

Efectos de los teléfonos celulares en el cuerpo humano

Effects of the cellular phones on the human body

LILIA EDITH APARICIO PICO

Físico, Magíster en Teleinformática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Directora Grupo de Investigación en Telemedicina (GITEM), Directora Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones.
medicina@udistrital.edu.co

CARLOS FERNANDO CUEVAS

Ingeniero Electrónico Universidad Distrital Francisco José de Caldas, miembro Grupo GITEM.
telemed@etb.net.co

Fecha de recepción: septiembre 10 de 2004

Clasificación del artículo: Reflexión

Fecha de aceptación: diciembre 20 de 2004

Palabras clave: SAR, teléfono celular, campo electromagnético, efectos fisiológicos.

Key words: SAR (specific absorption rate), cellular phone, electromagnetic field, physiological effects.

RESUMEN

En este artículo se presenta un análisis de los efectos fisiológicos de los teléfonos celulares en el cuerpo humano. Se ha analizado el nivel promedio de potencia absorbida por unidad de masa de tejido para evaluar el riesgo de la exposición a señales de radiofrecuencia y microondas. El análisis se ha realizado desarrollando aplicaciones de interpolación lineal y polinomio de *Chebyshev*.

ABSTRACT

In this article, an analysis of the physiological effects of the cellular phones on the human body is presented. The average level of power absorbed by tissue mass unit has been analyzed to assess the risk of the exposure to radiofrequency and microwave signals. This analysis has carried out by developing lineal interpolation and *Chebyshev* polynomial applications.

1. Introducción

A continuación se realiza una descripción de la influencia de los campos electromagnéticos en los seres vivos. Se parte de la enumeración y análisis de las consecuencias de este tipo de campos en los seres humanos y se finaliza con el examen de la influencia de las radiaciones de radiofrecuencia y microondas.

Diversas investigaciones muestran, por ejemplo, los efectos de los campos en el sistema nervioso central: cáncer (Villeneuve, 2002: 210; Loscher, 2001: 603; Li, 2003: 212), tumores en diferentes regiones del cuerpo (McCann, 1993: 61; McCann, 2002: 179), influencias en la piel (Karasek, 2002: 84), dolor de cabeza e insomnio (Shivers *et al.*, 1991: 285; Scheck, 1991: 285), alteraciones en la presión arterial (Mezrich *et al.*, 1985: 219), etc. En la ejecución de funciones celulares se han encontrado alteraciones en la conducción iónica (Gartzke y Lange, 2002: 1333; Carpenter y Ayrapetyan, 1994: 165).

Con el desarrollo científico-tecnológico de los últimos tiempos se ha acelerado e incrementado el desarrollo de nuevos sistemas de microondas y telecomunicaciones; en consecuencia, también han adquirido gran importancia los campos electromagnéticos artificiales, por ejemplo, los generados por la telefonía móvil celular; así, el interrogante acerca de la forma como estos campos (en especial los de alta frecuencia) influyen sobre la salud humana ha ganado bastante vigencia.

Entre los investigadores que en la actualidad analizan las variaciones clínicas manifestadas por las personas expuestas a la presencia de campos electromagnéticos artificiales no existen puntos de vista unificados. Los métodos de investigación empleados y los parámetros físicos analizados por especialistas de varios países son diferentes; esto se convierte en un obstáculo para la creación de normas universales que regulen el diseño, fabricación y uso de la telefonía móvil celular, y eviten efectos perjudiciales para la salud humana.

La evidencia que confirma la correlación entre la presencia de campos electromagnéticos de alta frecuencia y la agudización de algunas enfermedades es cada vez mayor; las más sensibles son las enfermedades cardiovasculares, nerviosas, síquicas, oculares y diferentes tipos de cáncer.

