exposiciones agudas, de minutos a horas con evaluación durante o inmediatamente después de la exposición a los teléfonos celulares. Un estudio francés evaluó el efecto a mediano plazo luego de la exposición durante 27 días (2 h diarias, 5 días por semana). Se evaluó antes y 13 h después de la exposición el desempeño con una batería de pruebas de procesamiento de información, capacidad de atención, memoria, y funciones ejecutivas en 27 varones y 28 mujeres. No se halló ningún efecto en las funciones cognitivas (200).

Audición, aparato vestibular y otras funciones sensoriales

Los potenciales relacionados con eventos (ERP) durante pruebas cognitivas también han proporcionado resultados difíciles de conciliar (145-147). Estos potenciales se denominan según la latencia media en milisegundos (50, 100, 200, etc.) y su positividad (P) o negatividad (N). El P50, provocado por estímulos auditivos de diferente frecuencia que ocurre durante una tarea de procesamiento pre-atencional y memoria de trabajo se modificó por la exposición a una señal de 900 MHz: aumentó la amplitud del P50 en respuesta al estímulo grave y lo opuesto ocurrió en respuesta al sonido agudo (201). En 12 voluntarios cuyo hemisferio derecho fue expuesto a microondas pulsadas de 894 MHz hubo retardos en los potenciales evocados auditivos N100 y P300, además de una reducción en la amplitud de N100 (202). Por otra parte, en una muestra de 120 voluntarios expuestos a una SAR promedio de 0.11 W/kg por 30 min, los mismos autores no encontraron cambios en el desempeño ni modificaciones de los ERP N100 y P300 (191). Maby y colaboradores expusieron nueve sujetos normales y seis pacientes epilépticos a misiones de 900 y 1800 MHz de un teléfono móvil y hallaron un retardo del N100 en la región frontal y parietooccipital en los pacientes, mientras que en los sujetos normales el N100 se adelantó, y además aumentó la amplitud del P200 en las áreas frontales (203). Los resultados en sujetos normales sugieren un aumento de la velocidad de procesamiento, aunque no puede establecerse un vínculo claro entre electrofisiología y trastorno funcional en los pacientes epilépticos.

Los posibles efectos agudos de los teléfonos móviles sobre la función auditiva han recibido considerable atención. Una exposición de 10 min no produjo cambios en el umbral auditivo (201) ni en la audiometría (204, 205). Varios estudios han evaluado la función de la coclea mediante la medición de emisiones otoacústicas evocadas, que son sonidos tenues originados en las células ciliadas externas frente a un estímulo sónico, que pueden registrarse con micrófonos sensibles (206). Los estudios de las emisiones otoacústicas en humanos expuestos por períodos breves a señales de telefonía celular no muestran efectos sobre el oído interno (204, 205, 207, 208).

No hubo efectos sobre las emisiones otoacústicas de ratas adultas con exposición de 1 h diarias durante 30 días (209) o 2 h diarias durante cuatro semanas (210). Tampoco se afectaron las emisiones otoacústicas de ratas expuestas por 30 días a partir del segundo día postnatal (209). En cobayos expuestos a microondas pulsadas de 900 MHz con SAR de 1 a 4 W/kg 1 h diaria, cinco días a la semana por dos meses, no se modificaron las emisiones otoacústicas ni los umbrales de potenciales evocados en el tallo cerebral. En el mismo estudio se expuso *in vitro* un órgano de Corti de ratas recién nacidas a 1 W/kg por 24 a 48 h, mientras que el otro sirvió como control. No se observaron diferencias con microscopía óptica (211).

No existen evaluaciones prospectivas con plazos mayores en humanos, pero un estudio retrospectivo comparó 20 varones que habían empleado un teléfono celular 2 h diarias durante 4 años con otros 20 que lo habían empleado 10 a 20 min por día y 20 que nunca emplearon teléfonos celulares (controles). No hubo diferencias en los umbrales de detección con audiometría de tonos puros entre los usuarios de 10 a 20 min y los controles. No obstante, para los usuarios de 2 h diarias se detectó un aumento significativo del umbral para la conducción aérea y ósea en las frecuencias de 500 Hz y 4000 Hz (212).

En cuanto al procesamiento auditivo central, la exposición de voluntarios a ondas de telefonía móvil de 450, 935 y 1800 MHz (213), 800 MHz (214) u 890 MHz (215) no afectaron los potenciales evocados auditivos del tallo cerebral tras exposiciones

de 20 a 30 min. Tampoco se halló diferencia en esta determinación en el estudio de usuarios moderados y frecuentes de telefonía móvil antes citado (212).

Dado que el aparato vestibular puede ser estimulado por corrientes convectivas causadas por diferencias de temperatura (216), se estudió por electronistagmografía la respuesta de cada vestíbulo a la estimulación con 890 MHz con una potencia de 2.2 W. Se registraron los cambios térmicos en la región temporal. Los aumentos de temperatura fueron insignificantes y limitados principalmente a la superficie; el cambio de temperatura en el vestíbulo se calculó en menos de 0.1°C. No hubo evidencia de estimulación vestibular en las condiciones experimentales (215, 217).

Un estudio evaluó la percepción visual en 58 voluntarios sanos expuestos a diferentes niveles de energía de una señal tipo UMTS modulada de 1970 MHz, con SAR de 0.37 a 0.63 W/kg. En una batería de pruebas destinadas a evaluar la percepción visual no hubo efecto atribuible a las microondas (218). La energía de las microondas empleadas en telefonía celular es insuficiente para causar efectos térmicos significativos en el ojo, y no hay evidencia de que produzcan opacidad corneal o cataratas (219).

En otra investigación, se midieron los potenciales evocados en la corteza somatosensorial en 12 voluntarios antes y después de una exposición de 30 min a una señal GSM en comparación con el teléfono apagado. Ni los potenciales evocados ni la recuperación fueron afectadas por las microondas (220).

Perspectiva sobre estudios experimentales en seres humanos

Los dispares resultados de los estudios arriba reseñados pueden ser en gran medida reflejo de diferencias en el diseño experimental y la metodología. Casi todos los trabajos se han realizado con tiempos de exposición relativamente breve y han examinado efectos agudos, tal vez sin seguimiento suficiente.

En la mayoría, las pruebas electrofisiológicas y funcionales se realizaron después de la exposición. Son menos las investigaciones en las que las pruebas se realizaron durante la exposición, en parte porque ésta puede interferir con las técnicas de registro.

En una revisión exhaustiva de estudios recientes, Cook y colaboradores (221) notaron que, en general, con el refinamiento del diseño experimental y el empleo de muestras mayores, la tendencia ha sido hallar más efectos fisiológicos (EEG, ERP, flujo sanguíneo, etc) y menos efectos sobre el efectivo desempeño de los voluntarios en pruebas neuropsicológicas.

Otra observación importante es que, en general, las microondas pulsadas tienen efectos más fácilmente demostrables que las no pulsadas (continuas). Posiblemente sean responsables de muchos efectos los componentes de baja frecuencia (próximas, por ejemplo, a las del EEG) y no las microondas por sí solas.

Finalmente, es evidente que se requieren estudios a mediano y largo plazo, pero éstos presentan a su vez considerables dificultades logísticas y presupuestarias.

Telefonía celular y otras variables fisiológicas y bioquímicas

En comparación con las investigaciones destinadas a evaluar el efecto de la telefonía móvil sobre el sistema nervioso central, otros aparatos y sistemas han recibido considerablemente menor atención.

Aparato circulatorio

Se sabe que las microondas pueden producir modificaciones de la presión arterial y alteraciones del ciclo circadiano (reducción de la amplitud) en sujetos con exposición ocupacional (222). En 10 voluntarios expuestos durante 35 min a un teléfono GSM de 900 MHz pulsado, del lado derecho de la cabeza, se detectaron aumentos pequeños (5 a 10 mmHg) de la presiones arteriales sistólica y diastólica y reducción de la frecuencia cardíaca. El efecto se atribuyó a vasoconstricción periférica (223). No obstante, los mismos autores realizaron posteriormente una investigación más detallada con una muestra mayor (n=40) y un diseño simple ciego, controlado con placebo. En estas condiciones no hallaron efecto sobre la presión arterial o la frecuencia cardíaca atribuible a la exposición (224).

Se halló una reducción en la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante el sueño durante la exposición a igual frecuencia (pulsada) con una SAR pico de 1 W/kg (176), pero un estudio independiente no pudo demostrar dicho efecto (225).

El supuesto efecto presor de las microondas tampoco pudo ser confirmado por un estudio con una muestra mayor (n=32), aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo. La exposición durante 35 min a GSM de 900 y 1800 MHz con la máxima potencia permitida no produjo modificaciones de la presión arterial (226). En sujetos conscientes tampoco se halló que la exposición a microondas emitidas por teléfonos GSM afectara la frecuencia cardíaca ni su variabilidad (227).

Recientemente se evaluó el efecto de un sistema CDMA de 835 MHz, cuya potencia máxima es de 0.3 W, con una SAR de 1.7 W/kg, sobre diversas variables fisiológicas en adultos y adolescentes (228). No hubo diferencias atribuibles a la exposición o su duración en las frecuencias cardíaca y respiratoria ni las presiones arteriales sistólica y diastólica. La resistividad de la piel decreció significativamente durante la exposición en los adolescentes, pero retornó al valor inicial dentro de los 10 min de apagado el teléfono. Lo mismo se observó en los varones, considerados como grupo (228). Esto sugiere un grado leve de activación simpática en los grupos citados, que no se manifiesta en las variables circulatorias. No obstante, el estudio no fue aleatorizado.

En síntesis, la limitada evidencia disponible no sugiere efectos agudos importantes de las microondas de telefonía móvil sobre el aparato circulatorio, aunque notablemente faltan estudios a mediano o largo plazo.

Melatonina

La melatonina es una hormona y mediador paracrino con numerosas propiedades biológicas. Se produce principalmente en la glándula pineal a partir de serotonina. La secreción está controlada por el núcleo supraquiasmático del hipotálamo, cuya actividad es regulada por la iluminación ambiental. La melatonina se secreta principalmente durante la noche y facilita el sueño. Además regula diversos ritmos biológicos, circadianos y ultradianos (229). Posee efectos antioxidantes por su acción barrendera de radicales libres y por inducir enzimas antioxidantes. También actúa como regulador del sistema inmune y tiene diversos efectos oncostáticos, por lo que su papel en el cáncer es motivo de activa investigación (230). Se ha postulado un vínculo entre el posible efecto carcinogénico de los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia y una inhibición de la secreción de melatonina (231). Varios estudios han evaluado el efecto de las microondas de telefonía celular sobre la secreción de melatonina. En ratas expuestas a campos de 900 MHz o 1800 MHz no hubo efecto sobre los niveles séricos nocturnos de melatonina (232). La exposición a ondas pulsadas de 1439 MHz con una SAR de 7.5 W/kg no modificó los niveles

séricos de melatonina, ni la concentración pineal de melatonina y serotonina durante la noche (233).

Los resultados de estudios en humanos son menos claros. En una muestra grande de trabajadores de la industria eléctrica, usuarios de telefonía celular por más de 25 min/día y no usuarios, se halló una menor excreción del metabolito de la melatonina, sulfato de 6-hidroximelatonina, y una relación con el uso diario de teléfono celular. Además, se detectó un efecto combinado del uso de telefonía celular y la exposición a campos de 60 Hz (234). Ocho mujeres jóvenes fueron expuestas durante la fase folicular del ciclo menstrual a un teléfono de 1.96 MHz encendido durante 6 períodos de 30 min de 7 pm a 1 am, o al teléfono desconectado. La concentración salival de melatonina fue igual en ambos casos al comienzo (7 pm) pero menor a las 2 am en el grupo expuesto (235). En 55 voluntarios expuestos en la tarde durante 30 min a un teléfono celular (900 MHz, 0.25 W) o placebo, la excreción nocturna de 6-hidroximelatonina no se modificó, pero hubo una menor excreción en las muestras tomadas antes de que los sujetos se acostaran a dormir. Esto podría indicar un efecto de la exposición sobre la hora en la que comienza a aumentar la secreción de melatonina (236).

Por otra parte, no hubo modificación del patrón de excreción diaria de 6-hidroximelatonina en nueve varones jóvenes expuestos durante 60 min a un teléfono móvil (900 MHz pulsado) con una SAR de 1.23 W/kg (237). En otros voluntarios expuestos al mismo tipo de teléfono no hubo cambio en la excreción salival de melatonina (238) ni su concentración plasmática (239). Tampoco se halló efecto sobre el patrón circadiano de la melatonina en 38 varones jóvenes expuestos a teléfonos GSM de 900 MHz ó de 1800 MHz a máxima potencia por 2 h diarias, 5 días por semana, durante 4 semanas (240).

En síntesis, es posible que los teléfonos celulares modifiquen la secreción de melatonina, aunque los resultados son contradictorios y el efecto sería poco intenso. Se ha sugerido que algunas personas podrían ser particularmente susceptibles a la inhibición de la secreción de melatonina (236).

Otras hormonas

En veinte varones sanos se evaluó el efecto de una exposición de 2 h diarias durante un mes a un teléfono de 900 MHz (0.25 W) sobre las hormonas de la anterohipófisis medidas en forma seriada. No hubo efecto significativo sobre la corticotropina, gonadotropinas, prolactina, ni hormona del crecimiento. La tirotropina disminuyó significativamente (21%) en la última muestra, pero se recuperó rápidamente al cesar la exposición (241). También en ratas expuestas a igual frecuencia 30 min/día durante igual período, hubo una disminución de la concentración de tirotropina y de hormonas tiroideas (242).

Otro estudio mostró la ausencia de efecto sobre la somatotropina y luteotropina durante la noche, pero halló una elevación precoz y transitoria de la corticotropina y el cortisol (239). En cambio, durante la exposición diurna no se halló modificación del cortisol salival (238) ni sérico (224). En cambio, en animales se ha observado un aumento de corticotropina y corticosteroides, capaces de iniciar cambios en la expresión génica de varios marcadores de estrés en el sistema nervioso central (ornitina decarboxilasa, c-fos y c-jun; véase más arriba). Este aumento debe interpretarse con cautela, pues al parecer guarda más relación con el estrés por inmovilización que con las microondas (243).

No se halló diferencia en el nivel plasmático de adrenalina, noradrenalina o endotelina con la exposición a teléfonos móviles (224).

Dada el creciente uso de los teléfonos móviles y la alta prevalencia de hipotiroidismo (243), debiera explorarse con mayor profundidad el posible efecto de los teléfonos móviles sobre la secreción de tirotrópina y la función tiroidea.

Función reproductiva

Dado que los teléfonos celulares se portan comúnmente en la cintura, su influencia sobre la función gonadal –especialmente en varones– reviste considerable interés (245). El efecto inhibitor de la espermatogénesis de la temperatura es bien conocido (246) y experimentalmente se han determinado las dosis de microondas necesarias para afectar dicha función (247). Se detectó una reducción leve en la calidad del semen y aumento de la hormona folículoestimulante en operadores de calentadores dieléctricos de radiofrecuencia (248). Desde luego, la dosis procedente de un teléfono móvil, incluso funcionando a máxima potencia, es muy inferior a la que causa efectos térmicos. No obstante, persiste la posibilidad de ENT.

En una serie de 611 pacientes que consultaron por infertilidad, se excluyeron los que tenían antecedentes de condiciones que causan subfertilidad, causas reconocidas de subfertilidad (por ejemplo, varicocele) o alteraciones en las hormonas relacionadas con la espermatogénesis. En los 371 varones restantes (edades de 16 a 41 años) hubo 253 usuarios de telefonía celular. No hubo diferencias dependientes del tiempo diario que mantenían su teléfono en modo expectante (stand by) a menos de 50 cm del cuerpo. La proporción total de espermatozoides móviles tampoco mostró diferencia. Sin embargo, se hallaron correlaciones negativas significativas entre la duración de la posesión del teléfono celular y la proporción de espermatozoides con alta motilidad, y entre el grado de uso (tiempo diario de transmisión) y la proporción de espermatozoides con alta movilidad (249). Otro grupo comparó esperma que fue expuesto *in vitro* a un teléfono GSM de 900 MHz con esperma no expuesto de los mismos sujetos. No hallaron diferencias de concentración, pero en las muestras expuestas aumentó la proporción de espermatozoides inmóviles y disminuyó levemente el movimiento de los espermatozoides restantes (250).

Los estudios en animales han proporcionado resultados contradictorios. Dasdag y colaboradores estudiaron el efecto de la exposición durante 2 h diarias por un mes a un teléfono expectante o activado en modo de voz durante períodos de tres minutos (SAR media 0.141 W/kg), sin hallar diferencias en recuento o morfología de los espermatozoides, estructura ni histología testicular (251). En un trabajo posterior, el mismo grupo expuso ratas a teléfonos activados 20 min por día durante un mes, con SAR media para todo el cuerpo de 0.52 W/kg. No hallaron diferencias en el recuento de esperma, histología testicular, inmunoreactividad a p53, composición lipídica ni un indicador de estrés oxidativo (252). En ratones expuestos a radiación tipo GSM de 1800 MHz durante 10 sesiones de 2 h con una SAR media de 20 mW/kg se halló una concentración de testosterona sérica 53% mayor que en los controles, con un discreto aumento del hematocrito sugestivo de un efecto anabólico. La capacidad esteroideogénica *in vitro* de las células de Leydig procedentes de animales tratados y controles no mostró diferencia (253). En cambio, en ratas expuestas 30 min diarios de lunes a viernes durante 4 semanas a un generador de ondas de 900 MHz no pulsadas se halló una disminución del diámetro de los conductos seminíferos y una reducción de la altura del epitelio. Se observó edema intersticial y, contrariamente a lo observado en ratones, hubo una disminución significativa de la testosterona plasmática, en tanto que las gonadotropinas mostraron una tendencia no significativa a aumentar (254).

No parece haber evaluaciones publicadas sobre el efecto de las microondas de telefonía celular sobre el ovario de mamíferos. Esto es desafortunado, pues se ha informado que la exposición de la mosca *Drosophila melanogaster* a campos pulsados

durante 6 min en seis días, con una segunda exposición en el sexto día, a ondas pulsadas de 900 y 1800 Mhz produce fragmentación del ADN de todos los tipos de células en los ovarios y reduce la capacidad reproductiva de las moscas (255). Un estudio en ratas expuestas a un teléfono de 900 MHz durante 30 min diarios por 30 días halló un aumento de la apoptosis en el endometrio, que podía prevenirse por administración de vitaminas E y C previamente a cada sesión (256).

