

Los teléfonos móviles y la salud: especulaciones y hechos comprobados

*Herbert Israel Cardona**

Guillermo Isaac Medrano

Oscar Durán Vizcarra

Resumen

La telefonía móvil es un servicio que en forma reciente ha crecido en el número de usuarios, tanto en El Salvador como en el resto del mundo. Este fenómeno enfoca la atención en los posibles efectos que esta nueva tecnología pueda tener en la salud humana, y surgen preguntas como ¿puede producir la telefonía móvil efectos dañinos para el organismo? La respuesta a este tipo de interrogantes se vuelve cada día más necesaria, ya sea por el contenido de la pregunta o por el número de personas que eventualmente podrían resultar afectadas.

Este es el primer artículo de una serie en los que se comentan algunos estudios sobre los posibles efectos de la exposición a campos electromagnéticos sobre la salud humana. Siendo el primero, se hace una reseña de los estudios acerca del tema y se definen algunos de los aspectos claves que serán discutidos con mayor propiedad en futuras entregas.

1. La radiación electromagnética

La radiación electromagnética se puede definir como la transmisión de energía electromagnética a través del espacio o la materia. Existen tres formas diferentes de analizarla, cada una relacionada a su comportamiento, éstas son: como rayo, como onda y como partícula.

Al ser analizada como onda, la relación de ciertos parámetros importantes, para el objetivo del presente documento, pueden expresarse a través de la siguiente ecuación:

$$c = \lambda f \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:

c es la velocidad con la cual la energía es transportada por la onda. Expresada en metros por segundo (m/s).

λ es la longitud de onda, o distancia entre picos sucesivos en la onda, y se expresa generalmente en centímetros o metros.

f es la frecuencia o números de ciclos por segundo de la onda. Su unidad de medida son los Hertz (Hz) o ciclos por segundo.

Al analizarla como partícula, la relación de ciertos parámetros importantes para el objetivo del presente documento, pueden expresarse mediante:

$$E = hf \quad (\text{Ec. 2})$$

donde:

E es la energía de la partícula de radiación electromagnética (llamada también fotón). La energía puede ser expresada en ergios.

h es un factor de conversión llamado constante de Planck ($6.625 \times 10^{-34} \text{Js}^{-1}$).

f es la frecuencia de la onda asociada (Hz).

La naturaleza de la interacción entre una emisión electromagnética y el material biológico depende de la frecuencia de la emisión, por

* Herbert Cardona, ingeniero en electrónica, docente de la escuela de ingeniería electrónica de la Universidad Don Bosco. E-mail: hisrael@citt.cdb.edu.sv

Guillermo Medrano, ingeniero biomédico, docente de las escuelas de ingeniería biomédica y electrónica de la Universidad Don Bosco. E-mail: medrano@citt.cdb.edu.sv

Oscar Durán Vizcarra, ingeniero en electrónica, director y docente de la escuela de ingeniería electrónica de la Universidad Don Bosco. E-mail: duran.vizcarra@saltel.net

lo cual los diferentes tipos de emisiones electromagnéticas deben ser evaluadas de forma individual.

Los rayos X, luz ultravioleta, luz visible, campos eléctricos y magnéticos generados por los sistemas de energía eléctrica (campos de frecuencia industrial) y campos magnéticos

estáticos, son emisiones electromagnéticas diferentes, caracterizadas por su frecuencia o su longitud de onda. La clasificación de la radiación electromagnética de acuerdo a su longitud de onda y frecuencia pueden observarse en el espectro electromagnético que se muestra a continuación.