En el presente trabajo se realiza un análisis de los mecanismos de influencia, los cuales se clasifican en biológicos primarios y biofísicos primarios (Hernández, 2000; Bustamante, 1998). Mediante la

aplicación de técnicas numéricas de interpolación lineal, empleando el lenguaje de programación Matlab (Nakamura, 1990) se crean funciones de simulación del SAR (*Specific Absorption Rate*), la potencia de radiación, la potencia absorbida y la impedancia de radiación, entre otros, todo a partir de datos discretos. En la parte final del trabajo se realiza un estudio de las diversas tecnologías de protección existentes en el mercado contra la influencia de los campos electromagnéticos artificiales presentes en las aplicaciones de la telefonía móvil celular.

Cuando se habla de los efectos fisiológicos de los teléfonos celulares es necesario relevar el llamado *síndrome no específico*, que consiste en la ausencia de manifestaciones clínicas específicas ante la influencia de los campos electromagnéticos de alta frecuencia, lo cual hace más complejo el diagnóstico de las personas expuestas a ellos.

Al conocer la interacción entre los campos electromagnéticos y el organismo humano se analizan los mecanismos biológicos primarios, considerando que las reacciones presentadas por el sistema nervioso central (SNC) son de carácter compensatorio-adaptativo, ante un elemento excitador externo que lo induce a variar su ciclo normal de funcionamiento. El sistema general conduce corrientes iónicas de polarización y despolarización, con naturaleza semejante a las de la corriente eléctrica, interactuando mediante una relación campo a campo con los campos electromagnéticos externos emitidos por los teléfonos celulares.

Los efectos de la radiofrecuencia (RF) y microondas (MO) pueden clasificarse en térmicos, no térmicos, demoduladores, moleculares, inmunológicos, síquicos y fisiológicos.

- *Térmicos*: son los más estudiados y resultan de la conversión de la energía radiante incidente en energía rotacional, creando un aumento en la temperatura de los tejidos; los tejidos más sensibles son el cristalino, las glándulas sexuales y el SNC.

- *No térmicos*: se relacionan con los niveles de energía que no aumentan la temperatura de los tejidos en más de 0,2 °C. Afectan principalmente la actividad bioeléctrica, vibraciones submicroscópicas, alteraciones del ADN (ácido ácido), interacción celular, molecular o tisular.
- *Demodulador*: afecta principalmente los órganos que presentan una actividad eléctrica especial, como el corazón y el SNC; los efectos se presentan debido a la estimulación directa de las membranas biológicas que manifiestan actividad eléctrica no lineal.
- *Molecular*: las radiaciones de RF ejercen una acción catalítica sobre algunas reacciones enzimáticas y químicas.
- *Sistema de células*: en algunos casos se presentan cambios en el genoma humano (ADN), al aumentar el flujo de iones intracelular y extracelular, generando un incremento en la energía electroquímica fundamental para la actividad celular.
- *Sistema inmunológico*: presenta una etapa de adaptación ante la influencia de señales de RF y MO.
- *Sistema nervioso*: se presentan efectos sobre el sistema nervioso periférico, alteraciones de algunas funciones neurovegetativas, variación de los encefalogramas y en la barrera hematoencefálica, alteración del flujo de iones de calcio y perturbaciones de los impulsos neuronales.
- *Lesiones oculares*: en especial ocurren en el cristalino, por su alto contenido de agua y bajo nivel de vascularización. El rango de frecuencia crítico se encuentra comprendido entre 1 MHz y 10 GHz.

Todos los efectos fisiológicos y variaciones biológicas se presentan como resultado de la interacción de los campos electromagnéticos inducidos, que generan corrientes de baja intensidad en las membranas de las células nerviosas, causan cambios en la excitabilidad, la polarización y despolarización celular, y afectan la propagación y generación del impulso nervioso al variar el nivel del potencial de acción.

Respecto a los mecanismos biofísicos por medio de los cuales los campos electromagnéticos interactúan con el organismo humano y originan variaciones de carácter fisiológico, la inducción electromagnética se encuentra entre los mecanismos de acción fundamentales de los campos electromagnéticos estáticos y variables, y se presenta generalmente por las interacciones electrodinámicas y magnetohidrodinámicas con electrolitos en movimiento; los campos electromagnéticos ejercen fuerzas de Lorentz sobre el movimiento de cargas iónicas transportadas en la célula y por diferentes sistemas biológicos primarios presentes en el cuerpo humano.