La exposición de ratas preñadas a un campo de 834 MHz por 8.5 h diarias con dosis subtérmicas durante el embarazo no modificó el número de crías (a diferencia de estudios previos no publicados) ni diversas variables relacionadas con estrés oxidativo en las crías, pero sí aumentó significativamente la proporción de micronúcleos de células de la línea roja (257). En cambio, como se notó antes, no se halló efecto sobre la barrera hematoencefálica de ratones cuyas madres fueron expuestas a microondas durante el embarazo (156). Tampoco hubo efecto sobre la apoptosis en cultivos de neuronas corticales de embriones de rata cuando las neuronas fueron expuestas durante 24 h a GSM de 900 MHz con una SAR media de 0.25 W/kg (258).

En síntesis, se requieren más estudios de los presuntos efectos de las microondas de telefonía celular sobre el aparato reproductivo masculino y femenino, como también de la exposición in utero.

Hemopoyesis

Los efectos de las microondas de telefonía celular sobre la hemopoyesis han sido poco estudiados. Empleando ondas no pulsadas de 2450 MHz, un grupo croata ha observado en ratas adultas un aumento del ingreso de eritrocitos inmaduros a la circulación y una mayor proporción de micronúcleos (259, 260). El efecto es transitorio y desaparece con la exposición sostenida (261), lo cual puede deberse a un fenómeno adaptativo (262). Los mismos investigadores también notaron una reducción del recuento de linfoblastos en los días 15 y 30 de una exposición de un mes (2 h diarias) con SAR media de 1 a 2 W/kg (263).

Epitelios

Se ha informado que la exposición de ratas a ondas de 900 MHz (30 min diarios por 10 días) causa cambios en la piel. En la epidermis se observó aumento del espesor del estrato córneo, atrofia de la epidermis, papilomatosis, proliferación de células basales, hipergranulosis y en la dermis proliferación de capilares y alteraciones en las fibras colágenas (264). No obstante, otros autores no han hallado efecto de la exposición aguda de ratas lampiñas por 2 h a GSM 900 ó 1800 con una SAR de 5 W/kg (265), ni crónica por 2 h diarias, cinco días por semana durante 12 semanas con SAR de 2.5 y 5 W/kg (266).

La exposición de células del cristalino en cultivo a un sistema tipo GSM de 1800 MHz pulsado durante 2 h mostró evidencia de daño del ADN inmediatamente después y a los 30 min de finalizada la exposición con una SAR de 3 W/kg, pero no en tiempos mayores ni con SAR menores. La exposición a las mayores dosis también aumentó la concentración de HSP70, pero no su ARN. No hubo diferencia en la tasa de proliferación determinada en el día de la exposición, ni 1 y 4 días después (267).

Se ha observado que la exposición a microondas puede afectar la cinética del plegado de proteínas en células eucariotas. En células humanas KB, derivadas de carcinoma epidermoide, se halló que las microondas de 1950 MHz podían inducir apoptosis por ENT, al parecer mediada por menor expresión de la HSP 90, con aumento de la degradación proteosómica de ras y raf-1 e inactivación de la vía de supervi-

vencia ras-erk (268). No existe hasta ahora evidencia de un efecto similar en células epidérmicas no transformadas.

En voluntarios, el uso de un teléfono celular durante 30 min causó un aumento de la temperatura cutánea que llegó a superar 2°C en la zona occipital y la nariz del lado expuesto. Esto se acompañó de aumento del óxido nítrico en la mucosa del mismo lado, y cierta congestión nasal bilateral (269). Los autores postularon que el aumento de temperatura podía tener un efecto en la sintasa de óxido nítrico inducible. También se ha descrito un aumento del óxido nítrico en el epitelio nasal y sinusal de ratas expuestas a microondas (270).

Sin embargo, otros estudios sobre el aumento de temperatura de la piel inducido por un teléfono celular, en condiciones normales de uso, sugieren que el calor disipado por el aparato debido a su funcionamiento es el factor preponderante. Las ondas de radiofrecuencia tendrían un papel menor en el aumento de la temperatura cutánea (271, 272).

Estrés oxidativo

A pesar del posible papel del estrés oxidativo en una variedad de enfermedades (273), son relativamente pocos los estudios sobre el efecto de la telefonía celular en dicho fenómeno. En 12 varones jóvenes que llevaron un teléfono celular en el bolsillo en modo expectante durante 1 a 4 h, se halló un incremento de lipoperóxidos en todos los intervalos, con disminución de la actividad de superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa (pero no de catalasa) en sus eritrocitos (274). Estos resultados no han recibido confirmación independiente.

En sangre de animales expuestos 7 h diarias por 8 días a ondas de 945 MHz moduladas a 217 Hz, en condiciones que simulan una estación base ("antena") se halló un aumento del malondialdehído (índice de peroxidación lipídica) y una disminución en la concentración de glutatión reducido. En cambio, la actividad de superóxido dismutasa aumentó, lo cual se interpretó como un cambio adaptativo a la disminución de glutatión (275). Si bien la SAR calculada (0.0113 W/kg) fue muy inferior a la admitida por los actuales estándares de seguridad, por otra parte es muy superior a la originada típicamente por las estaciones base.

Una serie de trabajos de investigadores turcos han hallado evidencia de estrés oxidativo en la sangre y en diferentes órganos de ratas expuestas a microondas de telefonía celular (256, 275-281). Empleando señales pulsadas de 900 MHz, hallaron evidencia de estrés oxidativo en el endometrio (256), la piel (276), el cerebro (277), la retina (278), el miocardio (279), el riñón (280) y posiblemente el hueso (281). Los efectos se produjeron con SAR inferiores a los límites de seguridad, típicamente con exposiciones diarias de 30 min a 1 h diaria, por 7 a 10 días. Adicionalmente, los mismos investigadores observaron que las vitaminas E y C atenuaban el efecto oxidativo sobre el endometrio (256), el Ginkgo biloba prevenía el efecto sobre el cerebro (277), la melatonina el efecto sobre la piel (276), la retina (278) y el riñón (280) y el fenetil éster del ácido cafeico, un derivado del propóleo, reducía el efecto sobre la retina (278), el miocardio (279), el hueso (281) y el riñón (282). Estos resultados son obviamente interesantes, pero no han recibido aún confirmación independiente.

Un estudio en ratas expuestas 20 min al día durante un mes a un teléfono GSM 900 MHz con una SAR media para todo el cuerpo de 0.52 W/kg no halló cambios en la histología cerebral, en los fosfolípidos, ni en la inmunoreactividad para p53. Hubo un aumento de la concentración de malondialdehído (283). No se halló alteraciones indicadoras de estrés oxidativo en el cerebro de conejos sometidos a GSM de 900

MHz. Las variables estudiadas fueron los niveles de óxido nítrico y malondialdehído, y las actividades de adenosina deaminasa, xantina oxidasa, catalasa, mieloperoxidasa, superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa (284). En suero, los únicos cambios fueron un aumento de la actividad de superóxido dismutasa y una disminución de la concentración de óxido nítrico. Otra investigación sobre el posible daño oxidativo frente a la exposición a microondas en el cerebro de ratas tampoco halló diferencias en la oxidación de lípidos o proteínas, ni en los antioxidantes no enzimáticos. Los autores no determinaron las enzimas antioxidantes (285). En otro estudio, macrófagos de ratón (J774.16) estimulados con γ -interferón y lipopolisacáridos bacterianos fueron expuestos a microondas moduladas de 836 MHz (continua) y 848 MHz (CDMA). No hubo diferencia entre los macrófagos expuestos a microondas por 20 a 22 h y los controles en niveles de oxidantes, antioxidantes, producción de óxido nítrico ni daño oxidativo (286).

En síntesis, es posible que las microondas de telefonía móvil causen estrés oxidativo, pero los resultados no son uniformes ni concluyentes.

Telefonía celular y síntomas subjetivos

Una cierta proporción de usuarios presenta síntomas que ellos mismos, o sus médicos, atribuyen a la exposición a la telefonía celular. Algunos síntomas son más frecuentes que otros, pero hasta la fecha no ha podido definirse claramente un síndrome, ni mucho menos una relación causal entre la telefonía celular y la sintomatología.

Síntomas informados por los usuarios

Hocking parece haber sido el primero en informar sobre síntomas asociados al empleo de teléfonos celulares. Sus hallazgos iniciales y subsecuentes han sido reseñados (287, 288). Este autor describió una cefalea atípica, quemante o gravativa, del lado de la cabeza en que se colocaba el teléfono. También hubo dificultades para concentrarse, síntomas visuales como visión borrosa y disestesias (288). En 808 personas de Singapur (12 a 70 años de edad), Chia y colaboradores compararon la prevalencia de diversos síntomas en usuarios de telefonía celular y no usuarios. Hallaron en los usuarios un riesgo 30% mayor de cefalea, pero no de otros síntomas como trastornos visuales, mareos, dificultades en la concentración, sensaciones de calor o parestesias en la cara o el oído, fatiga o pérdida de memoria. La prevalencia de cefalea aumentaba con el tiempo diario de empleo del teléfono (289). Por el contrario, en 161 estudiantes y empleados de una Facultad de Ingeniería francesa, el empleo de teléfonos móviles se asoció con mayor frecuencia de dificultades en la concentración. Las molestias, calor y prurito en el oído durante la conversación aumentaron con el número diario de llamadas y su duración. Entre los usuarios de telefonía móvil, pero no entre los no usuarios, una mayor proporción de mujeres que de varones se quejaron de trastornos del sueño (290).

De 429 personas que respondieron en Suiza una encuesta sobre síntomas que atribuían a la exposición a campos electromagnéticos, 394 (92%) informaron una media de 2.7 síntomas. Los más frecuentes fueron trastornos del sueño, cefaleas, nerviosismo, fatiga y dificultad para concentrarse. En cuanto a las fuentes, 74% atribuyó los síntomas a estaciones base de telefonía móvil, 36% a los propios teléfonos móviles, 29% a teléfonos inalámbricos y 19% a líneas de energía eléctrica (291). Otra encuesta en Turquía obtuvo respuesta de 502 varones (78% usuarios de telefonía móvil) y 193 mujeres (81% usuarias). Entre varios síntomas explorados hallaron en los usuarios mayor proporción de cefalea, irritabilidad, disminución de la memoria, descuido, disminución de reflejos y percepción de sonidos de interruptor (clicking sounds). El tiempo de posesión del teléfono celular se asoció significativa-

mente con mareos y todos los síntomas antes mencionados, excepto la disminución en la memoria (292).

Con otro enfoque, un estudio en Suecia y Noruega evaluó los síntomas en 8113 usuarios de telefonía móvil analógica (NMT) y 8879 usuarios de telefonía móvil digital (GSM). Los síntomas informados con mayor frecuencia fueron sensación de tibieza en el oído o detrás de éste, fatiga, cefalea, dificultad en la concentración, y sensación quemante en la piel. Hubo algunas diferencias en la proporción de usuarios suecos y noruegos para varios síntomas. Contrariamente a la hipótesis de los investigadores, no se halló mayor razón de riesgo de síntomas en usuarios de GSM comparados con los de NMT. De hecho, para algunos síntomas, como la sensación de tibieza, el riesgo fue menor en usuarios de GSM (293).

El mismo grupo de investigadores realizó posteriormente estimaciones de SAR pico que, combinados con el número de llamadas por día y el tiempo diario de conexión, les permitió desarrollar índices predictivos de exposición. Una mayor SAR y un mayor tiempo ocupado en llamadas pueden estar vinculados con algunos de los síntomas (294). Sin embargo, la evidencia es tenue. En un estudio de provocación, voluntarios sanos se expusieron por 30 y 60 min a un teléfono móvil (GSM 900 MHz) activo o inactivo. Los sujetos puntuaron los síntomas antes de la exposición real o simulada, y después de ella. Los síntomas incluidos fueron cefalea, mareo, fatiga, y en la piel rubor, picazón, parestesias o sensación de tibieza. No hubo diferencias significativas en las puntuaciones entre la exposición real y la simulada (295).

Es posible que los síntomas informados no se deban a las ondas electromagnéticas, sino que sean manifestaciones somáticas de estados psicológicos relacionados, por ejemplo, con la ansiedad, el estrés psicológico y las creencias sobre los peligros de las microondas. También cabe la posibilidad de que solamente un subgrupo de usuarios particularmente sensibles experimenten los síntomas referidos. En tal caso, podría tratarse de un problema de hipersensibilidad electromagnética (HEM).

Hipersensibilidad electromagnética

La HEM, también llamada "hipersensibilidad a la electricidad", "hipersensibilidad eléctrica", "electrosensibilidad", "sensibilidad eléctrica" e "hipersensibilidad a los campos eléctricos y magnéticos" (296), ha sido definida por la Comisión Europea como "un fenómeno donde los individuos experimentan efectos adversos para la salud cuando utilizan dispositivos que emanan campos eléctricos, magnéticos, o electromagnéticos, o se encuentran en la vecindad de ellos" (297). La prevalencia de HEM se ha estimado, según encuestas a la población, en 1.5% en Suecia (298), 3% en EE.UU. (296) y 5% en Suiza (299). En 10 a 15% de los casos la condición lleva a cambio de trabajo o de estilo de vida.

No ha sido posible definir la HEM como una entidad nosológica, y ni siquiera como un síndrome. En una investigación se halló que los síntomas cutáneos, pero no los neurovegetativos, eran característicos de la HEM, al menos en sus etapas iniciales (300). No obstante, entre los síntomas más frecuentemente informados, además de los trastornos cutáneos como sensación de calor o cosquilleo, está la cefalea y síntomas "neurasténicos" como falta de concentración, fatiga y mareos, y neurovegetativos como palpaciones, náuseas y trastornos digestivos (301).

Las investigaciones han seguido principalmente tres direcciones: 1) Comparación de la capacidad de detectar campos electromagnéticos por parte de individuos sanos y subjetivamente hipersensibles; en algunos casos con evaluación de alguna función fisiológica. 2) Estudio de la variación en la sensibilidad a campos electromagnéticos en la población, que ha demostrado que existen algunos individuos (es-

pecialmente mujeres) muy sensibles (302). 3) Estudio de reacciones neuropsicológicas a la presencia de campos electromagnéticos (que fueron revisadas arriba a propósito de los efectos neurológicos de la telefonía móvil).

En un estudio se evaluó si la fatiga en individuos con presunta HEM se debía a cambios en la actividad de la colinesterasa en sangre, pero no se halló relación. En cambio, la fatiga se relacionó con dificultad para concentrarse. Los autores concluyeron que la fatiga percibida no era de origen físico (303). En 20 pacientes con síntomas atribuidos a HEM e igual número de personas sanas se evaluó la función visual, potenciales evocados visuales, EEG, presión arterial, frecuencia cardíaca, respiración y respuesta eléctrica de la piel. En los pacientes se hallaron diferencias compatibles con hipertonia simpática, hipersensibilidad a la estimulación sensorial y mayor estado de alerta (304). El mismo grupo realizó un monitoreo electrocardiográfico de 24 h (Holter) en individuos con síntomas que atribuían a HEM y en controles normales apareados por edad y sexo. El valor medio de la frecuencia cardíaca no difirió entre los grupos, pero los supuestamente hipersensibles mostraron una disminución de la variabilidad normal de la frecuencia cardíaca y su ritmo circadiano (305).

Los estudios sobre HEM han sido recientemente revisados en forma sistemática, sin que pueda todavía arribarse a conclusiones firmes (306, 307). Además de muchas variables que pueden dificultar la interpretación de los resultados, está el hecho de que la capacidad de percibir campos electromagnéticos no implica que ellos causen síntomas y, a la inversa, una persona puede sufrir síntomas sin percibirlos conscientemente. De todos modos, las personas que se consideran a sí mismas hipersensibles generalmente creen poder detectar la presencia de campos electromagnéticos. A pesar de ello, la mayoría de los estudios de provocación bien diseñados y ejecutados han dado resultados negativos y algunos son contradictorios. No hay evidencia firme de que las personas con presunta HEM puedan detectar confiablemente la presencia de campos electromagnéticos; en general, estas personas tienden a dar detecciones falsamente positivas (307).

Una evidencia circunstancial de que la HEM se trata de un trastorno psicossomático, no causado por la interacción física de los campos electromagnéticos con el cuerpo, es que el tratamiento para cuya efectividad hay mejor evidencia es psicológico, específicamente la terapia conductista cognitiva (308).

Frick y colaboradores reclutaron 30 personas que se consideraban hipersensibles (y experimentaban molestias y limitaciones serias por esta causa) con dos grupos de la población general, representativos de personas con los extremos de nivel de quejas inespecíficas acerca de su salud. Se los encuestó con respecto a los síntomas relacionados con campos electromagnéticos y se los sometió a estimulación magnética transcraneal en la corteza motora, en condiciones doblemente ciegas. Se determinaron medidas objetivas y subjetivas de la sensibilidad (309). La percepción fue peor en los hipersensibles –los cuales mostraron alta frecuencia de “percepción” falsamente positiva– que en ambos grupos de controles. No se hallaron diferencias entre grupos con respecto a los umbrales motores. Los resultados fueron ampliados y ratificados en un segundo estudio (310). Las personas autodenominadas hipersensibles tienden a sentir que hay estímulos que no existen objetivamente.

Básicamente lo mismo se desprende de un reciente estudio de provocación empleando teléfonos celulares. Rubin y colaboradores evaluaron si las personas subjetivamente hipersensibles desarrollaban más síntomas cuando eran expuestos a un teléfono móvil con señal pulsada, con señal no pulsada, o sin señal. Compararon en forma aleatoria y doble ciego 60 sujetos que referían síntomas tras 20 min de emplear un teléfono GSM con 60 que no referían síntomas. El grupo presuntamente

sensible experimentó síntomas severos en igual proporción en presencia de señal que en su ausencia. Aproximadamente 60% de sujetos sensibles y similar proporción de controles creyeron que una señal estaba presente cuando lo estaba, pero también cuando no lo estaba. Los autores no hallaron evidencia de una base biológica para la hipersensibilidad a la telefonía móvil (311).

En resumen, no existe evidencia firme de que la HEM sea un fenómeno biológico. Los estudios que la han evaluado han sido en general negativos. Idéntico resultado se ha obtenido para la HEM a los teléfonos celulares.

El problema de las estaciones de base

El público general percibe las estaciones de base como un riesgo de salud menor (29) o igual (312) al ocasionado por las líneas de energía eléctrica. Como se notó antes, la percepción del riesgo es inversamente proporcional al grado de empleo personal de telefonía celular del encuestado (29), pero no es diferente en aquéllos que creen vivir lejos de una estación de base que en quienes creen vivir cerca. Por otra parte, el temor a las estaciones de base no es mayor que a otros factores como el ruido ambiental y la polución atmosférica (313).