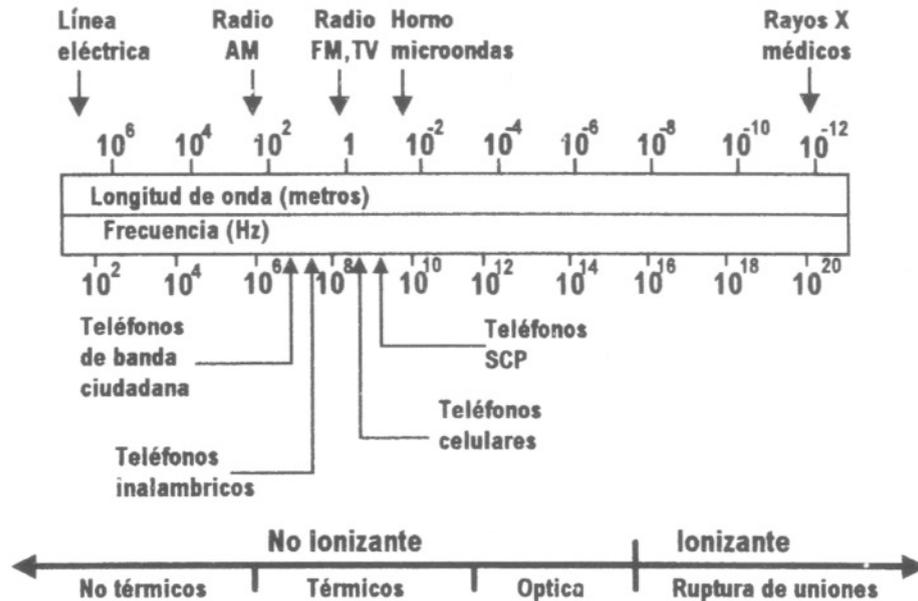


Figura 1. Espectro de frecuencias para la radiación electromagnética

Como puede observarse, la frecuencia y la longitud de onda están relacionadas a través de una proporcionalidad inversa. Los campos de frecuencia industrial son de 50 ó 60 Hz y tienen una longitud de onda de unos 5.000 km. Por el contrario, los hornos de microondas tienen una frecuencia de 2.54×10^9 Hz y una longitud de onda de unos 10 cm, y los rayos X tienen frecuencias de 10^{15} Hz y longitudes de onda mucho menores de 100 nm. Los campos estáticos, o campos de corriente continua (CD), no varían regularmente con el tiempo, y se puede decir que tienen una frecuencia de 0 Hz y una longitud de onda infinita.

2. Respuesta del tejido ante la presencia de radiofrecuencias en general

Como se indicó antes, la interacción del material biológico con una emisión electromagnética depende de la frecuencia de la emisión. Como se mencionó anteriormente, algunas ve-

ces el comportamiento de la energía electromagnética es en forma de partículas más que como ondas, lo cual es particularmente cierto para altas frecuencias.

La naturaleza de estas partículas electromagnéticas es importante, ya que es la energía por partícula (o fotón, como se denominan estas partículas) la que determina qué efectos biológicos producirá la energía electromagnética.

A frecuencias muy altas, características del ultravioleta lejano y los rayos X, las partículas electromagnéticas (fotones) tienen suficiente energía para romper los enlaces químicos. Esta ruptura de los enlaces es conocida como "ionización", y a esa parte del espectro electromagnético se le denomina "ionizante". Los efectos biológicos bien conocidos de los rayos X están asociados con la ionización de las moléculas. A frecuencias más bajas, como las de la luz visible, radio y microondas, la energía de un

fotón está muy por debajo de la necesaria para romper enlaces químicos. Esta parte del espectro se conoce como "no ionizante". Como la energía electromagnética no ionizante no puede romper los enlaces químicos, no existe analogía entre los efectos biológicos de la energía electromagnética ionizante y no ionizante.

Las emisiones de energía electromagnética no ionizante también pueden producir efectos biológicos. Muchos de los efectos biológicos del ultravioleta cercano, luz visible e infrarrojo dependen también de la energía del fotón, pero están relacionados con la excitación electrónica más que con la ionización, y no se producen a frecuencias inferiores al infrarrojo (por debajo de 3×10^{11} Hz). Las radiofrecuencias y microondas pueden causar efectos en los tejidos, a través de la producción de calor en estos. La eficiencia con la que una emisión electromagnética puede inducir corrientes eléctricas, y por tanto generar calor, depende de la frecuencia de la emisión y del tamaño y la orientación del objeto que está siendo calentado. A frecuencias inferiores a las utilizadas por la radio en AM (alrededor de 10^6 Hz) las emisiones electromagnéticas se acoplan débilmente con los cuerpos humanos y de animales y, por lo tanto, son muy ineficientes para inducir corrientes eléctricas y generar calor.

De este modo, en términos de posibles efectos biológicos, el espectro electromagnético se puede dividir en cuatro partes:

- La parte ionizante, donde puede haber un daño químico directo (rayos X, ultravioleta lejano).
- La parte no ionizante, que puede subdividirse en:
 - √ La parte de la radiación óptica, donde puede darse la excitación del electrón (ultravioleta cercano, luz visible, infrarrojo).
 - √ La parte donde la longitud de onda es más pequeña que el cuerpo, y puede haber calentamiento a través de corrientes inducidas (microondas y ondas de radio de alta frecuencia).

√ La parte donde la longitud de onda es mucho mayor que el cuerpo, y el calentamiento por corrientes inducidas ocurre en raras ocasiones (ondas de radio de baja frecuencia, campos de frecuencia industrial y estáticos) [Moulder et al, *Campos electromagnéticos y salud humana*].

2.1. Posible mecanismo para los efectos biológicos

Para efectuar un cambio en el material biológico a través del cual está pasando una onda electromagnética, ésta debe depositar bastante energía para alterar significativamente alguna estructura. Pero toda partícula dentro del cuerpo tiene un promedio de energía cinética térmica (en joules, J) del orden de KT , donde K (1.38×10^{-23} J/K) es la constante de Boltzmann y T es la temperatura absoluta (en Kelvin, K). Estas partículas chocan continuamente con otras partículas de energía similar. Para que un cambio ocurra en el material biológico, la onda electromagnética aparentemente transferirá energía considerablemente arriba de KT para partículas seleccionadas. Para la temperatura del cuerpo humano 310^0 K (37^0 C), KT es 4.3×10^{-21} Joules. Otro parámetro de comparación es el enlace químico, porque es efectivo promocionando un cambio, el campo será capaz de depositar grandes paquetes de energía, entonces el enlace de energía y vínculos están típicamente dentro del orden de magnitud de un electrón-voltio (1.6×10^{-19} Joules). La energía transportada por un fotón electromagnético es precisamente hf (ecuación 2); así en el rango UHF (300 a 3000 MHz) la energía de un fotón ($< 2 \times 10^{-24}$ Joules) es menor que el 0.1 % tanto de KT (4×10^{-21} J), como de la energía del enlace (1.6×10^{-19} J).