Los campos electromagnéticos variables inducen corrientes en los tejidos vivos, de acuerdo con las leyes de inducción de Faraday; este fenómeno permite entender la excitación sensorial de tipo óptico conocida como *magnetofosfeno*. También pueden afectarse los sistemas de tejidos y células, que poseen un alto contenido electrolítico; por esto pueden generarse corrientes locales mayores a los niveles de ocurrencia normales. Sobre los sistemas biológicos se presentan además efectos *magnetomecánicos*, los cuales se relacionan con la orientación de macromoléculas diamagnéticamente anisotrópicas y la translación magnetomecánica.

Desde otra perspectiva, en el análisis de mecanismos de influencia también deben tenerse en cuenta las aplicaciones de la telefonía móvil celular, entre ellas las comunicaciones privadas, de servicio público y comunicaciones de emergencia, entre otros. Cuando el teléfono celular se encuentra en funcionamiento, la antena de transmisión se halla muy próxima al cuerpo humano, lo cual puede ser un riesgo para el usuario, dependiendo de los niveles de radiación electromagnética a los que se encuentre expuesto.

El principal estudio epidemiológico que analiza los efectos adversos sobre la salud relacionados con el uso de teléfonos móviles celulares muestra una relación directa entre la duración, el número de llamadas y la ocurrencia de síntomas. Los síntomas pueden manifestarse en el usuario después de una

llamada de corta duración, por ejemplo de dos minutos.

Diferentes estudios han analizado áreas biológicas específicas y no han hallado efectos; la mayoría de ellos han sido patrocinados por las mismas empresas de fabricación de teléfonos celulares. Sin embargo, en los archivos-X de esta industria, en investigaciones que involucran animales y células humanas expuestas a la radiación de microondas del tipo emitido por la telefonía móvil celular, se han encontrado los siguientes efectos biológicos:

- Aumento en el lymphoma (cáncer del sistema inmune) en los ratones.
- Daño permanente en células del cerebro humano.
- Aumento en la rotura del ADN en células del cerebro, asociado con enfermedades de evolución lenta como el cáncer y el mal de Alzheimer, entre otras.
- En muestras de ratones, reestructuración del ADN; este es un factor potencial de un efecto de mutación genética.
- Proliferación de linfocitos en niveles anormales.
- Aumento de la velocidad de crecimiento de un tumor; esta regresa a su nivel normal al desaparecer la radiación.
- El tejido maligno presenta un nivel de absorción de la radiación mayor que el del tejido biológico normal.
- Otros efectos.

Finalmente, un análisis comparativo de las tecnologías de protección contra la radiación transmitida por los teléfonos móviles celulares lleva a considerar que este equipo se encuentra conformado por tres elementos de emisión: la antena, responsable de aproximadamente el 90% de la radiación transmitida; la caja (circuito interno) y el teclado (incluida la pantalla LCD). De acuerdo con lo anterior, las tecnologías de protección se clasifican en tres grupos:

- *Grupo 1:* las tecnologías de protección pertenecientes a este grupo no tienen en cuenta

la antena del teléfono móvil celular, responsable de más del 90% de la radiación total del teléfono. Cualquier dispositivo perteneciente a este grupo ofrece una protección menor del 10%; por tanto, estos productos son ineficaces, en especial cuando se trata de teléfonos digitales. El Waveguard, Orejaeazy, Rapgap, Cellnet y Salutel son ejemplos de este grupo.

- *Grupo 2:* contrario a las tecnologías de protección pertenecientes al grupo anterior, las pertenecientes a este grupo protegen contra la radiación transmitida por la antena del teléfono celular, generalmente mediante un escudamiento de material delante de la antena. La mayoría de estos productos no consideran las otras emisiones del cuerpo principal del teléfono celular; recientemente, las emisiones de EFLF (frecuencia muy baja) han sido asociadas con dolores de cabeza experimentados por muchos usuarios. De otra parte, cualquier dispositivo que escude de manera permanente la antena crea porcentajes muy altos de abandono de llamadas. El Phoneshield, Nett Anti-Rad 75 y el Protector son parte de este grupo.
- *Grupo 3:* este tipo de tecnologías ofrecen una protección completa de las radiaciones transmitidas por la antena y de las emisiones transmitidas por la caja, el circuito interno, el teclado y la pantalla de LCD de los teléfonos celulares; estas emisiones se dirigen a diferentes zonas del cuerpo y pueden intensificar cualquier efecto biológico. Microshield es un ejemplo pionero de este grupo.