Los datos actuales no sugieren que las microondas procedentes de las estaciones de base de telefonía celular ("antenas") supongan un riesgo serio para la salud (314). Las antenas originan aproximadamente la mitad de la exposición total a microondas. Comparado con que el límite establecido por la ICNIRP para el público general, indicado en la Tabla 1 (10), las emisiones no superan una densidad de potencia que es 100 veces menor. El valor usual es mil a 100 mil veces menor (315). Se ha estimado que típicamente en 24 h de una exposición a una estación de base se recibe la misma dosis que durante 20 min (316) a 30 min (317) de empleo de un teléfono celular. Por otra parte, aunque la dosis total sea la misma, el aparato genera una tasa de dosis (energía absorbida por unidad de tiempo) muchísimo mayor que la estación. Por otra parte, la exposición continua y prolongada a dosis pequeñas de microondas podría tener efectos en el largo plazo.

La dosimetría de campos electromagnéticos generados por estaciones de base es compleja, ya que depende de numerosos factores además de la potencia de la estación y la distancia, como por ejemplo la dirección de la emisión. Por esta razón por ejemplo, una estación en una azotea puede exponer a los ocupantes del mismo edificio a dosis mucho menores que las recibidas por personas ubicada a cierta distancia. En general, la mayor dosis de exposición existe a una distancia entre 100 y 250 m de la estación (314). La presencia de objetos que reflejen las microondas y de obstáculos que las filtren hace que a igual distancia la dosis varíe hasta 10 mil veces (315, 318). Esto limita seriamente el empleo de la distancia como una medida estimativa del grado de exposición.

Las dosis bajas y muy variables hacen que ciertos estudios epidemiológicos sobre riesgos de las estaciones de base sean impracticables; por ejemplo, sobre riesgos de enfermedades crónicas, como diversas formas de cáncer y enfermedades neurodegenerativas (319). Existe un trabajo que halló una incidencia de cáncer significativamente mayor entre los sujetos expuestos, pero el tamaño de la muestra y otras consideraciones metodológicas lo tornan muy cuestionable (320). Otro factor que debe tenerse en cuenta es la posibilidad de un efecto nocebo: a la inversa que el efecto placebo, la expectativa sobre efectos adversos puede influenciar los resultados, en particular si éstos se determinan mediante las respuestas subjetivas de las personas expuestas (319).

Con estas advertencias presentes, se revisará a continuación la evidencia disponible sobre estaciones de base y salud. En Francia se encuestó a 530 personas (260 mujeres) que vivían cerca de estaciones o lejos de ellas sobre 16 síntomas de salud no específicos. Hallaron un aumento significativo de síntomas en los encuestados expuestos en relación con la distancia a la estación hasta 300 m. Las mujeres tuvieron significativamente mayor frecuencia de síntomas (321). La localización a menos de 100 m de frente a la estación se asoció con mayor intensidad de algunos síntomas, como también la edad de los encuestados. En cambio, en general no hallaron relación con la duración de la exposición. Otras fuentes electromagnéticas también se asociaron con la sintomatología (322).

Otro estudio comparó 85 personas que habitan próximas a una estación de base con 80 controles apareados por edad, sexo, ocupación y nivel educativo. La prevalencia de cefalea, trastornos en la memoria, mareos, temblores, síntomas depresivos y trastornos del sueño fue mayor en los expuestos (323). Los individuos expuestos tuvieron peor desempeño en algunas pruebas neuropsicológicas y dentro de este grupo, quienes vivían enfrente de la estación de base, tuvieron peores resultados que quienes vivían en el edificio donde estaba la antena. Por otra parte, los sujetos expuestos se desempeñaron mejor que los controles en dos pruebas de velocidad visomotora y una de atención (323).

En otra investigación, se comparó mediante un cuestionario estándar el bienestar de habitantes de dos villorios próximos a antenas militares con el de habitantes de un tercer villorio no expuesto. El campo eléctrico fue mucho mayor en las primeras, pero la mayor parte de la diferencia no se debió a las antenas militares sino al sistema de telefonía celular. Los individuos expuestos presentaron mayor prevalencia de cefalea (incluida migraña) y mareos (324). Un estudio piloto en España determinó el campo eléctrico en los hogares vecinos a una estación de base. Se halló una correlación significativa entre la densidad de potencia medida y la severidad de los síntomas declarados por los habitantes (325).

En una investigación más amplia, se evaluaron 365 individuos escogidos al azar que habían vivido más de un año próximos a 10 estaciones de base urbanas y rurales de Austria. Se realizaron mediciones de la intensidad de campo de microondas en los hogares. La densidad de potencia fue mayor en las zonas rurales, pero en todos los casos estuvo muy por debajo de los límites de seguridad convencionales. Los autores incluyeron en el análisis algunas variables de confusión, como el temor a efectos adversos de las microondas. A pesar de esto, se halló una correlación significativa entre las intensidades medidas y algunos síntomas, como cefalea, pies o manos frías, y dificultad para concentrarse. En cambio, no hubo efecto sobre el sueño. En pruebas neuropsicológicas, la mayor exposición se asoció con una tendencia a mayor velocidad perceptiva pero menor exactitud (326).

El efecto agudo de la exposición a microondas provenientes de las estaciones de base ha sido objeto de dos estudios experimentales, que lamentablemente han proporcionado resultados discrepantes. En el primero se compararon 36 personas con quejas de salud con 36 controles, que fueron expuestos en una cámara aislada electromagnéticamente, mediante un diseño a ciegas, balanceado y cruzado, a campos de telefonía GSM de 900 y 1800 MHz y UMTS de 2100 MHz, con un campo pico de 1 V/m. Se evaluó el bienestar mediante un cuestionario estándar de 23 preguntas y se realizaron una serie de pruebas neuropsicológicas. El bienestar fue menor en ambos grupos frente a la exposición a UMTS, pero no a GSM. La exposición a UMTs también afectó el desempeño de ambos grupos en una prueba de atención visual selectiva. Se hallaron diferencias en otras pruebas en uno u otro grupo (para diferentes frecuencias), pero sin un patrón consistente (327).

Como secuela, se realizó independientemente un estudio con un total de 117 voluntarios solamente con el sistema UTMS, con campos de 1 y 10 V/m. La distribución de la SAR se muestra en la Fig. 3 (317). Se incluyeron 33 personas que consideraban tener HEM y 84 no hipersensibles. Se evaluó para ambos grupos el bienestar subjetivo con el mismo cuestionario que el estudio anterior (327) y otro cuestionario más apto para pruebas repetidas con intervalos cortos, se evaluó la capacidad de los sujetos en detectar la presencia del campo electromagnético y se realizaron diversas pruebas neuropsicológicas. No hubo diferencias en el bienestar atribuibles a la exposición de UMTS en ninguno de los grupos. Los sujetos de ambos grupos fueron incapaces de identificar la presencia de los campos. No hubo cambios en las pruebas neuropsicológicas, salvo un efecto leve en dos pruebas, que no resultó significativo tras el ajuste estadístico para resultados múltiples (317).

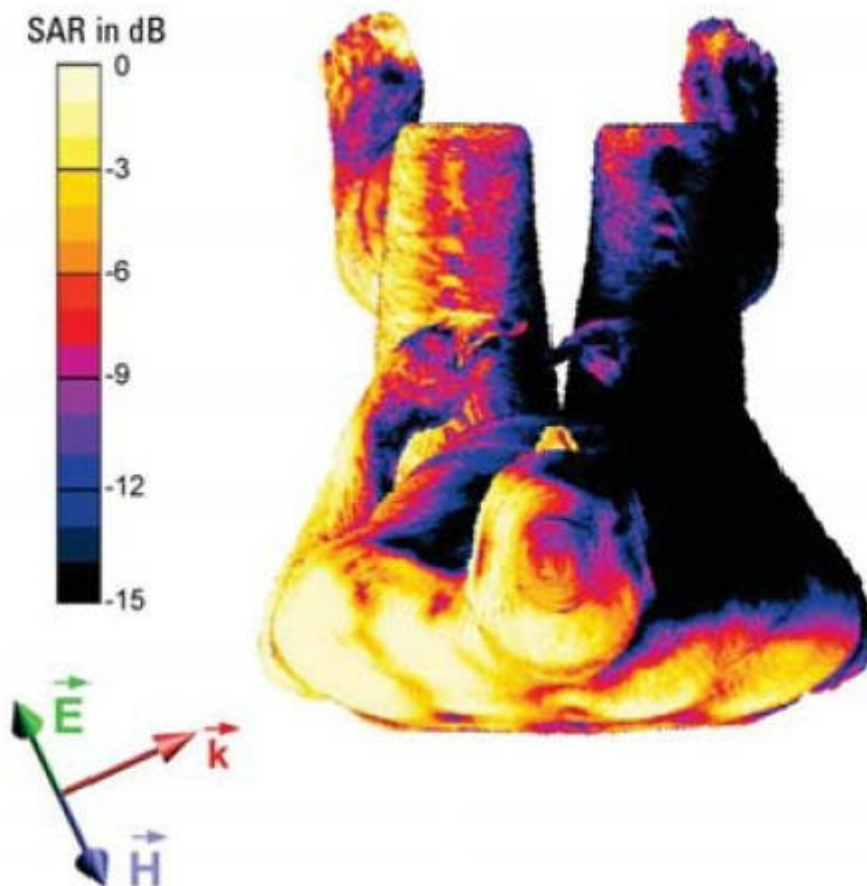


Figura 3: Distribución de la tasa específica de absorción (SAR) en la superficie del cuerpo de un varón de 80 kg sentado, visto de arriba, durante los experimentos de exposición simulada a una estación de base (antena) de telefonía móvil. Se indica la dirección de propagación de las ondas (k), del campo eléctrico (E) y del campo magnético (H). Cero dB corresponde a una SAR de 0.05 W/kg para $E=1$ V/m. De Regel y col., Environ Health Persp 114:1270-1275, 2006. Reproducido con permiso de Environmental Health Perspectives, www.ehponline.org.

En síntesis, si bien los dos estudios experimentales en humanos con exposición aguda no han dado resultados uniformes, cabe notar que todas las investigaciones de campo arriba citadas han hallado algunos efectos adversos. Aunque no existe un mecanismo biológico conocido por el cual las emisiones de las estaciones de base puedan afectar la salud (319), parece claro que se requiere mayor estudio de ésta

y otras fuentes electromagnéticas externas, como las emisoras de radio y televisión.

Exposición de los niños a la telefonía celular

La exposición de los niños a campos electromagnéticos en general, y de telefonía móvil en particular, presenta algunos problemas especiales que, pese a haberse notado hace años (2), aún no han recibido suficiente atención.

Anatómicamente, la cabeza infantil no es simplemente una cabeza de adulto más pequeña, por lo que la evaluación de la exposición requiere modelos especiales (328). Fisiológicamente, los niños tienen un sistema nervioso en desarrollo, cuyo intersticio tiene mayor conductividad eléctrica. Desde el punto de vista biofísico, los niños tienen una mayor absorción de energía en el rango de las radiofrecuencias, lo que implica una mayor SAR que en los adultos para igual densidad de potencia de las emisiones.

Además el empleo de teléfonos celulares en la población pediátrica ha crecido proporcionalmente más que en los adultos, tanto en los aparatos propios como en el empleo habitual de los teléfonos móviles de sus padres (329). Esto significa un aumento en la exposición. Finalmente, debe tenerse en cuenta el factor temporal: la dosis acumulada a lo largo de la vida es mayor cuanto más precozmente comience la exposición.

Se ha sugerido que la exposición ocupacional a radiofrecuencias durante el embarazo puede aumentar el riesgo de malformaciones congénitas, pero hasta la fecha no hay estudios sobre telefonía móvil y resultados del embarazo (330). Hasta que se cuenten con estudios rigurosos en embarazadas y niños, es recomendable reducir al mínimo la exposición, principalmente por disminución del número de llamadas y de su duración, y por el empleo de dispositivos que no requieran mantener el aparato próximo a la cabeza o al cuerpo (330).

Percepciones de los médicos

Los médicos generalistas son probablemente los primeros en ser consultados en pacientes con motivos de consulta posiblemente relacionados con campos electromagnéticos. En una muestra de 342 médicos generalistas suizos, 69% había tenido al menos una consulta por posibles efectos adversos de campos electromagnéticos, y 19% había tenido 10 o más consultas sobre el tema en el año previo a la encuesta. La frecuencia de consultas fue mucho mayor a los profesionales con certificación en medicinas complementarias, como acupuntura u homeopatía (331). Tal vez esto se relacione con una tendencia al pensamiento mágico, pues como noté más arriba, en otro estudio la atribución de dolencias a la telefonía móvil se asoció muy significativamente con la creencia en fenómenos paranormales (29).

Entre los generalistas suizos, aproximadamente la mitad de los médicos con 10 años o más en ejercicio notaron un aumento de las consultas sobre campos electromagnéticos a lo largo del tiempo. Los motivos de consulta relacionados más frecuentes fueron trastornos del sueño (43%), cefaleas (39%) y fatiga (14%). Los médicos con certificación en medicina complementaria y las médicas atribuyeron más frecuentemente los síntomas a los campos electromagnéticos. Los teléfonos móviles fueron la fuente de microondas sospechada en 82% de los casos, y las estaciones de base en 37%. Los médicos consideraron que la asociación del cuadro con las microondas era plausible en 54% de los casos, principalmente con referencia a síntomas auditivos, problemas de concentración, tumores, trastornos del sueño, cefalea y nerviosismo (331). Similarmente, en una encuesta a 196 médicos ge-

neralistas austríacos se halló que 68% habían recibido al menos una consulta relacionada con campos electromagnéticos. El grado de información de los profesionales fue variable, pero en término medio pobre, pero 95% de los médicos consideró que la "contaminación electromagnética" causa problemas de salud; no obstante, 39% nunca asociaba los motivos de consulta con dicha contaminación. Los teléfonos celulares y las estaciones de base fueron las fuentes de microondas más frecuentemente consideradas responsables por problemas de salud (332).

Telefonía celular en las instituciones de salud

Hay dos aspectos principales que deben considerarse sobre el empleo de los teléfonos móviles (y otros dispositivos inalámbricos) en el ámbito de hospitales y clínicas. Por una parte, está el problema de la posibilidad de interferencia originada por los aparatos en equipos electrónicos de uso médico. Por otra parte están los beneficios derivados del empleo de comunicación inalámbrica en la atención de los pacientes.

Interferencia con equipamiento de uso médico

En 1994 se llamó la atención sobre la posible interferencia de las radios manuales de comunicación (walkie-talkies) y de los teléfonos celulares –especialmente digitales– con equipamiento médico (333). Poco después se publicó el primer estudio sobre interferencia de los teléfonos celulares GSM 900 MHz en 101 pacientes con marcapasos implantados. Detectaron interferencia en 26% de los casos con el teléfono a máxima potencia en contacto con el tórax y el marcapaso con mínimo umbral de detección (334). Desde entonces se ha investigado la interferencia electromagnética debida a teléfonos celulares en una variedad de dispositivos de uso médico. Como consecuencia de las posibles implicaciones, muchas instituciones prohibieron el uso de teléfonos celulares dentro de los edificios.

En el trabajo que reunió el mayor número de pacientes con marcapasos en los cuales se investigó la interferencia con cinco tipos de teléfonos celulares, Hayes y colaboradores clasificaron la interferencia en tres clases según su significación clínica (335). La clase I incluía las interferencias que causaban síntomas como síncope, mareo o disnea. En la clase II estaban las interferencias con posible importancia clínica, algunas de las cuales podían causar palpitaciones. La clase III agrupaba todo otro tipo de interferencia de trascendencia clínica improbable. En esta serie, se hicieron 5533 pruebas en 980 pacientes, y se detectó interferencia en 20% de los casos, pero sólo en 7% del total de pruebas la interferencia se consideró clínicamente significativa. En la enorme mayoría de los casos, la interferencia se produjo cuando el teléfono estaba a 1 ó 2 cm del marcapaso; sólo en 0.2% hubo interferencia con el aparato frente al oído del paciente (335).

Recientemente se han revisado los resultados de estudios realizados sobre interferencia con dispositivos implantables de ritmo, que incluyen marcapasos y desfibriladores (336). Los autores identificaron 14 estudios sobre marcapasos y ocho estudios sobre desfibriladores. No encontraron informes de mal funcionamiento peligroso. Los estudios reseñados involucraron 2726 pacientes con marcapasos, y se halló interferencia en 393 (14%). El número de pacientes con desfibriladores implantados fue de 328, y hubo interferencia en 92 (28%). En la mayoría de los casos, la interferencia se produjo con el teléfono muy próximo al dispositivo implantable, en particular mientras éste se estaba programando. Francis y Niehaus notaron que los estudios publicados en el presente siglo hallaron tasas de interferencia muy inferiores a las halladas en la década de 1990, lo cual atribuyen a mejoras en el filtrado de los sensores de los marcapasos y otras mejoras técnicas (336).

Un estudio posterior a su revisión confirma la tendencia indicada. Calcagnini y colaboradores estudiaron marcapasos de última generación con funciones de monitoreo remoto (BA03 PM, Biotronik GMBH, Alemania) expuestos a teléfonos GSM de 900 MHz y 1800 MHz, sin encontrar alteraciones en el funcionamiento del marcapaso ni en el monitoreo remoto (337). Similarmente, una investigación reciente con cardioversores-desfibriladores implantados no halló interferencia de teléfonos GSM 900 MHz, ni siquiera en contacto con el sitio de implantación, excepto algunos casos de artefactos en la pantalla del monitor del ECG de superficie, sin alteración del ECG intracardíaco (338). En desfibriladores externos automáticos, solamente se halló emisión de sonido por el parlante justo antes de que sonase el teléfono (339).

La misma tendencia se ha observado en monitores cardiopulmonares externos. En 2001, Tri y colaboradores hallaron interferencia en 7 de 17 dispositivos estudiados, que fue clínicamente significativa en 7.4% de los casos (340). En un estudio de 2005 la tasa total de interferencia hallada por el mismo grupo fue similar, pero la interferencia fue clínicamente significativa en 1.2% (341).

En grabadores implantables para monitoreo crónico del ECG, se detectaron artefactos en el registro cuando un teléfono celular sonaba en estrecha proximidad del grabador. Por otra parte no hubo reprogramación ni disfunción permanente de los dispositivos de registro en ningún caso (342).

En general, los pacientes con dispositivos implantados pueden usar teléfonos celulares sin peligro si observan ciertas precauciones: llevar el teléfono en la cintura, escuchar la llamada con el oído opuesto al lado del que está implantado el dispositivo, y alejar de sí lo más posible el aparato mientras se marca un número (335).