En forma alternativa se podría imaginar que el material biológico será alterado por la traslación de una partícula cargada dentro de él. En materia condensada (así como el tejido), donde el movimiento del ión balístico no es posible, tal traslación es denominada colisión y

la velocidad de la partícula obedece a la ecuación de movilidad:

$$V = \text{sgn}(q)\mu E, \quad (\text{Ec. 3})$$

donde:

V es el vector de velocidad del ión m/seg, $\text{sgn}(q)$ es el signo de la carga iónica,

E es el vector del campo eléctrico en el dominio del tiempo en Volt/m, y

μ es la movilidad iónica en $\text{m}^2/\text{Volt} \times \text{seg}$. En una solución acuosa a temperatura del cuerpo, un ión no típico móvil, tal como el cloruro poseerá una movilidad del orden de solamente $1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/(\text{Vs})$. Aún para un campo extremadamente alto tal como 100 V/m, esto implica un desplazamiento neto (sobre un medio ciclo de un campo UHF aplicado) del orden de 10^{-14} m , una distancia comparable al diámetro de un núcleo atómico.

Ya que la energía del fotón dentro del rango UHF es menor tanto que KT , como de la energía del vínculo o lazo, algunos observadores argumentarían que allí es un pequeño prospecto de radiación UHF teniendo actividad biológica (dejar solo una secuela carcinogénica) para niveles de potencia subtérmica (Moulder et al, 2000).

2.2. Cuantificación de la energía absorbida

La intensidad de una radiación electromagnética en el rango de la radiofrecuencia está dada en mW/cm^2 . Esta característica proporciona poca información sobre las consecuencias biológicas, a menos que la cantidad de energía absorbida por el objeto irradiado sea conocida. Para cuantificar esta energía absorbida se utiliza el concepto de tasa de absorción específica (SAR), que es la proporción de energía absorbida por una unidad de masa (por ejemplo 1 Kg de tejido), expresada en Watts/Kg.

El ICNIRP¹ es una comisión independiente que aconseja a la OMS y gobiernos nacionales en el campo de emisiones de radiofrecuencia. Para secciones del cuerpo la exposición máxima

recomendada es de 2 mW/Kg, y para el cuerpo entero es 0.08 mW/Kg.

El valor de la SAR y la distribución de la energía de radiofrecuencia en un organismo dependen de muchos factores, que son:

- La composición del tejido irradiado.
- La capacidad de conducción (conductividad) del tejido irradiado.
- El tamaño del objeto comparado con la longitud de onda de la frecuencia radiada.
- La forma, geometría y orientación del objeto.
- La distancia entre objeto y fuente de radiación.

Estos aspectos hacen que la distribución de energía absorbida por un organismo irradiado sea sumamente compleja y no uniforme.

Otras situaciones que influyen en la salud de una persona ante las exposiciones de radiaciones de radiofrecuencia son:

- La intensidad y duración de la exposición actúan recíprocamente para producir un efecto, es decir que una frecuencia de baja intensidad y larga exposición, puede producir el mismo efecto que una exposición de alta intensidad y duración más corta.
- Los efectos de exposiciones repetidas son acumulativos.

A frecuencias diferentes se producen efectos diferentes.

La tasa de absorción específica es usada generalmente como la medida de dosis en experimentos de laboratorio; para tejidos biológicos típicos, este valor es expresado mediante la siguiente igualdad:

$$\text{SAR} = E_{\text{LOCAL}}^2 \cdot \frac{\sigma_{\text{ef}}}{\rho} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde:

E_{LOCAL} es el valor rms del campo en V/m en el organismo en el punto de interés;

σ_{ef} es la conductividad efectiva en Siemens/m;

ρ es la densidad de masa local en Kg/m^3 . (Moulder et al, 1999).

¹ Acrónimo en inglés de la Comisión Internacional sobre Radiación No Ionizante.

2.2.1 Formas de estimar la tasa de absorción específica

Existen varios métodos prácticos para estimar la tasa de absorción específica. Los principales son los siguientes (Moulder et al. 1991):

2.2.1.1 Microantenas

Pueden utilizarse pequeñas antenas para determinar el campo eléctrico en el tejido y si σ_{ef} es conocida, la tasa de absorción específica puede ser calculada usando la ecuación (4). Sin embargo, algunas veces este procedimiento puede resultar intimidante en cuanto a la posición donde se necesita colocar la antena, además la tecnología tiene todavía que desarrollar antenas utilizables con dimensiones submilimétricas como característica. Por otra parte, σ_{eff} podría no ser conocida para el tejido y frecuencia de interés.