Con respecto a los equipos de manos libres, por lo general son incómodos para el usuario; además, a menos que se tenga la posibilidad de instalarlo lejos de sí, el usuario está transfiriendo la radiación a otras partes del cuerpo, por ejemplo la mano, la muñeca u otros órganos cerca de la cintura o el pecho. La corta distancia es el mejor aliado de las radiaciones para generar efectos; sin embargo, ninguna distancia es aún segura. A distancias de 55 cm todavía se observan efectos.

La radiación emitida por los teléfonos móviles celulares también puede generar interferencias con dispositivos como audífonos, sistemas de computador en automóviles (como el ABS), sistemas digitales de seguridad y marcapasos, entre otros; además, como consecuencia del efecto de resonancia, los niveles de radiación pueden incrementarse en un factor de 10.

Los fabricantes alemanes de automóviles Mercedes Benz y BMW no aprueban el montaje de la antena de equipos manos libres en el vidrio del automóvil, dado que pueden generarse efectos de interferencia con los sistemas de computación del vehículo; por los mismos efectos de interferencia, se prohíbe el uso de los teléfonos celulares en aviones, bancos y estaciones de combustible.

En una llamada normal de un teléfono celular, el usuario puede absorber hasta el 80% de las emisiones de microondas. En el caso de la tecnología de Microshield, la protección contra la radiación se realiza de tres formas diferentes:

- Contra las radiaciones emitidas por el cuerpo del teléfono celular (incluso las de baja frecuencia), la protección se realiza mediante un dispositivo fabricado con base en níquel, tejido de poliéster y cuero.
- Una pantalla transparente se fabrica con capas de PVC laminadas alrededor de una malla de metal; este sistema protege al usuario de las emisiones provenientes del teclado y la pantalla de LCD.
- La mayor parte de las radiaciones provienen de la antena del teléfono celular; ésta se escuda por medio de un material colocado al lado de la antena, el cual absorbe la radiación dirigida hacia el usuario. Las protecciones se realizan por métodos de absorción y no de reflexión, luego no altera los componentes internos del teléfono.

A partir de los elementos descritos sobre los mecanismos de influencia, a continuación se desarrolla un análisis de la medida denominada SAR (*specific absorption rate*); utilizando un método de interpolación lineal se desarrollan funciones de simulación

de los parámetros físicos que intervienen en la interacción entre el teléfono celular y el usuario. Se realizan aplicaciones de interpolación lineal y polinomios de Chebyshev, parámetros para MO y RF y se compara la variación en las diferentes características físicas de los tejidos tomando como base el valor SAR de referencia.

3. Método de simulación del SAR

El SAR, definido como el nivel promedio de potencia absorbida por unidad de masa de tejido, es el parámetro dosimétrico que permite realizar la evaluación del riesgo a la exposición en los rangos de onda media (MW) y de radiofrecuencia. Debido a la variedad de tejidos presentes en el cuerpo humano, la distribución del SAR en él no se presenta uniformemente; en la tabla 1 se enumeran los diferentes tejidos biológicos presentes en el organismo humano y sus respectivas características y propiedades eléctricas: densidad (ρ), constante dieléctrica (ϵ_r) y permisividad electromagnética a una frecuencia de 900 MHz.