La interferencia con una variedad de dispositivos electrónicos como monitores, máquinas de anestesia, analizadores y aparatos de diatermia ha sido objeto de una revisión sistemática reciente (343). Los autores hallaron interferencia en aproximadamente 4% de los dispositivos investigados. Se notó que la frecuencia de 900 MHz causada interferencia en un porcentaje 5 veces mayor que la de 1800 MHz, lo cual puede deberse en parte a la menor potencia de esta última (343). Las tecnologías más modernas, como el UMTS, producen interferencia con menor frecuencia que los sistemas GSM (344).

Una evaluación del efecto de teléfonos móviles sobre equipo electrónico de uso oftalmológico halló un parpadeo de la pantalla en 4 de 23 equipos, solamente cuando se realizaba o recibía una llamada con el teléfono a menos de 30 cm (345). En un estudio de bombas de infusión, se halló mal funcionamiento en casi 60% de los equipos cuando el teléfono estaba a menos de 30 cm y funcionando con máxima potencia. Como los teléfonos móviles ajustan su potencia a la necesaria según la recepción desde la estación de base, los autores sugirieron que una cobertura adecuada de estaciones de base reduciría drásticamente los riesgos de interferencia (346).

La probabilidad de interferencia y sus posibles consecuencias adversas no son iguales en todos los ámbitos de una institución de salud. Las salas de terapia intensiva, unidades coronarias y similares requieren especial cuidado (347). Los teléfonos celulares producen campos superiores a 40 V/m a 10 cm de distancia, que caen por debajo de 7 V/m a 1 m de distancia. Sobre esta base, la Administración de Alimentos y Medicamentos estadounidense (FDA) propuso en 1979 un estándar de adopción voluntaria, según el cual el equipamiento de uso médico debiera tener blindaje y otras características que lo tornen inmune a interferencia en campos de hasta 7 V/m. Esta norma ha sido seguida de recomendaciones más recientes (348).

Por su parte, el Sistema Nacional de Salud del Reino Unido propuso normas muy restrictivas en 1997, que también han sido actualizadas. En un informe reciente, clasifica las radios analógicas de los servicios de emergencia y los walkie-talkies (349) como aparatos con alto riesgo de interferencia. Los teléfonos inalámbricos y las redes inalámbricas computarizadas de baja potencia (por ejemplo, Bluetooth) se ubican entre los de riesgo bajo. Los teléfonos móviles son considerados de riesgo intermedio (350). Los lineamientos británicos concuerdan con los propuestos por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), que publicó en 2005 un manual exhaustivo sobre el tema, con una segunda edición este año (351).

Sin entrar en detalles técnicos, como norma general simple puede aplicarse la "regla de 1 metro" propuesta originalmente por Irnich y Tobisch (351): Operar los teléfonos celulares a una distancia no menor de 1 m del equipamiento potencialmente susceptible (343, 347). El Hospital General de Massachussets estableció en 2004 normas semejantes. No obstante, en una revisión reciente se recomienda una distancia mínima de 2 m para los teléfonos de 850 y 900 MHz, y de 0.5 m para los de 1800, 1900 y CDMA de 2450 MHz (353). En la mayoría de los países europeos las prohibiciones más o menos severas de la década de 1990 han sido reemplazadas por normas más realistas, basadas en la evidencia (354).

Beneficios de la comunicación inalámbrica

Si bien los teléfonos celulares pueden afectar el funcionamiento de dispositivos médicos en ciertas circunstancias, no debe olvidarse que su empleo, como el de otras tecnologías inalámbricas, puede resultar beneficioso para el cuidado de los pacientes. Además de permitir el desarrollo de la comunicación electrónica a lugares remotos (355), el empleo de tecnología inalámbrica de baja potencia mediante redes locales puede evitar la profusión de cables que rodean al paciente en terapia intensiva y agilizar notablemente las comunicaciones. En Oulu, Finlandia, se está poniendo en marcha el primer hospital inalámbrico del mundo (proyecto Wilho) y ya existen otros países interesados (356). Tras una encuesta validada a más de 4000 anesthesiólogos, se concluyó que el uso del teléfono celular se asocia con una reducción de los errores médicos y de lesiones causadas por demora en la comunicación (357). Un editorial al respecto subraya que la prohibición del empleo de teléfonos celulares en el hospital es poco realista y difícil de hacer cumplir (358). Por otra parte, señala que existen alternativas de menor potencia y similar eficacia, como los teléfonos inalámbricos y las redes locales (local area networks, LAN).

Existe creciente consenso en que no debe restringirse el empleo de teléfonos celulares en las áreas públicas de los hospitales, y que en áreas restringidas el uso debe limitarse al estrictamente necesario, observando las precauciones antes citadas con respecto a la distancia entre el teléfono en uso y el equipamiento médico (347, 353, 354, 357, 359).

Telefonía celular y seguridad vial

El empleo de un teléfono celular mientras se conduce puede aumentar la probabilidad de accidentes por diferentes mecanismos, como por ejemplo desviar la vista del camino para discar, leer o escribir un mensaje de texto, dejar de prestar atención al camino mientras se conversa, o por interferencia física al llevar el teléfono en la mano o extender la mano para operar un aparato de "manos libres".

El empleo de teléfonos móviles mientras se conduce un vehículo se ha tornado común. En Australia, se detectó casi 2% de 17000 conductores empleando teléfonos móviles sostenidos en la mano. La tasa de empleo del teléfono celular fue mayor entre los conductores más jóvenes y durante el atardecer (360). Un estudio en el

estado de Illinois halló que el porcentaje de personas que emplean sus teléfonos mientras conducen vehículos se duplicó entre 2001 y 2005, cuando alcanzó casi 6% de los conductores (361). En Irlanda se observó que 3.6% de los conductores empleaban teléfonos móviles (362). En un estudio de 5780 vehículos, realizado en 1997 en Buenos Aires, se observó a 2.1% de los conductores empleando celulares (363). Si se considera que el número de aparatos aumentó más de 20 veces entre 1997 y 2006 (5), el porcentaje actual debe de ser mucho mayor. Un estudio español halló que 87% de los conductores poseía teléfonos móviles, y más de 60% los empleaba mientras conducía (364). En Dinamarca, prácticamente todos los choferes de vehículos pesados emplean teléfonos móviles mientras conducen (365).

Estudios epidemiológicos sobre teléfonos móviles y accidentes

Se ha estimado que el aumento del riesgo de accidente por emplear un teléfono celular mientras se conduce es similar al causado por un nivel de alcohol en sangre en el límite legal. Curiosamente, el efecto adverso potencialmente más grave de la telefonía móvil no es resultado directo de la exposición a las microondas. Un editorial de 2000 del British Medical Journal sobre los riesgos para la salud de los teléfonos celulares se titulaba "El único riesgo establecido es usar uno mientras se conduce" (366). La relación entre el empleo de teléfonos celulares y accidentes de tránsito fue notada a principios de la década de 1990 (367), y su estudio epidemiológico comenzó poco después (368).

En 1997 Redelmeier y Tibshirani publicaron una investigación de casi 700 conductores que poseían teléfonos celulares y tuvieron accidentes de tránsito. Un cotejo con los registros de las llamadas telefónicas a lo largo de 14 meses permitió estimar que el riesgo de una colisión era cuatro veces mayor cuando se estaba empleando el teléfono (369). En otro estudio retrospectivo de 456 conductores que poseían teléfono celular se halló que su empleo hasta 10 min antes de un choque se asoció con una probabilidad cuatro veces mayor de accidente que requiriese internación. No hubo diferencia estadísticamente significativa entre quienes usaron teléfonos sostenidos en la mano o de "manos libres" (370).

Una encuesta a 1347 conductores de 18 a 65 años de edad en dos estados australianos indicó que 57% de los encuestados habían usado los aparatos alguna vez mientras conducían y 12% habían escrito mensajes de texto (371). Casi 40% había usado un aparato de mano, cuyo uso mientras se conduce está prohibido en Australia. Basados en la encuesta, los autores estimaron en 45800 el número de conductores de esos estados que habían tenido alguna vez un accidente mientras empleaban el teléfono móvil (371).

En Londres, 2944 conductores de vehículos de doble tracción (4x4) fueron comparados con 38182 conductores de automóviles comunes (372). Los conductores de 4x4 mostraron un uso levemente menor del cinturón de seguridad (80.5% versus 85.0%), pero empleaban teléfonos celulares con una frecuencia cuatro veces mayor (8.2% versus 2.0%). Considerando el mayor tamaño y peso promedio de los 4x4, puede considerarse una particular amenaza a la seguridad vial que sus propietarios empleen los teléfonos mientras conducen.

Experimentos sobre teléfonos móviles y conducción de vehículos

Diversos estudios experimentales muestran que la conversación mediante un teléfono celular reduce el desempeño de los conductores. La velocidad de reacción frente a un semáforo rojo se retardó, y para compensar los conductores frenaron de manera más brusca; además, aumentó en 15% la proporción de quienes no res-

pondieron a la luz roja (373). La velocidad de conducción se torna más lenta pero a la vez más variable (374).

La conversación reduce la capacidad de detectar cambios en escenas de tránsito complejas, en las que el conductor debe prestar atención a varias cosas a la vez. Escuchar con atención no reduce la citada capacidad (375). Incluso empleando un aparato de "manos libres", la atención a acontecimientos en el campo visual resulta reducida (376). La visión periférica se afecta de manera similar a la de una intoxicación alcohólica (377). Las reacciones se enlentecen de manera proporcionalmente igual en conductores jóvenes que en los mayores. El empleo de celular por parte de los jóvenes hizo que su tiempo promedio de reacción fuera similar al de ancianos que no empleaban teléfonos (378).

En otro estudio, el tiempo de reacción ante una señal de frenado brusco se prolongó tanto durante una conversación con un acompañante como durante el uso del teléfono celular, pero no por escuchar la radio (379). En un estudio en 36 estudiantes universitarios se determinó, durante el uso de un teléfono de "manos libres", el desempeño en mantenimiento de la conducción (posición en el carril, capacidad de mantener la distancia), infracciones (exceso de velocidad, ignorar una señal de detención), lapsos en la atención (detenerse ante una luz verde, falta de observación del tránsito en una intersección) y tiempo de respuesta (frenado de emergencia). La distracción afectó significativamente todas las medidas de desempeño (380).

Las conclusiones de un meta-análisis de los estudios experimentales fueron que el uso de teléfonos móviles mientras se conduce tiene un costo definido en términos de las reacciones a acontecimientos externos, y adicionalmente que el empleo de aparatos de "manos libres" no reduce sustancialmente el riesgo (381).

Cabe destacar que los peatones que emplean su teléfono móvil en la vía pública también corren mayor riesgo. En 270 mujeres y 276 varones se estudió el comportamiento en los cruces según emplearan o no un teléfono. Los varones cruzaron más lentamente mientras empleaban el teléfono. Las mujeres también cruzaron más lentamente, pero además mostraron fallas en la atención al tránsito antes de iniciar el cruce, en aguardar que el tránsito se detuviera, y en atender el tránsito mientras cruzaban (382).

Perspectiva sobre teléfonos móviles y tránsito

En una revisión crítica, McCartt y colaboradores concluyeron que el aumento de riesgo de accidente por emplear un teléfono móvil mientras se conduce es similar para varones y mujeres, jóvenes y mayores, y usuarios de teléfonos de mano o de "manos libres". Además subrayaron que, donde el uso de teléfonos de mano durante la conducción está prohibido, la obediencia a esta norma es limitada (383). Los autores notaron que el aumento del empleo de teléfonos celulares probablemente implicará un mayor riesgo en el futuro, pese a lo cual no es claro cómo podrían implementarse medidas que lo contrarresten.

El empleo de teléfonos móviles mientras se conduce ha sido correctamente llamado "una mezcla peligrosa" (384). Probablemente el problema requiera una serie de medidas simultáneas. Entre ellas, un editorial reciente propone (385):

- 1) Recolección de datos para caracterizar y cuantificar la relación entre teléfonos móviles y accidentes.
- 2) Educación mediante campañas públicas para concienciar a la población sobre los riesgos y los factores que los aumentan o reducen.
- 3) Entrenamiento de los conductores con respecto al empleo de teléfonos celulares.

- 4) Legislación y vigilancia, mayor supervisión y mayores multas por infracción.
- 5) Desarrollo de técnicas que bloqueen la comunicación por teléfono móvil en vehículos que se desplazan a gran velocidad.
- 6) Mejorar el diseño ergonómico de los teléfonos de "manos libres" para reducir la distracción. El editorialista nota, sin embargo, que esta medida podría ser contraproducente si promoviera un mayor uso del teléfono mientras se conduce.

Conclusiones

A pesar de un considerable esfuerzo de investigación, son escasos los efectos adversos atribuibles a las microondas de telefonía celular. De todos modos, los estudios prosiguen. La página sobre campos electromagnéticos de la Organización Mundial de la Salud (386) lleva un registro de estudios publicados y en curso. Específicamente sobre telefonía celular, la lista incluye 865 publicaciones, 91 informes no publicados, y 268 estudios en curso en su última actualización (13 de diciembre de 2006).

Aunque todo indica que en el futuro no muy lejano se contará con información más completa y confiable, permanecen algunos problemas de difícil solución. Como ya se indicó, los estudios sobre posibles efectos de las estaciones de base enfrentan diversas dificultades metodológicas (319). Incluso para la exposición de usuarios, existe una gran variabilidad que complica los estudios epidemiológicos (387). Son necesarios estudios prospectivos a mediano y largo plazo (388), particularmente en los niños. Otro aspecto del empleo de teléfonos móviles poco estudiado hasta la fecha es su potencial disruptivo de diversas actividades (además de conducir vehículos) y el estrés que provoca en algunas personas el uso desconsiderado en lugares públicos por parte de terceros (145).

Por lo demás, a nadie se le escapa que la telefonía celular es un excelente negocio en imparable expansión, de modo que existen serios intereses comerciales. En una revisión sistemática reciente se halló que 20% de los estudios fueron patrocinados por la industria de telecomunicaciones, 19% por agencias estatales o entidades de bien público, mientras que 14% recibieron fondos de fuentes mixtas. Sin embargo, 37% de los estudios no indicaron las fuentes de subsidio (389). Independientemente de la calidad de las investigaciones, la probabilidad de un resultado estadísticamente significativo fue nueve veces menor en los estudios patrocinados por las compañías de telecomunicaciones. Los autores concluyeron que la fuente de financiamiento debiera tenerse en cuenta en la interpretación de los resultados (389).

Además de los obvios intereses por parte de la industria de la telefonía móvil, el hecho es que cada vez más gente percibe los beneficios de esta forma de comunicación, la cual, por otra parte, ofrece cada vez más prestaciones. Aunque pueda resultar poco realista, en ausencia de datos definitivos sobre los posibles efectos adversos sobre la salud conviene recomendar prudencia en el empleo de teléfonos móviles, sobre todo por parte de los niños.

No obstante, es poco probable que en el mediano plazo surjan datos que justifiquen restricciones importantes, por lo cual el uso de la telefonía móvil continuará creciendo, a menos que pueda ser reemplazada por otro método de comunicación mejor. Hasta cierto punto, pretender absoluta seguridad es ilusorio (390). Actualmente muy pocos prescinden de los fármacos porque tengan efectos adversos, de la electricidad porque algunos se electrocuten, o del automóvil a causa de los accidentes de tránsito.

NOTA: Fuente de financiación y conflicto de intereses

El autor declara no haber recibido ningún subsidio estatal, de entidades de bien público, de organizaciones no gubernamentales o de compañías de telecomunicaciones para la preparación del presente trabajo, ni en el pasado para temas pertinentes al mismo.

Además, el autor afirma no tener ningún conflicto de intereses acerca de los temas aquí tratados.

Bibliografía

1. Farley T, Van der Hoek M. Mobile phones-The basics. Updated 17 September 2006. (se encuentra en www.galaxyphones.co.uk/mobile_phones_basics01.asp).
2. Independent Expert Group on Mobile Phones. IEGMP Report, 2000 (The Stewart Report; se encuentra en: www.iegmp.org.uk).
3. In-Stat. Global wireless handset market grows 23% in 2006 and will reach \$250 billion by 2011. In-Stat Press Release 17 May 2006 (se encuentra en <http://www.instat.com/press.asp?Sku=IN0602922WH&ID=1666>).
4. Secretaría de Comunicaciones de la República Argentina. Evolución del servicio de Telecomunicaciones: Telefonía celular. Sin fecha (se encuentra en www.secom.gov.ar/documentos/estadisticas/serviciotelco06.htm).
5. Ceriotto L. Crecimiento explosivo: tres de cada cuatro argentinos ya tienen celular. Clarín, 1 de febrero de 2006.
6. Anónimo. Overview of how GSM mobile phones work (se encuentra en www.mobileshop.org/howitworks/summary.htm
7. García Amado D, López Abeledo J, Abeledo García MA, García Boan JD. Tecnología UMTS. Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Facultad de Informática de la Universidad de Coruña, 2006 (se encuentra en www.tic.udc.es/~fidel/docs/teaching/mt/Trabajos/UMTS-MT2006.pdf).
8. Portela A, Skvarca JJ, Matute Bravo EB, Loureiro LA. Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante. Volumen 2. Radiación de radiofrecuencias: consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición. Buenos Aires: Dirección Nacional de Calidad Ambiental, 1988.
9. Portela A, Skvarca JJ, Matute Bravo EB, Loureiro LA. Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante. Volumen 1. Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz. Buenos Aires: Dirección Nacional de Calidad Ambiental, 1988.
10. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys 1998; 74:494-522.
11. Ardoino L, Barbieri E, Vecchia P. Determinants of exposure to electromagnetic fields from mobile phones. Radiat Protect Dosim 2004; 111: 403-406.
12. Lönn S, Forssén U, Vecchia P, Ahlbom A, Feychting M. Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment. Occup Environ Med 2004; 61: 769-772.
13. Hillert L, Ahlbom A, Neasham D, Feychting M, Järup L, Navin R et al. Call-related factors influencing output power from mobile phones. J Expo Sci Environ Epidemiol 2006; 16: 507-514.
14. Kim SC, Nam KC, Kim DW. Estimation of relative exposure levels for cellular phone users using a neural network. Bioelectromagnetics 2006; 27: 440-444.
15. Belyaev I. Non-thermal biological effects of microwaves. Microwave Rev 2005; 11 (2): 13-29.