2.2.1.2 Sondas térmicas miniatura

La radiación de radiofrecuencia causa el calentamiento del tejido, lo cual puede ser detectado y usado para deducir la tasa de absorción específica en la proximidad de una sonda de temperatura. En un medio con una tasa de absorción específica espacial homogénea:

$$\text{SAR} = C_p \cdot \frac{\delta T}{\delta t} \quad (\text{Ec. 5})$$

donde:

C_p es el calor específico para presión constante en $\text{J/Kg}^\circ\text{K}$, y

$\delta T/\delta t$ es el cambio en la temperatura del tejido en una unidad de tiempo.

En principio, la determinación de la tasa de absorción específica es tan simple como el encender la fuente de radiofrecuencia y medir el cambio de temperatura en función del tiempo. Desafortunadamente, la difusión del calor y una tasa de absorción específica espacialmente no uniforme puede, en el tiempo necesario para producir una variación de temperatura medible, llevar a confundir este cambio de temperatura con difusión térmica.

Además, las sondas de temperatura "no perturbables" disponibles actualmente son en realidad sólo "minimamente perturbables", y los prospectos técnicos de desarrollar un sistema de sonda que compara tejidos térmica y electromagnéticamente, parecen remotos.

2.2.1.3 Modelado numérico

Afortunadamente, el modelado matemático de cuerpos macroscópicos está bien desarrollado, y ofrece un camino alrededor de los obstáculos para la determinación experimental de la tasa de absorción específica. Teniendo un organismo y una geometría de radiación bien caracterizada, simulaciones en el dominio del tiempo de diferencias finitas (FDTD) pueden predecir la tasa de absorción específica. Las predicciones FDTD, funcionan cuando se prueban para geometrías dentro de las cuales pueden ser hechas mediciones de campo para una amplia gama de condiciones. Sin embargo, el modelado FDTD puede ser costoso y consumir tiempo.

2.3 Límites admisibles recomendados para la tasa de absorción específica

La significancia del límite de SAR local de 1.6 W/Kg en el estándar de IEEE/ANSI, y de las restricciones de tasa de absorción específica local similares de $2\text{-}4 \text{ W/Kg}$ en las pautas de la ICNIRP, pueden ser interpretados al notar que estos son aproximadamente iguales a la tasa metabólica en reposo del cuerpo humano completo, la cual es del orden de $1/8$ de la tasa metabólica del cerebro en reposo.

En Estados Unidos un teléfono celular típico tiene una potencia de salida promediada en tiempo de 600 mW o menos, la cual para el modelado del cerebro, da numéricamente como resultado una SAR que podría algunas veces exceder el límite del 1.6 W/Kg , pero que generalmente se halla dentro del límite ANSI/IEEE en ambiente controlado de 8 W/Kg promediado sobre 6 minutos. Estos 600 mW es menos que el 1% de la salida metabólica latente normal del cuerpo y dentro del 4% de la salida metabólica restante normal del cerebro. La in-

industria de las telecomunicaciones está interesada en reducir la tasa de absorción específica en el cerebro tanto como sea posible, lo cual podría lograrse disminuyendo el valor del campo (ecuación 4) a través de una menor exposición a la radiación. Esto no sólo con la finalidad de proteger contra cualquier consecuencia biológica posible, sino también para lograr una mayor meta de la ingeniería mundial: la energía depositada por la frecuencia de UHF en el cerebro agota la batería sin ningún beneficio en la comunicación, y la vida corta de la batería es la mayor queja del cliente.

3. ¿Qué ocurre con los teléfonos móviles?

El incremento en el uso de los teléfonos móviles es un fenómeno que está ocurriendo alrededor del mundo. A inicios de 1998 habían aproximadamente 50 millones de usuarios en Estados Unidos, y se espera se incremente a un mínimo de 200 millones para el año 2000 alrededor del mundo (Moulder et al, 1991).

En El Salvador, según datos de la SIGET, a finales de 1999 la cantidad de líneas de teléfonos celulares activas llegó a ser de 380,610, lo cual significó un aumento del 750% respecto al año de 1998 (SIGET, 2000).

Los teléfonos móviles son dispositivos de radio de bajo poder que transmiten y reciben radiación en el rango de las microondas (frecuencias entre 800-900 MHz y 1800-2200 MHz).

Los sistemas de telefonía móvil involucran comunicación entre los aparatos móviles y las estaciones fijas. Cada una de estas estaciones proporciona cobertura a un área (denominada célula). Estas células generalmente se piensan como hexágonos regulares. En la práctica la estructura depende de la accesibilidad del sitio y la topografía (NRPB, 1998).

3.1 Las especulaciones

Debido a que el teléfono es colocado de forma adyacente a la cabeza, lo cual la expone más a las radiaciones emitidas por éste, han proliferado especulaciones acerca de posibles

vinculaciones entre el uso del aparato en cuestión y la incidencia de ciertos padecimientos, entre los que figuran con mayor fuerza los siguientes:

- cáncer en el cerebro
- pérdida de memoria a corto plazo
- confusión repentina
- dolores de cabeza
- aumento de la presión arterial
- fatiga
- sensación ardiente en la piel
- cataratas
- quemaduras internas
- golpes de calor.

A este respecto, lo que puede afirmarse de forma inmediata es:

- a) Los teléfonos móviles no son emisores de radiación ionizante y no existe evidencia que estas ondas causen cáncer, eliminen la memoria o cocinen el cerebro.
- b) Está bien establecido que parte de la energía emitida en las ondas son absorbidas por la cabeza del usuario, lo cual produce los denominados "puntos calientes"²; debido a la posición relativamente estacionaria de la antena, la mayor parte se deposita en la piel y la corteza cerebral (porción exterior del cerebro).
- c) Se sabe que las microondas tienen la característica de penetrar en los tejidos orgánicos, los cuales las pueden absorber y convertir en calor, una aplicación conocida es la de los hornos microondas.
- d) Las conversaciones por teléfonos móviles pueden distraerle mientras maneja (este hecho no es una cuestión científicamente comprobada, pero se le considera como riesgo mientras no se compruebe científicamente lo contrario).

² En grandes cantidades de energía a partes pequeñas del cuerpo.

3.2 Lo que se ha demostrado a la fecha con estudios científicos

Se sabe que las radiaciones inducidas de radiofrecuencia de intensidades relativamente altas, o una exposición prolongada, producen cambios morfológicos en el sistema nervioso central. Otra área importante de investigación sobre efectos morfológicos debidos a exposición de radiofrecuencia que podría tener implicaciones importantes sobre el uso de teléfonos móviles son los daños en el ojo, por ejemplo: al endotelio de la córnea, cambios degenerativos en células del iris, la retina y alteraciones visuales. El tratamiento con ciertas drogas puede sensibilizar significativamente estas respuestas oculares a la radiofrecuencia. Se han observado efectos a una tasa de absorción específica de 0.26 W/Kg.

Efectos tales como la muerte de células en general y la proliferación de lesiones inducidas en la célula pueden tener implicaciones importantes en la salud.

Por otra parte, se habla de cambios en las funciones de neurotransmisores³. Hay diferentes tipos de neurotransmisores en el cerebro. Los primeros estudios informan de cambios en algunos neurotransmisores tales como catecolaminas⁴, serotonina⁵ y acetilcolina⁶ en el cerebro

³ Sustancias químicas que modifican o provocan impulsos nerviosos en una sinapsis.

⁴ Sustancias pertenecientes a un grupo de compuestos simpaticomiméticos que poseen una molécula catecol y la porción alifática de una amina. El organismo produce algunas de ellas de forma natural, otras pueden sintetizarse farmacológicamente y se emplean en el tratamiento de diversas afecciones como anafilaxia, asma, insuficiencia cardíaca e hipertensión. Sus principales funciones son excitación o inhibición periférica de ciertos músculos, excitación cardíaca y acciones metabólicas, endocrinas y nerviosas.

⁵ Derivado natural del triptofano que se encuentra en las plaquetas y en las células cerebrales e intestinales. Se libera cuando se lesionan las paredes de los vasos sanguíneos y actúa como un potencial vaso constrictor. La serotonina del tejido intestinal estimula la contracción del músculo liso. En el sistema nervioso central actúa como neurotransmisor. La dietilamida del ácido lisérgico (LSD) interfiere con la acción de la serotonina en el cerebro.

de los animales, sólo después de la exposición a altas intensidades de radiofrecuencia. Estudios más recientes muestran cambios en las funciones en el neurotransmisor después de la exposición a radiofrecuencia. Además, hay estudios que indican una respuesta dinámica del sistema nervioso a la radiofrecuencia que depende de la duración y número de exposiciones e interacción de estos dos parámetros. También, las diferentes regiones del cerebro podrían responder de forma diferente a la radiofrecuencia.

A este respecto, algunos hallazgos y demostraciones importantes de los estudios realizados hasta la fecha son los siguientes:

- Bajo las mismas condiciones de radiación, las diferentes partes del cerebro pueden tener sensibilidades diferentes a la radiofrecuencia.
- La consecuencia biológica al cabo de un periodo largo de exposiciones repetidas depende de la duración de cada sesión de la exposición.
- Ya que se encuentran receptores de benzodiazepán⁷ (Ericson, 2000) en la mayoría de regiones del cerebro, incluyendo la corteza cerebral, es posible que éstos puedan sufrir cambios después de una exposición breve a radiofrecuencia de teléfonos móviles, y pueden llevar a los cambios de dichos receptores en la cabeza.