16. Radiation and Environmental Health, Department of Protection of the Human Environment. Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields. Geneva: World Health Organization, 2002, pp. 1-7.
17. Swerdlow AJ (Chairman). Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. Doc NRPB 2003; 14 (2):1-181.
18. Vander Vorst A. Microthermal and isothermal biological effects under microwave exposure. *Microwave Rev* 2005; 11 (2): 2-12.
19. Ahlbom A, Cardis E, Green A, Linet M, Savitz D, Swerdlow A - INCIRP Standing Committee on Epidemiology. Review of the epidemiologic literature on EMF and health. *Environ Health Persp* 2001; 109 (Suppl 6): 911-933.
20. Knave B, Mild KH, Sliney DH, Repacholi MH, Grandolfo M. Radiaciones no ionizantes. Capítulo 49 en *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid: Organización Internacional del Trabajo y Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001 (se encuentra en www.mtas.es/insht/EncOIT/index.htm).
21. Feychting M, Ahlbom A, Kheifets L. EMF and health. *Annu Rev Publ Health* 2005; 26: 165-189.
22. Rothman KJ. Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones. *Lancet* 2000; 356: 1837-1840.
23. Hyland GJ. Physics and biology of mobile telephony. *Lancet* 2000; 356: 1833-1836.
24. Repacholi MH. Health risks from the use of mobile phones. *Toxicol Lett* 2001; 120: 323-331.
25. Ahlbom A, Green A, Kheifetz L, Savitz D, Swerdlow A - ICNIRP Standing Committee on Epidemiology. Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. *Environ Health Perspect* 2004; 112: 1741-1754.
26. Leal Hernández M, Abellán Alemán J, Casas Pina M. Telefonía móvil. ¿Una apuesta con nuestra salud? *Atención Primaria* 2005; 35: 415-418.
27. Karger CP. Mobile phones and health: A literature overview. *Z Med Phys* 2005; 15: 73-85.
28. Wood AW. How dangerous are mobile phones, transmission masts, and electricity pylons? *Arch Dis Child* 2006; 91: 361-366.
29. Siegrist M, Earle TC, Gutscher H, Keller C. Perception of mobile phone and base stations risks. *Risk Anal* 25: 1253-1264, 2005.
30. Cherry RN Jr, Upton AC, Lodde GM, Porter SN Jr. Radiación ionizante. Capítulo 48 en *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid: Organización Internacional del Trabajo y Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001 (se encuentra en www.mtas.es/insht/EncOIT/index.htm).
31. Stone HB, Coleman CN, Anscher MS, McBride WH. Effect of radiation in normal tissue: consequences and mechanisms. *Lancet Oncol* 2003; 4:529-536.
32. Barcellos-Hoff MH, Park C, Wright EG. Radiation and the microenvironment - Tumorigenesis and therapy. *Nat Rev Cancer* 2005; 867-875.
33. Hill RP, Rodemann HP, Hendry JH, Roberts SA, Anscher MS. Normal tissue radiobiology: From the laboratory to the clinic. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001; 49:359-365.
34. Bourguignon MH, Gisone PA, Pérez MR, Michelin S, Dubner D, Di Giorgio M et al. Genetic and epigenetic features in radiation sensitivity. Part I. Cell signalling in radiation response. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2005; 32:229-246.
35. Adams KE, Medhurst AL, Dart DA, Lakin ND. Recruitment of ATR to sites of ionising radiation - induced DNA damage requires ATM and components of the MRN protein complex. *Oncogene* 2006; 25:3894-3904.
36. Brenner DJ, Doll R, Goodhead DT, Hall EJ, Land CE, Little JB et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know.

- Proc Nac Acad Sci USA 2003; 100:13761-13766.
37. Prasad KN, Cole WC, Hasse GM. Health risks of low dose ionizing radiation in humans: a review. *Exp Biol Med* 2004; 229:378-382.
 38. Tanooka H. Threshold dose problems in radiation carcinogenesis: a review of low tumour doses. *Int J Low Radiat* 2004; 1: 329-333.
 39. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. *Br Med J* 2005; 331:77-82.
 40. Lai H, Sing NP. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1995; 16:207-210.
 41. Lai H, Singh NP. Melatonin and a spin-trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:446-454.
 42. Malyapa RS, Ahern EW, Bi C, Straube WL, La Regina M, Pickard WF et al. DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz and various methods of euthanasia. *Radiat Res* 1998; 149:637-645.
 43. Lagroye O, Anane R, Wettring BA, Moros EG, Straube WL, La Regina M, Niehoff M et al. Measurement of DNA damage after acute exposure to pulsed-wave 2450 MHz microwaves in rat brain cells by two alkaline comet assay methods. *In J Radiat Biol* 2004; 80:11-20. LL, La Regina M, Niehoff M et al. Measurement of DNA damage after acute exposure to pulsed-wave 2450 MHz microwaves in rat brain cells by two alkaline comet assay methods. *In J Radiat Biol* 2004; 80:11-20.
 44. Li L, Bisht KS, Lagroye I, Zhang P, Straube WL, Moros EG et al. Measurement of DNA damage in mammalian cells exposed in vitro to radiofrequency fields at SARs of 3 - 5 W/kg. *Radiat Res* 2001; 156:328-332.
 45. Hook GJ, Zhang P, Lagroye I, Li L, Higashikubo R, Moros EG et al. Measurement of DNA damage and apoptosis in Molt-4 cells after in vitro exposure to radiofrequency radiation. *Radiat Res* 2004; 161:193-200.
 46. Roti Roti JL, Malyapa RS, Bisht KS, Ahern EW, Moros EG, Pickard WF et al. Neoplastic transformation in C3H 10T (1/2) cells after exposure to 835.62 MHz FDMA and 847.74 MHz CDMA radiations. *Radiat Res* 2001; 155:239-247.
 47. Sakuma N, Komatsubara Y, Takeda H, Hirose H, Sekijima M, Nojima T et al. DNA strand breaks are not induced in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW and W-CDMA modulated radiofrequency fields allocated to mobile radio base stations. *Bioelectromagnetics* 2006; 27:51-57.
 48. McKinlay AF, Allen SG, Cox R, Dimbylow PJ, Mann SM, Muirhead CR et al. Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0 - 300 GHz). *Doc NRPB* 2004; 15:1-215.
 49. Vijayalaxmi, Obe G. Controversial cytogenetic observations in mammalian somatic cells exposed to radiofrequency radiation. *Radiat Res* 2004; 162:481-496.
 50. Moulder JE, Foster KR, Erdreich LS, McNamee JP. Mobile phones, mobile base stations and cancer: a review. *International Journal of Radiation Biology* 2005; 81: 189-203.
 51. Diem E, Schwarz C, Adlkofer F, Jahn O, Rüdiger H. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. *Mutat Res* 2005; 583:178-183.
 52. Vijayalaxmi, McNamee JP, Scarfi MR. Comments on: "DNA strand breaks" by Diem et al. [*Mutat. Res.* 583 (2005) 178-183] and Ivancsits et al. [*Mutat. Res.* 583 (2005) 184-188]. *Mutat Res* 2006; 603:104-106.
 53. Rüdiger HW, Kratochvil E, Pilger A. Reply to the letter by Vijayalaxmi et al. *Mutat Res* 2006; 603:107-109.

54. D'Ambrosio G, Massa R, Scarfi MR, Zeni O. Cytogenetic damage in human lymphocytes following GSMK phase modulated microwave exposure. *Bioelectromagnetics* 2002; 23:7-13.
55. Tice RR, Hook GG, Donner M, McRee DI, Guy AW. Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells. *Bioelectromagnetics* 2002; 23:113-126.
56. Markova E, Hillert L, Malmgren L, Persson BRR, Belyaev IY. Microwaves from GSM mobile telephones affect 53BP1 and γ -H2AX foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons. *Environ Health Persp* 2005; 113:1172-1177.
57. Lantow M, Vieregutz T, Weiss DG, Simko M. Comparative study of cell cycle kinetics and induction of apoptosis or necrosis after exposure of human monomac 6 cells to radiofrequency radiation. *Radiat Res* 2006; 166:539-543.
58. Zeni O, Chiavoni AS, Sannino A, Antolini A, Forigo D, Bersani F et al. Lack of genotoxic effects (micronucleus induction) in human lymphocytes exposed in vitro to 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 2003; 160:152-158.
59. Zeni O, Romano M, Perrotta A, Lioi MB, Barbieri R, d'Ambrosio G et al. Evaluation of genotoxic effects in human peripheral blood leukocytes following an acute in vitro exposure to 900 MHz radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics* 2005; 26:258-265.
60. Scarfi MR, Frasegna AM, Villani P, Pinto R, Marino C, Sarti M et al. Exposure to radiofrequency radiation (900 MHz, GSM signal) does not affect micronucleus frequency and cell proliferation in human peripheral blood lymphocytes: an interlaboratory study. *Radiat Res* 2006; 165:655-663.
61. Feinberg AP, Tycko B. The history of cancer epigenetics. *Nat Rev Cancer* 2004; 4:1-11.
62. Robertson KD. DNA methylation and human disease. *Nat Rev Genet* 2005; 6:597-610.
63. Esteller M. Epigenetics provide a new generation of oncogenes and tumour-suppressor genes. *Br J Cancer* 2006; 94:179-183.
64. Baylin SB, Ohm JE. Epigenetic gene silencing in cancer - a mechanism for early oncogenic pathway addiction? *Nat Rev Cancer* 2006; 6:107-116.
65. de Pomerai D, Daniells C, David H, Allan J, Duce I, Mutwakil M et al. Cell biology: Non-thermal heat-shock responses to microwaves. *Nature* 2000; 405:417-418.
66. Calderwood SK, Khaleque MA, Sawyer DB, Ciocca DR. Heat shock proteins in cancer: chaperones of tumorigenesis. *Trends Biochem Sci* 2006; 31:164-172.
67. Leach JK, Van Tuyle G, Lin PS, Schmidt-Ulrich R, Mikkelsen RB. Ionizing radiation-induced, mitochondria-dependent generation of reactive oxygen/nitrogen. *Cancer Res* 2001; 61:3894-3901.
68. Mikkelsen RB, Wardmann P. Biological chemistry of reactive oxygen and nitrogen and radiation-induced signal transduction mechanisms. *Oncogene* 2003; 22:5734-5754.
69. Leszczynski D, Joenvaara S, Reivinen J, Kuokka R. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanisms for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 2002; 70:120-129.
70. Lim HB, Cook GG, Barker AT, Coulton LA. Effect of 900 MHz electromagnetic fields on nonthermal induction of heat-shock proteins in human leukocytes. *Radiat Res* 2005; 163:45-52.
71. Lantow M, Schuderer J, Hartwig C, Simko M. Free radical release and HSP70 expression in two human immune-relevant cell lines after exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res* 2006; 165:88-94.

72. Lantow M, Lupke M, Frahm J, Mattsson MO, Kuster N, Simko M. ROS release and Hsp70 expression after exposure to 1,800 MHz radiofrequency electromagnetic fields in primary human monocytes and lymphocytes. *Radiat Environ Biophys* 2006; 45:55-62.
73. Chauhan V, Mariampillai A, Bellier PV, Qutob SS, Gajda GB, Lemay E et al. Gene expression analysis of a human lymphoblastoma cell line exposed in vitro to an intermittent 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Radiat Res* 2006; 165:424-429.
74. Chauhan V, Mariampillai A, Gajda GB, Thansandote A, McNamee JF. Analysis of proto-oncogene and heat-shock protein gene expression in human derived cell lines exposed in vitro to an intermittent 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Int J Radiat Biol* 2006; 82:347-354.
75. Miyakoshi J, Takemasa K, Takashima Y, Ding GR, Hirose H, Koyama S. Effects of exposure to a 1950 MHz radio frequency field on expression of Hsp70 and Hsp27 in human glioma cells. *Bioelectromagnetics* 2005; 26:251-257.
76. Cotgreave IA. Biological stress responses to radio frequency electromagnetic radiation: are mobile phones so (heat) shocking? *Arch Biochem Biophys* 2005; 35: 227-240.
77. Chauhan V, Mariampillai A, Kutzner BC, Wilkins RC, Ferrarotto C, Bellier PV et al. Evaluating the biological effects of intermittent 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency fields in a series of human-derived cell lines. *Radiat Res* 2007; 167: 87-93.
78. Byus CV, Kartun K, Pieper S, Adey WR. Increased ornithine decarboxylase activity in cultured cells exposed to low energy modulated microwave fields and phorbol ester tumor promoters. *Cancer Res* 1988; 48:4222-4226.
79. Penafiel LM, Litovitz T, Krause D, Desta A, Mullins JM. Role of modulation of the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity in L929 cells. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:132-141.
80. Thomas T, Thomas TJ. Polyamine metabolism and cancer. *J Cell Mol Med* 2003; 7:113-126.
81. Haarala J, Höyto A, Markkanen A. Cellular effects of electromagnetic fields. *Altern Lab Animals* 2004; 32:355-360.
82. Zeng Q, Chen G, Weng Y, Wang L, Chiang H, Lu D, Xu Z. Effects of global system for mobile communications 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields on gene and protein expression in MDF-7 cells. *Proteomics* 2006; 6: 4732-4738.
83. Nylund R, Leszczynski D. Proteomic analysis of human endothelial cell line EA.hy926 after exposure to GSM 900 radiation. *Proteomics* 2004; 4:1359-1365.
84. Nylund R, Leszczynski D. Mobile phone radiation causes changes in gene and protein expression in human endothelial cell lines and the response seems to be genome- and proteome-dependent. *Proteomics* 2006; 6:4769-4780.
85. Qutob SS, Chauhan V, Bellier PV, Yauk CL, Douglas GR, Berndt L et al. Microarray gene expression profiling of a human glioblastoma cell line exposed in vitro to a 1.9 GHz pulse-modulated radiofrequency field. *Radiat Res* 2006; 165:636-644.
86. Remondini D, Nylund R, Reivinen J, Poullétier de Gannes F, Veyret B, Lagroye I. Gene expression changes in human cells after exposure to mobile phone microwaves. *Proteomics* 2006; 6:4745-4754.
87. Verschaeve L, Maes A. Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields. *Mutat Res* 1998; 410:141-165.
88. Elder JA. Survival and cancer in laboratory animals exposed to radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics* 2003; 24 (Suppl. 6): S101-S106.

89. La Regina M, Moros EG, Pickard WF, Straube WL, Baty J, Roti Roti JL. The effect of chronic exposure to 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA radiofrequency radiation on the incidence of spontaneous tumors in rats. *Radiat Res* 2003; 160:143-151.
90. Dasenbrock C. Animal carcinogenicity studies on radiofrequency fields related to mobile phones and base stations. *Toxicol Appl Pharmacol* 2005; 207: S342-S346.
91. Repacholi MH. Health risks from the use of mobile phones. *Toxicol Lett* 2001; 120: 323-331.
92. Repacholi M, 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.
93. Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchel TR. Long-term exposure of E?-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res* 2002; 158:357-364.
94. Sommer AM, Streckert J, Bitz AK, Hansen VW, Lerchl A. No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic fields on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice. *BMC Cancer* 2004; 4:77 (se encuentra en www.biomedcentral.com/1471-2407/4/77).
95. Adey WR, Byus CV, Cain CD, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, Kuster N, MacMurray A, Stagg RB, Zimmerman G. Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields. *Cancer Res* 2000; 60: 1857-1863.
96. Bartsch H, Bartsch C, Seebald E, Deerberg F, Dietz K, Vollrath L et al. Chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) does not stimulate the development of DMBA-induced mammary tumors in mice: results of three consecutive studies. *Radiat Res* 2002; 157:183-190.
97. Yu D, Shen Y, Kuster N, Fu Y, Chiang H. Effects of 900 MHz GSM wireless communication signals on DMBA-induced mammary tumors in rats. *Radiat Res* 2006; 165:174-180.
98. Verschaeve L, Heikkinen P, Verheyen G, Van Gorp U, Boonen F, Vander Plaetse F et al. Investigation of co-genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields in vivo. *Radiat Res* 2006; 165:598-607.
99. Heikkinen P, Ernst H, Huuskonen H, Komulainen H, Kumlin T, Maki-Paakkanen J et al. No effects of radiofrequency radiation on 3-chloro-4-(dichloromethyl)-2 (5H)-furanone-induced tumorigenesis in female Wistar rats. *Radiat Res* 2006; 166:397-408.
100. Colonna A. Téléphonie cellulaire et cancer: où en est-on? *Bull Cancer* 2005; 92: 637-643.
101. Heikkinen P, Kosma VM, Hongisto T, Huuskonen H, Hyysalo P, Komulainen H et al. Effects of mobile phone radiation on X-ray-induced tumorigenesis in mice. *Radiat Res* 2001; 156: 775-785.
102. Carlo GL, Steffens-Jenrow R. Scientific progress - Wireless phones and brain cancer: Current state of the science. *MedScape*, 31 Jul 2000 (se encuentra en www.medscape.com/viewarticle/408066).
103. Funch DP, Rothman KJ, Loughlin JE, Dreyer NA. Utility of company records for epidemiologic studies of cellular telephones. *Epidemiology* 1996; 7:299-302.
104. Berg G, Schüz J, Samkage-Zeeb F, Blettner M. Assessment of radiofrequency exposure from cellular telephone daily use in an epidemiological study: German validation study of the international case-control study of cancers of the brain - INTERPHONE Study. *J Expos Anal Environ Epidemiol* 2004; 15: 217-224.
105. Kundi M, Mild KH, Hadell L, Mattson MO. Mobile telephones and cancer - A re-

- . view of epidemiological evidence. *J Toxicol Environ Health* 2004; Part B 7: 351-384.
- 106 Cook A, Woodward A, Pearce N, Marshall C. Cellular telephone use and time trends for brain, head and neck tumours. *N Z Med J* 2003; 116:U457.
- 107 Muscat JE, Hinsvark M, Malkin M. Mobile phones and rates of brain cancer. *Neuroepidemiology* 2006; 27:55-56.
- 108 Dreyer NA, Loughlin JE, Rothman KJ. Cause-specific mortality in cellular telephone users. *JAMA* 1999; 282:1814-1816.
- 109 Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro WR, Selker RG et al. Cellular-telephone use and brain tumors. *N Eng J Med* 2001; 344:79-86.
- 110 Johansen C, Boice JD Jr, McLaughlin JK, Olsen JH. Cellular telephones and cancer - A nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst* 2001; 93:203-207.
- 111 Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, Shore RE, Stellman SD, McRee D et al. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 2000; 284:3001-3007.
- 112 Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R, Koskela RS. Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology* 2002; 13:356-359.
- 113 Hardell L, Mild KH, Carlberg M. Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int J Radiat Biol* 2002; 78:931-936.
- 114 Hardell L, Hallquist A, Mild KH, Carlberg M, Pahlson A, Lilja A. Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev* 2002; 11:377-386.
- 115 Hardell L, Carlberg M, Mild KH. Case-control study of the association between the use of cellular and cordless telephones and malignant brain tumors diagnosed during 2000-2003. *Environ Res* 2006; 100: 232-241.
- 116 Muscat JE, Malkin MG, Shore RE, Thompson S, Neugut AI, Stellman SD et al. Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 2002; 58:1304-1306.
- 117 Christensen HC, Schüz J, Kosteljanec M, Poulsen HS, Thomsen J, Johansen C. Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. *Am J Epidemiol* 2004; 159:277-283.
- 118 Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M. Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma. *Epidemiology* 2004; 15:653-659.
- 119 Hardell L, Mild KH, Carlberg M. Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *Int J Oncol* 2003; 22:399-407.
- 120 Hardell L, Carlberg M, Mild KH. Case-control study on cellular and cordless telephones and the risk for acoustic neuroma or meningioma in patients diagnosed 2000-2003. *Neuroepidemiology* 2005; 25:120-128.
- 121 Schoemaker MJ, Swerdlow AJ, Ahlbom A, Auvinen A, Blasaas KG, Cardis E et al. Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five North European countries. *Br J Cancer* 2005; 93: 842-848.
- 122 Hocking B. Mobile phone use and risk of acoustic neuroma. *Br J Cancer* 2006. Online publication 28 March 2006 doi: 10.1038/sj.bjc.6603069.
- 123 Hardell L, Hansson-Mild K. Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five North European countries. *Br J Cancer* 2006. Online publication 28 March 2006, doi: 10.1038/sj.bjc.6603070.
- 124 Milham S. Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study. *Br*