Estudios científicos similares a los antes mencionados han sido llevados a cabo, a fin de detectar la influencia de señales de radiofrecuencia sobre la barrera sanguínea del cerebro. Ésta es una barrera biológica que rodea al cerebro, bloqueando la entrada de cierto tipo de moléculas dañinas a la circulación de la sangre en el sistema nervioso central.

⁶ Sustancia secretada en las terminales del axón de muchas neuronas que transmiten un impulso nervioso hacia otra neurona.

⁷ Sustancia que forma parte de las benzodiazepinas, que son agentes psicotrópicos, entre los que también están tranquilizantes como el clordiazepóxido, el diacepam, el oxaxepam y el cloracepato.

La mayoría de estudios encontró que se necesita una alta intensidad en la señal de radiofrecuencia para alterar la permeabilidad de la barrera sanguínea del cerebro. Al parecer, una condición necesaria para que el efecto ocurra son cambios significativos en la temperatura del cerebro y del cuerpo.

Sin embargo, otros estudios informan aumentos en la permeabilidad de la barrera sanguínea del cerebro, después de la exposición a intensidades relativamente bajas de radiofrecuencia. De allí que es posible que la exposición a ella a través de los teléfonos móviles pueda causar cambios en el flujo de la sangre, en la pinocitosis⁸ o en la permeabilidad de la barrera sanguínea del cerebro, efectos que podrían ocasionar cambios locales en funciones del cerebro.

Según una publicación de un periódico local⁹ (*The New Scientist* 1999), el físico-médico Alan Preece de la Universidad de Bristol, Inglaterra, realizó el primer estudio oficial sobre los efectos de los teléfonos móviles sobre los seres humanos, el cual fue publicado en la revista *The New Scientist*. En ella se afirma que "las emisiones de microondas de estos dispositivos sí parecen tener extraños efectos en los tejidos vivos, los cuales no pudieron ser relacionados con los efectos biológicos de la radiación convencional".

La investigación consistió en sujetar un dispositivo que imita las emisiones de microondas de teléfonos análogos o digitales al oído izquierdo de los usuarios. El apagar o encender el artefacto no produjo efecto alguno, pero al encender el auricular se detectaron efectos positivos en su habilidad para recordar palabras e imágenes pasadas rápidamente en una pantalla. El efecto era particularmente notable con

las señales análogas, y es posible que se deba a un ligero calentamiento del cerebro, lo que genera un mayor flujo de sangre, o a un cambio en la síntesis de proteína provocado por la reacción de los mecanismos de defensa del cuerpo; Preece especula que la mejora en tiempos de reacción es causada por microondas, que de algún modo aceleran el flujo de señales eléctricas a través de un área de la corteza cerebral, conocida como el *gyrus angular* que conecta áreas del cerebro involucrado en visión e idioma.

La publicación comenta que los efectos producidos por estos dispositivos no son compatibles con los efectos biológicos de la radiación convencional, y a la base de ello, quienes la presentaron argumentaban que los teléfonos móviles tienen efectos en los reflejos.

En España, a solicitud de las altas esferas de gobierno, este año ha sido presentado un informe de parte del departamento de toxicología del Instituto de Salud Carlos III donde se advierte de las posibles implicaciones negativas para la salud que puede tener el uso de teléfonos móviles; este informe se ha hecho llegar a la población, pues los periódicos de mayor circulación lo han publicado¹⁰.

3.3 Hacia dónde se dirigen las investigaciones actuales

En la actualidad, existen estudios en Europa y Estados Unidos encaminados a determinar si los teléfonos móviles producen efectos adversos en tres áreas principales:

- a) Experimentos en laboratorio dirigiéndose a efectos de microondas genotóxicas y ADN, transformación y proliferación de la célula.
- b) Estudios en laboratorio en animales, orientado a tumores en el cerebro de ratas, tumores sensibilizados químicamente, rupturas en el ADN, niveles hormonales, genes, electrofisiología del cerebro y estudios electrofisiológicos, y

⁸ Proceso de captación de líquido extracelular por parte de una célula. La membrana celular desarrolla una indentación sacular que se llena de líquido extracelular; a continuación se cierra sobre ella y forma una vesícula o vacuola intracelular.

⁹ *El Diario de Hoy* (El Salvador), 16 de abril de 1999, página 83.

¹⁰ Para mayor información, consultar:

<http://www.elpais.es>

<http://www.abc.es>

c) Estudios en Humanos: epidemiológicos.

Al respecto, a nivel internacional, la OMS, a través de su proyecto internacional de exposición a los campos electromagnéticos (EMF), se encuentra trabajando en conjunto con otras instituciones en las siguientes líneas de investigación:

- a) Producción de cáncer.
- b) Producción de otros efectos como cambios en la actividad cerebral y tiempos de reacción.
- c) Riesgo de accidentes de tráfico.
- d) Interferencia electromagnética con algunos dispositivos médicos y sistemas electrónicos de transporte aéreo (*Who*, 1998, 2000).