- J Cancer 2006. Online publication 28 March 2006; doi: 10.1038/sj.bjc.6603068.
- 125 Schoemaker MJ, Swerdlow AJ, Auvinen A, Cardis E, Feychting M, Johansen C et al. Reply: Mobile phone use and acoustic neuroma in five North European countries. *Br J Cancer* 2006. Online publication 28 March 2006; doi: 10.1038/sj.bjc.6603071.
- 126 Stang A, Anastassiou G, Ahrens W, Bromen K, Bornfeld N, Jockel KH. The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* 2001; 12:7-12.
- 127 Johansen C, Boice JD Jr, McLaughlin JK, Christensen HC, Olsen JH. Mobile phones and malignant melanoma of the eye. *Br J Cancer* 2002; 86: 348-349.
- 128 Schmidt-Pokrzywniak A, Jockel KH, Bornfeld N, Stang A. case-control study of uveal melanoma (RIFA): rationale and design. *BMC Ophthalmol* 2004; 4:11 (see www.biomedcentral.com/1471-2415/4/11).
- 129 Hardell L, Näsman Å, Pålsson A, Hallquist A, Mild KH. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case-control study. *Int J Oncol* 1999; 15:113-116.
- 130 Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M and the Swedish Interphone Study Group. Long-term mobile phone use and brain tumor risk. *Am J Epidemiol* 2005; 161: 526-535.
- 131 Christensen HC, Schüz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Boice JD Jr, McLaughlin JK et al. Cellular telephones and risk for brain tumors: a population based, case-control study. *Neurology* 2005; 64:1189-1195.
- 132 Hardell L, Carlberg M, Mild KH. Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997-2003. *Int J Oncol* 2006; 28: 509-518.
- 133 Hepworth SJ, Schoemaker MJ, Muir KR, Swerdlow AJ, van Tongeren MJA, McKinney PA. Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study. *Br Med J* 2006 *BMJ*, doi:10.1136/bmj.38720.687975.55 (Published 20 January 2006).
- 134 Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, Schoemaker MJ, Christensen HC, Feychting M et al. Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries. *Int J Cancer* 2007 [Epub ahead of print 17 January 2007].
- 135 Berg G, Spallek J, Schuz J, Schlehofer B, Böhler E, Schläefer K et al. Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors: Interphone Study Group, Germany. *Am J Epidemiol* 2006, doi:10.1093/aje/kwj247 (Published 27 July 2006).
- 136 Schüz J, Böhler E, Schlehofer B, Berg G, Schläefer K, Hettlinger I et al. Radiofrequency electromagnetic fields emitted from base stations of DECT cordless phones and the risk of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). *Radiat Res* 2006; 166: 116-119.
- 137 Rööslä M, Michel G, Kuehni CE, Spoerri A. Cellular telephone use and time trends in brain tumour mortality in Switzerland from 1969 to 2002. *Eur J Cancer Prev* 2007; 16: 77-82.
- 138 Lahkola A, Tokola K, Auvinen A. Meta-analysis of mobile phone use and intracranial tumors. *Scand J Work Environ Health* 2006; 32: 171-177.
- 139 Hardell L, Eriksson M, Carlberg M, Sundström C, Mild KH. Use of cellular or cordless telephones and the risk for non-Hodgkin's lymphoma. *Int Arch Occup Environ Health* 2005; 78: 625-632.
- 140 Linet MS, Taggart T, Severson RK, Cerhan JR, Cozen W, Hartge P et al. Cellular telephones and non-Hodgkin lymphoma. *Int J Cancer* 2006; 119: 2382-2388.
- 141 Hardell L, Hallquist A, Mild KH, Carlberg M, Gertzen H, Schildt EB et al. No association between the use of cellular or cordless telephones and salivary gland

- tumors. *Occupat Environ Med* 2004; 61: 675-679.
- 142 Lönn S, Ahlbom A, Christensen HC, Johansen C, Schüz J, Edström S et al. Mobile phone use and risk of parotid gland tumor. *American Journal of Epidemiology* 3 July 2006 DOI: 10.1093/aje/khj242.
- 143 Hardell L, Carlberg M, Ohlson CG, Westberg H, Eriksson M, Hansson Mild K. Use of cellular and cordless telephones and risk of testicular cancer. *Int J Androl* 2006 [Epub ahead of print 20 December 2006] PMID: 17209885.
- 144 Schüz J, Jacobsen R, Olsen JH, Boice JD Jr, McLaughlin JK, Johansen C. Cellular telephone use and cancer risk: update of a nationwide Danish cohort. *J Natl Cancer Inst* 2006; 98: 1707-1713.
- 145 Hossmann KA, Hermann DM. Effects of electromagnetic radiation from mobile phones on the central nervous system. *Bioelectromagnetics* 2003; 24: 49-62.
- 146 Cook CM, Thomas AW, Prato FS. Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: a review of recent studies. *Bioelectromagnetics* 2002; 23: 144-157.
- 147 Hamblin DL, Wood AW. Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int J Radiat Biol* 2002; 78: 659-669.
- 148 Fritze K, Wiessner C, Kuster N, Sommer C, Gass P, Hermann DM et al. Effect of Global System for Mobile communication microwave exposure on the genomic response of the rat brain. *Neuroscience* 1997; 81: 627-639.
- 149 Finnie JW, Cai Z, Blumbergs PC, Manavis J, Kuchel TR. Expression of the immediate early gene, c-fos, in fetal brain after whole of gestation exposure of pregnant mice to global system for mobile communication microwaves. *Pathology* 2006; 38: 333-335.
- 150 López-Martín E, Relova-Quinteiro JL, Gallego-Gómez R, Peleteiro-Fernández M, Jorge-Barreiro FJ, Ares-Pena FJ. GSM radiation triggers seizures and increases cerebral c-Fos positivity in rats pretreated with subconvulsive doses of picrotoxin. *Neurosci Lett* 2006; 398: 139-144.
- 151 Belyaev IY, Koch CB, Terenius O, Roxtröm-Lindquist K, Malmgren LO, Sommer WH et al. Exposure of rat brain to 915 MHz GSM microwaves induces changes in gene expression but no double stranded DNA breaks or effects on chromatin conformation. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 295-306.
- 152 Mausset-Bonnefont AL, Hirbec H, Bonnefont X, Privat A, Vignon J, de Seze R. Acute exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain. *Neurobiol Dis* 2004; 17: 445-454.
- 153 Thorlin T, Rouquette JM, Hamnerius Y, Hansson E, Persson M, Bjorklund U et al. Exposure of cultured astroglial and microglial brain cells to 900 MHz microwave radiation. *Radiat Res* 2006; 166: 409-421.
- 154 Fritze K, Sommer C, Schmitz B, Mies G, Hossmann KA, Kiesling M et al. Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain barrier permeability in rat. *Acta Neuropathol* 1997; 94: 465-470.
- 155 Finnie JW, Blumbergs PC, Manavis J, Utteridge TD, Gebiski V, Swift JG et al. Effect of global system for mobile communication (gsm)-like radiofrequency fields on vascular permeability in mouse brain. *Pathology* 2001; 33: 338-340.
- 156 Finnie JW, Blumbergs PC, Cai Z, Manavis J, Kuchel TR. Effect of mobile telephony on blood-brain barrier permeability in the fetal mouse brain. *Pathology* 2006; 38: 63-65.
- 157 Franke H, Ringelstein EB, Stogbauer F. Electromagnetic fields (GSM 1800) do not alter blood-brain barrier permeability to sucrose in models in vitro with high barrier tightness. *Bioelectromagnetics* 2005; 26: 529-535.
- 158 Cosquer B, Vasconcelos AP, Fröhlich J, Cassel JC. Blood-brain barrier and electromagnetic fields: effects of scopolamine methylbromide on working memory

- alter whole-body exposure to 2.45 GHz microwaves in rats. *Behav Brain Res* 2005; 161: 229-237.
- 159 Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environ Health Persp* 2003; 111: 881-883.
- 160 Brazier MAB. *Electrical activity of the nervous system*, 4th Ed. Tunbridge Wells: Pitman Medical Publishing, 1977.
- 161 Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP et al. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 2002; 11:289-295.
- 162 Curcio G, Ferrara M, Moroni F, D'Inzeo G, Bertini M, De Gennaro L. Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. *Neurosci Res* 2005; 53:265-270.
- 163 D'Costa H, Trueman G, Tang L, Abdel-Rahman U, Abdel-Rahman W, Ong K et al. Human brain wave activity during exposure to radiofrequency field emissions from mobile phones. *Australasian Phys Eng Sci Med* 2003; 26: 162-167.
- 164 Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP, Barry RJ, Williams JD, Clarke AR. Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol* 2002; 113: 1623-1632.
- 165 Papageorgiou CC, Nanou ED, Tsiafakis VG, Capsalis CN, Rabavilas AD. Gender related differences on the EEG during a simulated mobile phone signal. *Neuroreport* 2004 ; 15:2557-2560.
- 166 Kramarenko AV, Tan U. Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. *Int J Neurosci* 2003; 113: 1007-1019.
- 167 Sack AT. Transcranial magnetic stimulation, causal structure-function mapping and networks of functional relevance. *Curr Opin Neurobiol* 2006; 16: 539-599.
- 168 Ferreri F, Curcio G, Pasqualetti P, De Gennaro L, Fini R, Rossini PM. Mobile phone emissions and human brain excitability. *Ann Neurol* 2006; 60: 188-196.
- 169 Khiat A, Boulanger Y, Breton G. Monitoring the effects of mobile phone use on the brain by proton magnetic resonance spectroscopy. *Int J Radiat Biol* 2006; 82: 681-685.
- 170 Huber R, Treyer V, Schuderer J, Berthold T, Buck A, Kuster N, Landolt HP, Achermann P. Exposure to pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow. *Eur J Neurosci* 2005; 21:1000-1006.
- 171 Haarala C, Aalto S, Hautzel H, Julkunen L, Rinne JO, Laine M, Krause B, Hamalainen H. Effects of a 902 MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans: a PET study. *Neuroreport* 2003; 14:2019-2023.
- 172 Aalto S, Haarala C, Bruck A, Sipila H, Hamalainen H, Rinne JO. Mobile phone affects cerebral blood flow in humans. *J Cereb Blood Flow Metab* 2006; 26:885-890.
- 173 Mann K, Röschke J. Sleep under exposure to high-frequency electromagnetic fields. *Sleep Med Rev* 2004; 8: 95-107.
- 174 Mann K, Röschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996; 33: 41-47.
- 175 Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, Matter D et al. Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport*. 2000; 11: 3321-3325.
- 176 Loughran SP, Wood AW, Barton JM, Croft RJ, Thompson B, Stough C. The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep. *Neuroreport* 2005; 16: 1973-1976.
- 177 Huber R, Schuderer J, Graf T, Jutz K, Borbely AA, Kuster N, Achermann P. Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR

- distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics* 2003; 24:262-276.
- 178 Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP, Korotkovskaya TI, Gailus T. Investigation of brain potentials in sleeping humans exposed to the electromagnetic field of mobile phones. *CRC Crit Rev Biomed Eng* 2001; 29: 125-133.
 - 179 Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E et al. Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 1999; 75: 447-456.
 - 180 Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Haarala C, Sillanmaki L, Laine M et al. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 2000; 11:413-415.
 - 181 Pfurtscheller G, Lopes da Silva FH. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: Basic principles. *Clin Neurophysiol* 1999; 110: 1842-1857.
 - 182 Krause CM, Sillanmäki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A et al. 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.
 - 183 Krause CM, Sillanmäki L, Koivisto M, Saarela C, Revonsuo A, Laine M et al. Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuroreport* 2000; 11: 761-764.
 - 184 Krause CM, Björnberg CH, Pesonen M, Hulten A, Liesivuori T, Koivisto M, et al. Mobile phone effects on children's event-related oscillatory EEG during an auditory memory task. *Int J Radiat Biol* 2006; 82:443-450.
 - 185 Edelstyn N, Oldershaw A. The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 2002; 21: 119-121.
 - 186 Lee TM, Lam PK, Yee LT, Chan CC. The effect of the duration of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 14: 1361-1364.
 - 187 Eliyahu I, Luria R, Hareuveny R, Margaliot M, Meiran N, Shani G. Effects of radiofrequency radiation emitted by cellular telephones on the cognitive functions of humans. *Bioelectromagnetics* 2006; 27:119-126.
 - 188 Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. The effects of electromagnetic field emitted by GSM phone on working memory. *Neuroreport* 2000; 11: 1641-1643.
 - 189 Haarala C, Bjornberg L, Ek M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hamalainen H. Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study. *Bioelectromagnetics* 2003; 24:283-288.
 - 190 Haarala C, Ek M, Bjornberg L, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hamalainen H. 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans. *Bioelectromagnetics* 2004; 25:452-456.
 - 191 Krause CM, Haarala C, Sillanmaki L, Koivisto M, Alanko K, Revonsuo A et al. Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: a double blind replication study. *Bioelectromagnetics* 2004; 25: 33-40.
 - 192 Maier R, Greter SE, Maier N. Effects of pulsed electromagnetic fields on cognitive processes - a pilot study on pulsed field interference with cognitive regeneration. *Acta Neurol Scand* 2004; 110: 46-52.
 - 193 Preece AW, Goodfellow S, Wright MG, Butler SR, Dunn EJ, Johnson Y et al. Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children. *Bioelectromagnetics* 2005; 26 (Suppl 7): S138-S143.
 - 194 Hamblin DL, Croft RJ, Wood AW, Stough C, Spong J. The sensitivity of human event-related potentials and reaction time to mobile phone emitted electro-

- magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2006; 27:265-273.
- 195 Keetley V, Wood AW, Spong J, Stough C. Neuropsychological sequelae of digital mobile phone exposure in humans. *Neuropsychologia* 2006; 44: 1843-1848.
 - 196 Smythe JW, Costall B. Mobile phone use facilitates memory in male, but not female, subjects. *Neuroreport* 2003; 14: 243-246.
 - 197 Russo R, Fox E, Cinel C, Boldini A, Defeyter MA, Mirshekar-Syahkal D, Mehta A. Does acute exposure to mobile phones affect human attention? *Bioelectromagnetics* 2006; 27:215-220.
 - 198 Hinrichs H, Heinze HJ. Effects of GSM electromagnetic field on the MEG during an encoding-retrieval task. *Neuroreport* 2004; 15: 1191-1194.
 - 199 Esen F, Esen H. Effect of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the latency of evoked electrodermal activity. *Int J Neurosci* 2006; 116: 321-329.
 - 200 Besset A, Espa F, Dauvilliers Y, Billiard M, de Seze R. No effect on cognitive function from daily mobile phone use. *Bioelectromagnetics* 2005; 26: 102-108.
 - 201 Papageorgiou CC, Nanou ED, Tsiafakis VG, Kapareliotis E, Kontoangelos KA, Capsalis CN et al. Acute mobile phone effects on pre-attentive operation. *Neurosci Lett* 2006; 397:99-103.
 - 202 Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, Stough C. Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clin Neurophysiol* 2004; 115: 171-178.
 - 203 Maby E, Le Bouquin Jeannes R, Faucon G. Scalp localization of human auditory cortical activity modified by GSM electromagnetic fields. *Int J Radiat Biol* 2006; 82: 465-472.
 - 204 Uloziene I, Uloza V, Gradauskiene E, Saferis V. Assessment of potential effects of the electromagnetic fields of mobile phones on hearing. *BMC Publ Health* 2005; 5:39 (se encuentra en www.biomedcentral.com/1471-2458/5/39).
 - 205 Ozturan O, Erdem T, Miman MC, Kalcioglu MT, Oncel S. Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Otolaryngol* 2002; 122: 289-293.
 - 206 Shera CA. Mechanisms of mammalian otoacoustic emission and their implications for the clinical utility of otoacoustic emissions. *Ear Hear* 2004; 25: 86-97.
 - 207 Janssen T, Boege P, von Mikusch-Buchberg J, Raczek J. Investigation of potential effects of cellular phones on human auditory function by means of distortion product otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 2005; 117: 1241-1247.
 - 208 Parazzini M, Bell S, Thuroczy G, Molnar F, Tognola G, Lutman ME et al. Influence of the mechanisms of generation of distortion product otoacoustic emissions of mobile phone exposure. *Hear Res* 2005; 208: 68-78.
 - 209 Kizilay A, Ozturan O, Erdem T, Kalcioglu MT, Miman MC. Effects of chronic exposure of electromagnetic fields from mobile phones on hearing in rats. *Auris Nasus Larynx* 2003; 30:239-245.
 - 210 Galloni P, Parazzini M, Piscitelli M, Pinto R, Lovisolo GA, Tognola G et al. Electromagnetic fields from mobile phones do not affect the inner auditory system of Sprague - Dawley rats. *Radiat Res* 2005; 164: 798-804.
 - 211 Aran JM, Carrere N, Chalan Y, Dulou PE, Larrieu S, Letenneur L et al. Effects of exposure of the ear to GSM microwaves: in vivo and in vitro experimental studies. *Int J Audiol* 2004; 43: 545-554.
 - 212 Oktay MF, Dasdag S. Effects of intensive and moderate cellular phone use on hearing function. *Electromagn Biol Med* 2006; 25: 13-21.