A nivel regional, la administración de Alimentos y Medicinas de Estados Unidos (FDA) anunció, a principios de junio del presente año, que trabajará en conjunto con la CTIA (Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones Celulares). Los estudios serán realizados por terceros, la FDA realizará una supervisión tanto de los protocolos propuestos para la investigación como de la investigación misma. Los estudios serán enfocados tanto a la investigación de laboratorio como efectos en los usuarios de teléfonos móviles (FDA, 2000).

Algunas investigaciones específicas realizadas son:

A) Investigador: David Pomerai

Lugar: Universidad de Nottingham

Objetos de estudio: Gusanos nemátodos

Experimento: Larvas expuestas a una dosis de microondas durante la noche.

Comentario: Tras una dosis durante la noche, los gusanos parecieron enrollarse en forma de anillo (crecieron más aprisa), y minutos después de detenida la radiación serpentearon aparentemente felices.

B) Investigador: Henry Lai.

Lugar: Universidad de Washington, Seattle.

Objetos de estudio: Ratas.

Experimento: Ratas expuestas a microondas.

Comentarios: Producen calmantes naturales llamados endorfinas, lo que las hace más susceptibles de atiborrarse de alcohol o reaccionar fuertemente a la morfina y a los barbitúrico (*The New Scientist*, 1999).

C) Por Michael Day y Kurt Kleiner:

Los usuarios de teléfonos móviles son más propensos 2.5 veces más que los no usuarios a que sufran tumores en los lóbulos del cerebro a sus orejas telefónicas, pero no existe seguridad si es producto del uso de los teléfonos móviles o un artificio estadístico.

El director de la WTR¹¹, George Carlo, dice que en un estudio enfocado a 450 personas con cáncer en el cerebro, comparándolos con 425 controles, no se encontró ningún eslabón global entre cáncer del cerebro y el uso del teléfono móvil, pero de 30 personas que tenían neurocitomas¹², el 40% habían usado teléfonos móviles.

D) Cálculos teóricos realizados por Dimbylow y Mann, 1994, sobre el punto o mancha caliente producida por teléfonos móviles: el SAR en el tejido de la cabeza de un usuario de teléfonos móviles puede ir de 2 a 8 W/Kg por el rendimiento del dispositivo; el rendimiento de energía de cresta de teléfonos móviles puede ir de 0.6 a 1 Watts, aunque el rendimiento puede ser más pequeño.

Es de resaltar que este tema ha venido captando más la atención, tanto de la comunidad científica como de los entes públicos relacionados en países del primer mundo. Esto ha conducido a que distintos países europeos inicien la emisión de resoluciones sobre el particular, por ejemplo, el parlamento escocés, el

¹¹ WTR = *Wireless Technology Research*.

¹² Tumor constituido por células nerviosas indiferenciadas de origen ganglionar. Llamado también neuroma.

ejecutivo español, etc. En el caso de España, país en el cual la cantidad de líneas de telefonía móvil ya excede la cantidad de líneas fijas, destaca el nivel de importancia que se está dando al asunto, pues entre otras actividades, puede citarse que el Departamento de Bioelectromagnetismo del Hospital Ramón y Cajal de Madrid inicia este año un proyecto que concluirá en 2003, bajo el nombre de Proyecto Reflex, que involucra el trabajo conjunto de doce equipos procedentes de toda Europa, que intentarán hacer un análisis exhaustivo y concluyente sobre los efectos de la radiación sobre humanos; el equipo español, entre otras cosas, aplicará a animales y células cancerígenas radiaciones provenientes de teléfonos móviles a fin de detectar posibles mecanismos de respuesta. A partir de eso, podrían efectuarse después eventuales pruebas con voluntarios.

Es de aclarar que este hospital no es la única institución española, ni mucho menos europea, interesada en dar respuesta a las dudas.

4. Dispositivos de protección

Debido a las especulaciones sobre los efectos de los teléfonos móviles en la salud, se ha creado una mini-industria de escudos y otros dispositivos, los cuales han sido diseñados para que "protejan" a los usuarios de teléfonos móviles. Pero los efectos globales de tales dispositivos pueden ser negativos porque:

- a) La batería se gasta porque el transmisor tiene que trabajar más por la pérdida de señal que éste causa.
- b) La vida del teléfono puede disminuirse porque no está funcionando como se diseñó.
- c) Se genera calor extra dentro del teléfono, lo cual puede afectar los circuitos y disminuir su vida útil.
- d) La eficacia se ve limitada porque puede producir la caída de llamadas.

Por lo cual, la FEI (Federación de la industria de la electrónica) considera que tales dispositivos no se necesitan y no los recomiendan.

5. Opinión de los fabricantes

Al parecer, los fabricantes de teléfonos móviles están conscientes de la importancia que está adquiriendo la posibilidad de un daño a la salud humana debido al uso de los teléfonos móviles.