- 213 Bak M, Sliwinska-Kowalska M, Zmyslony M, Dudarewicz A. No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. *Int J Occup Med Environ Health* 2003; 16:201-208.
- 214 Arai N, Enomoto H, Okabe S, Yuasa K, Kamimura Y, Ugawa Y. Thirty minutes mobile phone use has no short-term adverse effects on central auditory pathways. *Clin Neurophysiol* 2003; 114: 1390-1394.
- 215 Sievert U, Eggert S, Goltz S, Pau HW. Wirkung elektromagnetischer Felder des GSM-Mobilfunksystems auf auditives und vestibuläres Labyrinth und Hirnstamm. *Laryngorhinootologie* 2006; Publicado por adelantado electrónicamente (se encuentra en www.thieme-connect.com/ejournals/pdf/lro/doi/10-1055/s-2006-944769.pdf).
- 216 O'Neill G. The caloric stimulus: mechanisms of heat transfer. *Br J Audiol* 1995; 29: 87-94.
- 217 Pau HW, Sievert U, Eggert S, Wild W. Can electromagnetic fields emitted by mobile phones stimulate the vestibular organ? *Otolaryngol Head Neck Surg* 2005; 132: 43-49.
- 218 Schmid G, Sauter C, Stepansky R, Lobentanz IS, Zeitlhofer J. No influence on selected parameters of human visual perception of 1970 MHz UMTS-like exposure. *Bioelectromagnetics* 2005; 26:243-250.
- 219 Elder JA. Ocular effects of radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics* 2003; 4 (Suppl. 6): S148-S161.
- 220 Yuasa K, Arai N, Okabe S, Tarusawa Y, Nojima T, Hanajima R et al. Effects of thirty minutes mobile phone use on the human somatosensory cortex. *Clin Neurophysiol* 2006: 900-905.
- 221 Cook CM, Saucier DM, Thomas AW, Prato FS. Exposure to ELF magnetic and ELF-modulated radiofrequency fields: The time course of physiological and cognitive effects observed in recent studies (2001-2005). *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 613-627.
- 222 Szmigielski S, Bortkiewicz A, Gadzicka E, Zmyslony M, Kubacki R. Alteration of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate to workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields. *Blood Press Monit* 1998; 3: 323-330.
- 223 Braune S, Wrocklage C, raczak J, Gailus T, Lücking CH. Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet* 1998; 351: 1857-1858.
- 224 Braune S, Riedel A, Schulte-Monting J, Raczek J. Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiat Res* 2002; 158: 352-356.
- 225 Mann K, Roschke J, Connemann B, Beta H. No effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on heart rate variability during human sleep. *Neuropsychobiology* 1998; 38: 251-256.
- 226 Tahvanainen K, Nino J, Halonen P, Kuusela T, Laitinen T, Lansimies E, et al. Cellular phone use does not affect blood pressure or heart rate in humans. *Bioelectromagnetics* 2004; 25: 73-83.
- 227 Atlasz T, Kelleny L, Kovacs P, Babai N, Thuroczy G, Hejjel L et al. The application of surface plethysmography for heart rate variability analysis after GSM radiofrequency exposure. *J Biochem Biophys Methods* 2006; 69: 233-236.
- 228 Nam KC, Kim SW, Kim SC, Kim DW. Effects of RF exposure of teenagers and adults by CDMA cellular phones. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 509-514.
- 229 Pandi-Perumal SR, Srinivasan V, Maestroni GJM, Cardinali DP, Poeggeler P, Hardeland R. Melatonin. Nature's most versatile biological signal? *FEBS J* 2006; 273: 2813-2838.
- 230 Ravindra T, Lakshmi NK, Ahuja YR. Melatonin in pathogenesis and therapy of

- cancer. *Indian J Med Sci* 2006; 60: 523-535.
- 231 Touitou Y, Bogdan A, Lambrozo J, Selmaoui B. Is melatonin the hormonal mis-
link between magnetic field effects and human diseases? *Cancer Causes
Control* 2006; 17: 547-552.
- 232 Koyu A, Ozguner F, Cesur G, Gokalp O, Mollaoglu H, Caliskan S et al. No ef-
fects of 900 MHz and 1800 MHz electromagnetic field emitted from cellular
phones on nocturnal serum melatonin levels in rats. *Toxicol Ind Health* 2005;
21: 27-31.
- 233 Hata K, Yamaguchi H, Tsurita G, Watanabe S, Wake K, Taki M et al. Short term
exposure to 1439 MHz pulsed TDMA field does not alter melatonin synthesis in
rats. *Bioelectromagnetics* 2005; 26: 49-53.
- 234 Burch JB, Reif JS, Noonan CW, Ichinose T, Bachand AM, Koleber TL et al. Mela-
tonin metabolite excretion among cellular telephone users. *Int J Radiat Biol*
2002; 78: 1029-1036.
- 235 Jarupat S, Kawabata A, Tokura H, Bortkiewicz A. Effects of the 1900 MHz elec-
tromagnetic field emitted from cellular phone on nocturnal melatonin secretion.
J Physiol Anthropol 2003; 22: 61-63.
- 236 Wood AW, Loughran SP, Stough C. Does evening exposure to mobile phone ra-
diation affect subsequent melatonin production? *Int J Radiat Biol* 2006; 82: 69-
76.
- 237 Bortkiewicz A, Pilacik B, Gadzicka E, Szymczak W. The excretion of 6-
hydroxymelatonin sulfate in healthy young men exposed to electromagnetic
fields emitted by a cellular phone - an experimental study. *Neuro Endocrinol
Lett* 2002; 23 (Suppl 1): 88-91.
- 238 Radon K, Parera D, Rose DM, Jung D, Vollrath L. No effect of pulsed radio fre-
quency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of
the immune system in man. *Bioelectromagnetics* 2001; 22: 280-287.
- 239 Mann K, Wagner P, Brunn G, Hassan F, Hiemke C, Roschke J. Effects of pulsed
high-frequency fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinology*
1998; 67: 139-144.
- 240 de Seze R, Ayoub J, Peray P, Miro L, Touitou Y. Evaluation in humans of the
effects of radiocellular phones on the circadian patterns of melatonin secretion,
a chronobiological rhythm marker. *J Pineal Res* 1999; 27: 237-242.
- 241 de Seze R, Fabbro-Peray P, Miro L. GSM radiocellular telephones do not disturb
the secretion of antepituitary hormones in humans. *Bioelectromagnetics* 1998;
19: 271-278.
- 242 Koyu A, Cesur G, Ozguner F, Akdogan M, Mollaoglu H, Ozen S. Effects of 900
MHz electromagnetic field on TSH and thyroid hormones in rats. *Toxicol Lett*
2005; 157: 257-262.
- 243 Stagg RB, Hawel LH III, Pastorian K, Cain C, Adey WR, Byus CV. Effect of im-
mobilization and concurrent exposure to a pulse-modulated microwave field on
core body temperature, plasma ACTH and corticosteroid, and brain ornithine
decarboxylase, Fos and Jun mRNA. *Radiat Res* 2001; 155: 584-592.
- 244 Wang C, Crapo LM. The epidemiology of thyroid disease and implications for
screening. *Endocrinol Metab Clin North Am* 1997; 26: 189-218.
- 245 Derias M, Stefanis P, Drakeley A, Gazvani R, Lewis-Jones DI. Growing concern
over the safety of using mobile phones and male fertility. *Arch Androl* 2006;
52: 9-14.
- 246 Setchell BP. Heat and the testis. *J Reprod Fertil* 1998; 114: 179-194.
- 247 Saunders RD, Kowalczyk CI. Effects of 2.45 GHz microwave radiation and heat
on mouse spermatogenic epithelium. *Int J Radiat Biol* 1981; 40: 623-632.

- 248 Grajewski B, Cox C, Schrader SM, Murray WE, Edwards RM, Turner TW et al. Semen quality and hormone levels among radiofrequency operators. *J Occup Environ Med* 2000; 42: 993-1005.
- 249 Fejes I, Závaczki Z, Szöllösi J, Koloszár S, Daru J, Kovács L et al. Is there a relationship between cell phone use and semen quality? *Arch Androl* 2005; 51: 385-393.
- 250 Erogul O, Oztas E, Yildirim I, Kir T, Aydur E, Komesli G et al. Effects of electromagnetic radiation from a cellular phone on human sperm motility: an in vitro study. *Arch Med Res* 2006; 37: 840-843.
- 251 Dasdag S, Ketani MA, Akdag Z, Ersay AR, Sari I, Demirtas OC et al. Whole-body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function in rats. *Urol Res* 1999; 27: 219-223.
- 252 Dasdag S, Zulkuf Akdag M, Aksen F, Yilmaz F, Bashan M, Mutlu Dasdag M et al. Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cell phone does not affect the testes. *Bioelectromagnetics* 2003; 24: 182-188.
- 253 Forgacs Z, Kubinyi G, Sinay G, Bakos J, Hudak A, Surjan A et al. Effects of 1800 MHz GSM-like exposure on the gonadal function and hematological parameters of male mice. *Magy Onkol* 2005; 49: 149-151.
- 254 Ozguner M, Koyu A, Cesur G, Ural M, Ozguner f, Gokcimen A, Delibas N. Biological and morphological effects on the reproductive organ of rats after exposure to electromagnetic field. *Saudi Med J* 26: 405-410, 2005.
- 255 Panagopoulos DJ, Chavdoula ED, Nezis IP, Margaritis LH. Cell death induced by GSM 900 MHz and DCS 1800-MHz mobile telephony radiation. *Mutat Res* 2007; 626: 69-78.
- 256 Oral B, Guney M, Ozguner F, Karahan N, Mungan T, Comlekci S et al. Endometrial apoptosis induced by a 900-MHz mobile phone: Preventive effects of vitamins E and C. *Adv Ther* 2006; 23: 957-963.
- 257 Ferreira AR, Knakievicz T, de Bittencourt Pasquali MA, Gelain DP, Dal-Pizzol F, Rodríguez Fernández CE et al. Ultra high frequency-electromagnetic field irradiation during pregnancy leads to an increase in erythrocytes micronuclei incidence in rat offspring. *Life Sci* 2006; 80: 43-50.
- 258 Joubert V, Leveque P, Cueille M, Bouthoumieu S, Yardin C. No apoptosis is induced in rat cortical neurons exposed to GSM phone fields. *Bioelectromagnetics* 2007; 28: 115-121.
- 259 Trosic I, Busjleta I, Kasuba V, Rozgaj R. Micronucleus induction after whole-body microwave irradiation of rats. *Mutat Res* 2002; 26: 73-79.
- 260 Busjleta I, Trosic I, Milkovic-Kraus S. Erythropoietic changes in rats after 2.45 GHz nonthermal radiation. *Int J Hyg Environ Health* 2004; 207: 549-554.
- 261 Trosic I, Busjleta I, Modlic B. Investigation of the genotoxic effect of microwave irradiation in rat bone marrow cells: in vivo exposure. *Mutagenesis* 2004; 19: 361-364.
- 262 Trosic I, Busjleta I. Erythropoietic dynamic equilibrium in rats maintained after microwave irradiation. *Exp Toxicol Pathol* 2006; 57: 247-251.
- 263 Trosic I, Busjleta I, Pavicic I. Blood-forming system in rats after whole-body microwave exposure; reference to the lymphocytes. *Toxicol Lett* 2004; 154: 125-132.
- 264 Ozguner F, Aydin G, Mollaoglu H, Gokalp O, Koyu A, Cesur G. Prevention of mobile phone induced skin tissue changes by melatonin in rat: an experimental study. *Toxicol Ind Health* 2004; 20: 133-139.
- 265 Masuda H, Sánchez S, Dulou PE, Haro E, Anane R, Billaudel B et al. Effect of GSM-900 and -1800 signals on the skin of hairless rats. I: 2-hour acute exposures. *Int J Radiat Biol* 2006; 82: 669-674.

- 266 Sánchez S, Masuda H, Billaudel B, Haro E, Anane R, Leveque P et al. Effect of GSM-900 and -1800 signals on the skin of hairless rats. II: 12-week chronic exposures. *Int J Radiat Biol* 2006; 82: 675-680.
- 267 Lixia S, Yao K, Kaijun W, Deqiang L, Huajun H, Xiangwei G et al. Effects of 1.8 GHz radiofrequency field on DNA damage and expression of heat shock protein 70 in human lens epithelial cells. *Mutat Res* 2006; 602: 135-142.
- 268 Caraglia M, Marra M, Mancinelli F, D'Ambrosio G, Massa R, Giordano A et al. Electromagnetic fields at mobile phone frequency induce apoptosis and inactivation of the multichaperone complex in human epidermoid cancer cells. *J Cell Physiol* 2005; 204: 539-548.
- 269 Paredi P, Khatitonov SA, Hanazawa T, Barnes PJ. Local vasodilator response to mobile phones. *Laryngoscope* 2001; 111: 159-162.
- 270 Yariktas M, Doner F, Ozguner F, Gokalp O, Dogru H, Delibas N. Nitric oxide level in the nasal and sinus mucosa after exposure to electromagnetic field. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2005; 132: 713-716.
- 271 Straume A, Oftedal G, Johnsson A. Skin temperature increase caused by a mobile phone: a methodological infrared camera study. *Bioelectromagnetics* 2005; 26: 510-519.
- 272 Anderson V, Rowley J. Measurements of skin surface temperature during mobile phone use. *Bioelectromagnetics* 2007; 28: 159-162.
- 273 Favier A. Stress oxidant et pathologies humaines. *Ann Pharm Fr* 2006; 64: 390-396.
- 274 Moustafa YM, Moustafa RM, Belacy A, Abou-El-Ela SH, Ali FM. Effects of acute exposure to the radiofrequency fields of cellular phones on plasma lipid peroxide and antioxidase activities in human erythrocytes. *J Pharm Biomed Anal* 2001; 26: 605-608.
- 275 Yurekli AI, Ozkan M, Kalkan T, Saybasili H, Tuncel H, Atukeren P et al. GSM base station electromagnetic radiation and oxidative stress in rats. *Electromagn Biol Med* 2006; 25: 177-188.
- 276 Ayata A, Mollaoglu H, Yilmaz HR, Akturk O, Ozguner F, Altuntas I. Oxidative stress-mediated skin damage in an experimental mobile phone model can be prevented by melatonin. *J Dermatol* 2004; 31: 878-883.
- 277 Ilhan A, Gurel A, Armutcu F, Kamisli S, Iraz M, Akyol O et al. Ginkgo biloba prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain. *Clin Chim Acta* 2004; 340: 153-162.
- 278 Ozguner F, Bardak Y, Conlecki S. Protective effects of melatonin and caffeic acid phenethyl ester against retinal oxidative stress in long-term use of mobile phone: a comparative study. *Mol Cell Biochem* 2006; 282: 83-88.
- 279 Ozguner F, Altinbas A, Ozaydin M, Dogan A, Vural H, Kisioglu AN et al. Mobile phone-induced myocardial oxidative stress: protection by a novel antioxidant caffeic acid phenethyl ester. *Toxicol Ind Health* 2005; 21: 223-230.
- 280 Oktem F, Ozguner F, Mollaoglu H, Koyu A, Uz E. Oxidative damage in the kidney induced by 900-MHz-emitted mobile phone: protection by melatonin. *Arch Med Res* 2005; 36: 350-355.
- 281 Yildiz M, Cicek E, Cerci SS, Oral B, Koyu A. Influence of electromagnetic fields and protective effect of CAPE on bone mineral density in rats. *Arch Med Res* 2006; 37: 818-821.
- 282 Ozguner F, Oktem F, Armagan A, Yilmaz R, Koyu A, Demirel R et al. Comparative analysis of the protective effects of melatonin and caffeic acid phenethyl ester (CAPE) on mobile phone-induced renal impairment in rat. *Mol Cell Biochem* 2005; 276: 31-37.
- 283 Dasdag S, Akdag MZ, Aksen F, Bashan M, Buyukbayram H. Does 900 MHz GSM mobile phone exposure affect rat brain? *Electromagn Biol Med* 2004; 23: 201-

- 284 Irmak MK, Fadillioglu E, Gulec M, Erdogan H, yagmurca M, Akyol O. Effects of electromagnetic radiation from a cellular telephone on the oxidant and antioxidant levels in rabbits. *Cell Biochem Funct* 2002; 20: 279-283.
- 285 Ferreira AR, Bonatto F, de Bittencourt Pasquali MA, Polydoro M, Dal-Pizzol F et al. Oxidative stress effects on the central nervous system of rats after acute exposure to ultra high frequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 487-493.
- 286 Hook GJ, Spitz DR, Sim JE, Higashikubo R, Baty JD, Moros EG et al. Evaluation of parameters of oxidative stress after in vitro exposure to FMCW- and CDMA-modulated radiofrequency radiation fields. *Radiat Res* 2004; 162: 497-504.
- 287 Hocking B, Westerman R. Neurological effects of radiofrequency radiation. *Occup Med* 2003; 53: 123-127.
- 288 Westerman R, Hocking B. Diseases of modern living: neurological changes associated with mobile phones and radiofrequency radiation in humans. *Neurosci Lett* 2004; 361: 13-16.
- 289 Chia SE, Chia HP, Tan JS. Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: A community study. *Environ Health Persp* 2000; 108: 1059-1062.
- 290 Santini R, Seigne M, Bonhomme-Faivre L, Bouffet S, Defrasne E, Sage M. Symptômes rapportés par des utilisateurs de téléphones mobiles cellulaires. *Pathol Biol (Paris)* 2001; 49: 222-226.
- 291 Rööslü M, Moser M, Baldinini Y, Meier M, Braun-Fahrlander C. Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure - a questionnaire survey. *Int J Hyg Environ Health* 2004; 207: 141-150.
- 292 Balikci K, Ozcan IC, Turgut-Balik D, Balik HH. A survey study on some neurological problems and sensations experienced by long term users of mobile phones. *Pathol Biol (Paris)* 2005; 53: 30-34.
- 293 Sandström M, Wilén J, Oftedal G, Mild KH. Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms experienced by users of analogue and digital mobile phones. *Occup Med* 2001; 51: 25-35.
- 294 Wilén J, Sandström M, Mild KH. Subjective symptoms among mobile phone users - a consequence of absorption of radiofrequency fields? *Bioelectromagnetics* 2003; 24: 152-159.
- 295 Koivisto M, Haarala C, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H. GSM phone signal does not produce subjective symptoms. *Bioelectromagnetics* 2001; 22: 212-215.
- 296 Levallois P. Hypersensitivity of human subjects to environmental electric and magnetic field exposure: A review of the literature. *Environ Health Persp* 2002; 110 (Suppl 4): 613-618.
- 297 European Group of Experts for the European Commission. Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields. Solna: National Institute for Working Life, 1997.
- 298 Hillert L, Berglind N, Arnetz BB, Bellander T. Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey. *Scand J Work Environ Health* 2002; 28: 33-41.
- 299 Schreier N, Huss A, Rööslü M. The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: A cross-sectional representative survey in Switzerland. *Soz Präventiv Med* 2006; 51: 202-209.
- 300 Hillert L, Hedman BK, Soderman E, Arnetz BB. Hypersensitivity to electricity: working definition and further characterization of the syndrome. *J Psychosom Res* 1999; 47: 429-438.