Para solucionar esto, las principales medidas que, al parecer, han tomado son:

- a) Brindar múltiples opciones de consulta al público en general, y especialmente a sus usuarios a través de sitios web, y manuales de usuario para los teléfonos celulares.
- b) Asegurar que sus teléfonos cumplen con límites reconocidos internacionalmente, los cuales tienen un nivel amplio de seguridad contra los posibles efectos a la salud (10 ó 50 veces los valores a los cuales se ha descubierto algún tipo de daño).
- c) Apoyar y contribuir con instituciones, tanto particulares como gubernamentales, en la investigación de los posibles efectos de la telefonía celular en la salud humana. Además de realizar sus propias investigaciones.

En base a lo anterior, se puede concluir que los fabricantes se encuentran, hasta cierto punto, conformes con los avances investigativos realizados hasta la fecha. Mientras estos estándares no sean cuestionados por instituciones reconocidas a nivel internacional, éstos serán suficientes para no afectar la salud de los usuarios y la población en general, y por tanto suficientes para garantizar al usuario que sus productos no afectan la salud humana.

La iniciativa propia consiste en el apoyo a las instituciones reconocidas que investigan este hecho, y realizar sus propias investigaciones, de las cuales los autores no tenemos conocimiento.

Al parecer, la profundidad de investigación descansa en el interés de las instituciones de investigación y sus miembros, y de la posibilidad que se comiencen a dar efectos dañinos como consecuencia de el uso a gran escala que la humanidad está haciendo de los teléfonos celulares.

6. Conclusiones

Actualmente no se han presentado pruebas concluyentes que vinculen la incidencia de patologías como resultado del uso cotidiano de teléfonos móviles, pero existe una duda suficientemente razonable como para que sea oportuno recomendar al usuario que no se exponga excesiva e innecesariamente a condiciones en las que aún no se tienen pruebas a favor ni en contra.

Lo anterior conduce a un uso más racional del servicio de telefonía móvil, tanto en térmi-

nos de la recurrencia como de la duración de las llamadas, así como del uso de accesorios como audífonos. La exposición de ondas de radiofrecuencia podría resultar peligrosa si es lo suficientemente intensa (el nivel de exposición, obviamente, puede disminuirse retirando la antena en la medida de lo posible de la cabeza, ya sea extendiéndola o usando otros accesorios), y/o prolongada si se refiere a bajas intensidades.

Referencias

- Albert, S. "Historical introduction to EMF health effects". *IEEE Engineering in Medicine and Biology*. July/August 1996. pp. 24-30.
- Bernardi, P., Cavagnaro, M., Pisa, S., Piuzzi, E. "Specific absorption rate and temperature increases in the head of a cellular-phone user". *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*. Vol. 48, No. 7. July 2000. pp. 1118-1126.
- Ericsson. *Health and Safety in Mobile Telephony*. Retrieved on May 8th, 2000. From the World Wide Web: <http://www.ericsson.com/health>
- Food and Drug Administration. U. S. Department of Health and Human Services. (2000, 8th June) "FDA and CTIA to collaborate on cell phone research". Retrieved on July 18th, 2000. From the World Wide Web: <http://www.fda.gov/bbs/topics/answers/ans01020.html>
- Motorola. *Wireless Phones and Health*. From the World Wide Web: <http://www.motorola.com>
- Moulder, J.E., Erdreich, L.S., Malyapa, R.S., Merritt, J., Pickard, W.F., Vijayalaxmi (2000). *Campos electromagnéticos y salud humana*, versión española, traducida por Carlos Llanos (Red eléctrica de España), dirección electrónica. From the World Wide Web: <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/telefonos-moviles-salud/toc.html>
- Moulder, J.E., Erdreich, L.S., Malyapa, R.S., Merritt, J., Pickard, W.F., Vijayalaxmi (1999). "Cell Phones and Cancer: What Is the Evidence for a Connection?" *Radiation Resumes*. Pp. 151, 513-531. From the World Wide Web: <http://www.radres.org/toc99.htm>
- NRPB *Response Statement - Brief on Mobile Phones The Sun Article - 24 November 1998*. "Are mobiles scrambling our brains?". From the World Wide Web: <http://www.nrpb.org.uk/Nir-is4.htm>
- SIGET (Superintendencia General de Telecomunicaciones). "Gráficas y estadísticas del sector de comunicaciones". *Boletín de Telecomunicaciones*. Modificado el 5 de

- junio del 2000. Obtenido de la World Wide Web [http:// www.siget.gob.sv](http://www.siget.gob.sv)
- The New Scientist*, RBI limited 1999. David Concar. "Get your head round this". Retrieved on July 17th, 1999.
- From the World Wide Web:
<http://www.newscientist.com/nsplus/insight/phones/getyourhead.html>
- WHO/OMS. Fact Sheet No. 193: *Electromagnetic Fields and Public Health*. 1998. Revised June 2000. Retrieved on September 10th. From the World Wide Web: <http://www.who.int/inf-s/en/fact193.html>.
- Whole Jr., J. *Human Anatomy and Physiology*. Sixth edition. Wm C. Brown Publishers. Dubuque Iowa. 1993.