- 301 World Health Organization. Electromagnetic fields and public health: Electro-
magnetic sensitivity. Fact Sheet # 296, December 2005 (se encuentra en:
www.who.int/mediacentre/factsheets/fs296/en/).
- 302 Leitgeb N, Schrottner J. Electrosensitivity and electromagnetic hypersensitivity.
Bioelectromagnetics 2003; 24: 387-394.
- 303 Hillert L, Flato S, Georgellis A, Arnetz BB, Kolmodin-Hedman B. Environmental
illness: fatigue and cholinesterase activity in patients reporting hypersensitivity
to electricity. Environ Res 2001; 85: 200-206.
- 304 Lyskov E, Sandström M, Mild KH. Neurophysiological study of patients with
perceived 'electrical hypersensitivity'. Int J Psychophysiol 2001; 42: 233-241.
- 305 Sandström M, Lyskov E, Hörnsten R, Mild KH, Wiklund U, Rask P et al. Holter
ECG monitoring in patients with perceived electrical hypersensitivity. Int J Psy-
chophysiol 2003; 49: 227-235.
- 306 Seitz H, Stinner D, Eikmann T, Herr C, Rösli M. Electromagnetic hypersensitiv-
ity (EHS) and subjective health complaints associated with electromagnetic
fields of mobile phone communication - a literature review published between
2000 and 2004. Sci Total Environ 2005; 349: 45-55.
- 307 Rubin GJ, Munshi JD, Wessely S. Electromagnetic hypersensitivity: A systematic
review of provocation studies. Psychosom Med 2005; 67: 224-232.
- 308 Rubin GJ, Munshi JD, Wessely S. A systematic review of treatments for elec-
tromagnetic hypersensitivity. Psychother Psychosom 2006; 75: 12-18.
- 309 Frick U, Kharraz A, Hauser S, Wiegand R, Rehm J, von Kovatsis U et al. Com-
parison perception of singular transcranial magnetic stimuli by subjectively
electrosensitive subjects and general population controls. Bioelectromagnetics
2005; 26: 287-298.
- 310 Frick U, Landgrebe M, Hauser S, Hajak G, Eichhammer P. Perceptive and motor
response thresholds during singled pulse transcranial magnetic stimulation of
subjectively electrosensitive subjects as compared to controls - a replication
study. 4th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic
Fields, Creta, 16-20 October 2006.
- 311 Rubin GJ, Hahn G, Everitt BS, Cleare AJ, Wessely S. Are some people sensitive
to mobile phone signals? Within participants double blind randomized provoca-
tion study. BMJ 2006; 332: 886-891.
- 312 Siegrist M, Keller C, Cousin ME. Implicit attitudes toward nuclear power and
mobile phone base stations: support for the affect heuristic. Risk Anal 2006;
26: 1021-1029.
- 313 Hutter HP, Moshammer H, Wallner P, Kundi M. Public perception of risk con-
cerning celltowers and móviles phones. Soz Präventivmed 2004; 49: 62-66.
- 314 Moulder JE. Antenas de telefonía celular (Estaciones de base de telefonía mó-
vil) y salud humana. Publicación electrónica 1 Junio 2001 (se encuentra en
www.arp-sapc.org/articulos/antenas2.htm).
- 315 Mann SM, Cooper TG, Allen SG, Blackwell RP, Lowe AJ. Exposure to radio wa-
ves near mobile phone base stations. Chilton Didcot (Oxford): National Radio-
logical Protection Board, Report NRPB-R321, 2000 (se encuentra en
www.hpa.org.uk/radiation/publications/archive/reports/2000/nrpb_r321.pdf).
- 316 Dale C, Wiart J. Exposure comparison between a mobile phone and a base sta-
tion at 900 MHz, 1800 MHz and 2100 MHz. The Bioelectromagnetics Society
26th Annual Meeting, Washington DC, 20-24 June 2004 (se encuentra en
www.bioelectromagnetics.org/bems2004/bems2004-abstracts.pdf).
- 317 Regel SJ, Negovetic S, Rösli M, Berdiñas V, Schuderer J, Huss A et al. UMTS
casestation-like exposure, well-being, and cognitive performance. Environ
Health Persp 2006; 114: 1270-1275.
- 318 Anglesio L, Benedetto A, Bonino A, Colla D, Martire F, Saudino-Fusette S et al.

- . Population exposure to electromagnetic fields generated by radio base stations: evaluation of the urban background by using provisional model and instrumental measurements. *Radiat Prot Dosimetry* 2001; 97: 355-358.
- 319 Neubauer G, Feychting M, Hamnerius Y, Kheifets L, Kuster N, Ruiz I et al. Feasibility of future epidemiological studies on possible health effects of mobile phone base stations. *Bioelectromagnetics* 2007; Online publication ahead of print (se encuentra en www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/113448948.pdf).
- 320 Wolf R, Wolf D. Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. *Int J Cancer Prev* 2004; 1: 23-28.
- 321 Santini R, Santini P, Danze JM, Le Ruz P, Seigne M. Enquête sur la santé de riverains de stations relais de téléphonie mobile: I/ Incidences de la distance et du sexe. *Pathol Biol (Paris)* 2002; 50: 369-373.
- 322 Santini R, Santini P, Danze JM, Le Ruz P, Seigne M. Enquête sur la santé de riverains de stations relais de téléphonie mobile: II/ Incidences de l'âge des sujets, de la durée de leur exposition et de leur position par rapport aux antennes et autres sources électromagnétiques. *Pathol Biol (Paris)* 2003; 51: 412-415.
- 323 Abdel-Rassoul G, El-Fateh OA, Salem MA, Michael A, Farahat F, El-Batanouny M et al. Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *Neurotoxicology* 2006. Online publication ahead of print 1 August 2006 (se encuentra en www.sciencedirect.com/science/journal/0161813X).
- 324 Preece AW, Georgiou AG, Dunn EJ, Farrow S. Health response of two communities to military antennae in Cyprus. *Occup Environ Health* 2007. Online publication ahead of print 25 January 2007 (
- 325 Navarro EA, Segura J, Portolés M, Gómez-Perreta de Mateo C. The microwave syndrome: A preliminary study in Spain. *Electromagn Biol Med* 2003; 22: 161-169.
- 326 Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Kundi M. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occup Environ Med* 2006; 63: 307-313.
- 327 Zwamborn APM, Vossen SHJA, van Leersum BJAM, Ouwens MA, Mäkel WN. Effects of Global Communication system radio-frequency fields on well being and cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. TNO Report FEL-03-C148. The Hague: TNO - Netherlands Organization for Applied Scientific Research, Physics and Electronics Laboratory, 2003 (se encuentra en home.tiscali.be/milieugezondheid/dossiers/gsm/TNO_rapport_Nederland_sept_2003.pdf).
- 328 Wiart J, Hadjem A, Gadi N, Bloch I, Wong MF, Pradier A et al. Modeling of RF head exposure in children. *Bioelectromagnetics* 2005; 26 (Suppl 7): S19-30.
- 329 Schüz J. Mobile phone use and exposures in children. *Bioelectromagnetics* 26 (Suppl 7): S45-S50.
- 330 Kheifets L, Repacholi M, Saunders R, van Deventer E. The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics* 2005; 116: e303-e312.
- 331 Huss A, Rössli M. Consultations in primary care for symptoms attributed to electromagnetic fields - a survey among general practitioners. *BMC Publ Health* 2006; 6: 267 (se encuentra en www.biomedcentral.com/1471-2458/6/267).
- 332 Leigeb N, Schröttner J, Böhm M. Does "electromagnetic pollution" cause illness? An inquiry among Austrian general practitioners. *Wien Med Wochenschr* 2005; 155: 237-241.
- 333 Clifford KJ, Joyner KH, Stroud DB, Word M, Ward B, Fernández CH. Mobile telephones interfere with medical electrical equipment. *Australas Phys Eng Sci*

- Med 1994; 17: 23-27.
- 334 Barbaro V, Bartolini P, Donato A, Militello C, Altamura G, Ammirati F et al. Do European GSM mobile cellular phones pose a potential risk to pacemaker patients? *Pacing Clin Electrophysiol* 1995; 18: 1218-1224.
- 335 Hayes DL, Wang PJ, Reynolds DW, Estes M III, Griffith JL, Steffens RA et al. Interference with cardiac pacemakers by cellular telephones. *N Engl J Med* 1997; 336: 1473-1479, 1997.
- 336 Francis J, Niehaus M. Interference between cellular telephones and implantable rhythm devices: A review of recent papers. *Ind Pacing Electrophysiol J* 2006; 6: 226-233.
- 337 Calcagnini G, Censi F, Floris M, Pignalberi C, Ricci R, Biancalana G et al. Evaluation of electromagnetic interference from GCM mobile phones with pacemakers featuring remote monitoring functions. *PACE* 2006; 29: 380-385.
- 338 Tandogan I, Ozin B, Bozbas H, Turhan S, Ozdemir R, Yetkin E et al. Effects of mobile telephones on the function of implantable cardioverter defibrillators. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2005; 10: 409-413.
- 339 Trigano A, Blandeau O, Dale C, Wong MF, Wiart J. Clinical testing of cellular phone ringing interference with automated external cardiac defibrillators. *Resuscitation* 2006; 71: 391-394.,
- 340 Tri JL, Hayes DL, Smith TT, Severson RP. Cellular phone interference with external cardiopulmonary monitoring devices. *Mayo Clin Proc* 2001; 76: 11-15.
- 341 Tri JL, Severson RP, Firl AR, Hayes DL, Abenstein JP. Cellular telephone interference with medical equipment. *Mayo Clin Proc* 2005; 80: 1286-1290.
- 342 Trigano A, Blandeau O, Dale C, Wong MF, Wiart J. Risk of cellular phone interference with an implantable loop recorder. *Int J Cardiol* 2007; 116: 126-130.
- 343 Lawrentschuk N, Bolton DM. Mobile phone interference with medical equipment and its clinical relevance: a systematic review. *Med J Austral* 2004; 181: 145-149.
- 344 Wallin MKEB, Marve T, Hakansson PK. Modern wireless telecommunication technologies and their electromagnetic compatibility with life-supporting equipment. *Anest Analg* 2005; 101: 1393-1400.
- 345 Ang GS, Lian P, Ng WS, Whyte I, Ong JM. Digital mobile telephones and interference with ophthalmic equipment. *Eye* 2007; 21: 29-32.
- 346 Calcagnini G, Floris M, Censi F, Cianfanelli P, Scavino G, Bartolini P. Electromagnetic interference with infusion pumps from mobile phones. *Health Phys* 2006; 90: 357-360.
- 347 Lapinsky SE, Easty AC. Electromagnetic interference in critical care. *J Crit Care* 2006; 21: 267-270.
- 348 US Food and Drug Administration. Electromagnetic compatibility - FDA/CDRH recommendations for EMC/EMI in healthcare facilities. Updated 2 October 2002 (se encuentra en www.fda.org/cdrh/emc/emc-in-hcf.html).
- 349 Stroud DB, Huang Y, Hansen L, McKenzie R. Walkie talkies cause more electromagnetic interference than mobile phones. *Australas Phys Eng Sci Med* 2006; 29: 315-320.
- 350 Medicine and Healthcare products Regulatory Agency. Mobile communications interference. July 2004; updated 2005 (se encuentra en: www.mhra.gov.uk).
- 351 International Organization for Standardization. Health Informatics - Use of mobile wireless communications and computing technology in healthcare facilities - Recommendations for electromagnetic compatibility (management of unintentional electromagnetic interference) with medical devices, 2nd Ed. ISO TR 21730. Geneva: International Organization for Standardization, 2007.
- 352 Irnich WE, Tobisch R. Mobile phones in hospitals. *Biomed Instrum Technol*

- . 1999; 33: 28-34.
- 353 Boyle J. Wireless technologies and patient safety in hospitals. *Telemed Health* 2006; 12: 373-382.
- 354 Ettelt S, Nolte E, McKee M, Haugen OA, Karlberg I, Klazinga N et al. Evidence-based policy? The use of mobile phones in the hospital. *J Publ Health* 2006; 28: 299-303.
- 355 Kyriacou E, Pavlopoulos S, Berler A, Neophytou M, Bourka A, Georgoulas A et al. Multi-purpose healthcare telemedicine systems with mobile communication link support. *Biomed Eng Online* 2003; 2:7 (se encuentra en www.biomedical-engineering-online.com/content/2/1/7).
- 356 Wireless Hospital. Healthcare process management supported by wireless technology, 2007 (se encuentra en www.wilho.net).
- 357 Soto RG, Chu LF, Goldman JM, Rampil IJ, Ruskin KJ. Communication in critical care environments: Mobile phones improve patient care. *Anesth Analg* 2006; 102: 535-541.
- 358 Imhoff M. Everybody on the phone? (Editorial). *Anesth Analg* 2006; 102: 533-534.
- 359 Klein AA, Djaiani GN. Mobile phones in the hospital - past, present and future. *Anaesthesia* 2003; 58: 353-357.
- 360 Taylor DM, Bennett DM, Carter M, Garewal D. Mobile telephone use among Melbourne drivers: a preventable exposure to injury risk. *Med J Aust* 2003; 179: 140-142.
- 361 Eby DW, Vivoda JM, St Louis RM. Driver hand-held cellular phone use: A four-year analysis. *J Saf Res* 2006; 37 : 261-265.
- 362 Bedford D, O'Farrell A, Downey J, McKeown N, Howell F. The use of hand held mobile phones by drivers. *Ir Med J* 2005; 98: 248.
- 363 Anónimo. Los celulares en el automóvil. *Revista Luchemos por la Vida* 4 (9) (se encuentra en www.luchemos.org.ar/espa/rev9/rev9p04.htm).
- 364 Gras ME, Cunill M, Sullman MJ, Planes M, Aymerich M, Font-Mayolas S. Mobile phone use while driving in a sample of Spanish university workers. *Accid Anal Prev* 2007; 39: 347-355.
- 365 Troglauer T, Hels T, Christens PF. Extent and variations in mobile phone use among drivers of heavy vehicles in Denmark. *Accid Anal Prev* 2006; 38: 105-111.
- 366 Maler M, Blakemore C, Koivisto M. The health hazards of mobile phones: The only established risk is of using one while driving (Editorial). *BMJ* 2000; 320: 1288-1289.
- 367 Brookhuis KA, DeVries G, de Waard D. The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accid Anal Prev* 1991; 23: 309-316.
- 368 Violanti JM, Marshall JR. Cellular phones and traffic accidents: an epidemiologic approach. *Accid Anal Prev* 1995; 28: 265-270.
- 369 Redelmeier DA, Tibshirani RJ. Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collision. *N Eng J Med* 1997; 336: 453-558.
- 370 McEvoy SP, Stevenson MR, McCartt AT, Woodward M, Haworth C, Palamara P et al. Role of mobile phones in motor vehicle crashes resulting in hospital attendance: a case-crossover study. *BMJ* 2005; 331: 428 (BMJ, doi:10.1136/bmj.38537.397512.55, published online 12 July 2005).
- 371 McEvoy SP, Stevenson MR, Woodward M. Phone use and crashes while driving: a representative survey of drivers in two Australian states. *Med J Aust* 2006; 185: 630-634.
- 372 Walker L, Williams J, Jamrozik K. Unsafe behaviour and four wheel drive vehicles: observational study. *BMJ* 2006; 33:71 (BMJ,

doi:10.1136/bmj.38848.627731.2F, published online 23 June 2006).

- 373 Hancock PA, Lesch M, Simmons L. The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver. *Accid Anal Prev* 2003; 35: 501-514.
- 374 Rakauskas ME, Gugerty LJ, Ward NJ. Effects of naturalistic cell phone conversations on driving performance. *J Safety Res* 2004; 35: 453-464.
- 375 McCarley JS, Vais MJ, Pringle H, Kramer AF, Irwin DE, Strayer DL. Conversation disrupts change detection in complex scenes. *Hum Factors* 2004; 46: 424-436.
- 376 Barkana Y, Zadok D, Morad Y, Avni I. Visual field attention is reduced by concomitant hands-free conversation on a cellular telephone. *Am J Ophthalmol* 2004; 138: 347-353.
- 377 Langer P, Holzner B, Magnet N, Kopp M. Hands-free mobile phone conversation impairs the peripheral visual system to an extent comparable to an alcohol level of 4-5 g 100 ml. *Hum Psychopharmacol* 2005; 20: 65-66.
- 378 Strayer DL, Drews FA. Profiles in driver distraction: effects of cell phone conversations on younger and older drivers. *Hum Factors* 2004; 46: 640-649.
- 379 Consiglio W, Driscoll P, Witte M, Berg WP. Effect of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response. *Accid Anal Prev* 2003; 35: 495-500.
- 380 Beede KE, Kass SJ. Engrossed in conversation: The impact of cell phones on simulated driving performance. *Accid Anal Prev* 2006; 38: 415-421.
- 381 Horrey WJ, Wickens CD. Examining the impact of cell phone conversations on driving using meta-analytic techniques. *Hum Factors* 2006; 48: 196-205.
- 382 Hatfield J, Murphy S. The effects of mobile phone use on pedestrian crossing behaviour at signalized and unsignalised intersections. *Accid Anal Prev* 2007; 39: 197-205.
- 383 McCartt AT, Hellinga LA, Braitman KA. Cell phones and driving: Review of research. *Traffic Injury Prev* 2006; 7: 89-106.
- 384 Melmed G. A dangerous mix: using cellular phones in moving vehicles. *Proc Baylor Univ Med Cent* 2007; 20: 75-76.
- 385 Regan M. Preventing traffic accidents by mobile phone users (Editorial). *Med J Aust* 2006; 185: 628-629.
- 386 World Health Organization. Electromagnetic fields (EMF) (se encuentra en www.who.int/peh-emf/en/).
- 387 Morrissey JJ. Radio frequency exposure in mobile phone users: Implications for exposure assessment in epidemiological studies. *Radiat Protect Dosim* 2007; Online publication ahead of print 9 January 2007.
- 388 Auvinen A, Toivo T, Tokola K. Epidemiological risk assessment of mobile phones and cancer: where can we improve? *Eur J Cancer Prev* 2006; 15: 516-523.
- 389 Huss A, Egger M, Hug K, Huwiler-Müntener K, Rösli M. Source of funding and results of studies of health effects of mobile phone use: Systematic review of experimental studies. *Environ Health Persp* 2007; 115: 1-4.
- 390 Dendy PP. Mobile phones and the illusory pursuit of safety. *Lancet* 2000; 356: 1782.