Tabla 1. Propiedades eléctricas de los tejidos

Ítem	Tejido	(S/m)	ϵ_r	ρ (g/cm ³)
1	Piel	0,82	43,7	1,00
2	Graso	0,11	6,2	1,00
3	Músculo	1,38	53,5	1,05
4	Óseo	0,10	7,3	1,20
5	Tendón	0,10	7,3	1,03
6	Cartilago	0,10	7,3	1,00
7	Sangre	1,32	63,3	1,00
8	Fluido	1,67	62,5	1,02
9	Materia gris	0,67	47,4	1,05
10	Materia blanca	0,48	39,4	1,00
11	Humor	1,90	70,0	1,00
12	Cristalino	0,75	45,0	1,05

Con respecto a la normatividad para la exposición del ser humano a las radiaciones de RF, se plantea la

necesidad de adoptar normas de seguridad que incluyan directrices y recomendaciones para prever el riesgo ante la exposición a la energía transmitida por las RF y las MO; estas normas han sido desarrolladas en forma independiente por diferentes organizaciones internacionales, entre ellas ANSI e IEEE.

La exposición de la población a campos EM de RF0, correspondientes a frecuencias superiores de 10 MHz, no debe superar un *SARprom* CE de 0,04 W/kg - 0,08 W/kg, o un *SARloc* max de 0,4 - 0,8 W/kg¹, por cada gramo de tejido correspondiente a cualquier región localizada en la masa corporal.

De acuerdo con el “IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 KHz to 300 GHz” el valor máximo promediado sobre una masa de tejido de 1 gr debe ser de 1,6 W/kg. Por el contrario, el “International non-ionizing radiation committee of the international radiation protection association” define un valor máximo del SAR de 1 W/kg promediado sobre una masa de tejido biológico de 100gr.

Al evaluar diferentes técnicas numéricas, se optó por aplicar interpolación para hallar las funciones de simulación de los parámetros que intervienen en la interacción entre el teléfono celular y el usuario, a saber: impedancia de radiación (*Zr*), potencia de radiación (*Prad*, medida en mW), potencia absorbida (*Pabs*, medida en mW), *SAR0,125* (W/kg) y *SAR1*(W/kg); esto se complementó con la redistribución de abscisas de los puntos de datos, empleando las raíces del polinomio de Chebyshev con el fin de minimizar el porcentaje de error de la función de simulación. Así se hallaron funciones de simulación para teléfonos con antena dipolo, monopolo extendida y monopolo colapsada.

El objetivo fundamental de la interpolación es interponer datos conocidos en puntos discretos con el fin de calcular los valores de las variables o funciones entre dichos puntos. La aplicación es bastante útil y puede emplearse con otros métodos numéricos, por ejemplo, la integración numérica,

que resulta de la integración de polinomios de interpolación y las aproximaciones de diferencias finitas derivadas de estos polinomios. Así, por su gran utilidad y variadas aplicaciones es importante conocer las expresiones de los polinomios de interpolación, su precisión y las consecuencias de la selección de puntos de datos.

Para hallar las funciones de simulación de los parámetros físicos que intervienen en la interacción teléfono celular-usuario, se realizaron aplicaciones de interpolación lineal y polinomios de Chebyshev, mediante el lenguaje de programación de Matlab, sobre los datos de la tabla 2.

Tabla 2. Datos para simulación de parámetros físicos

<i>D (cm)</i>	<i>Zr</i>	<i>Prad (mW)</i>	<i>Pabs (mW)</i>	<i>SAR0.125 (W/Kg)</i>	<i>SAR1 (W/kg)</i>
5,0	44,3 + 7,3i	597,8	89,1	0,71	0,34
5,5	44,9 + 7.4i	598,2	80,3	0,62	0,30
6,0	45,0 + 10i	598,1	73,9	0,54	0,25
6,5	45,6 + 10.1i	598,5	68,3	0,48	0,22
7,0	45,5 + 12.7i	597,4	64,7	0,43	0,20

A continuación se presenta una muestra del experimento realizado para hallar la función de simulación del *SAR1*, esto es, del SAR promediado sobre una masa de tejido de 1 gr.

La figura 1 muestra el comportamiento del sistema.

¹ Valores promediados sobre cualquier período de 30 minutos.

Programa 1. Interpolación lineal y polinomio Chebyshev sobre datos en la tabla 2.

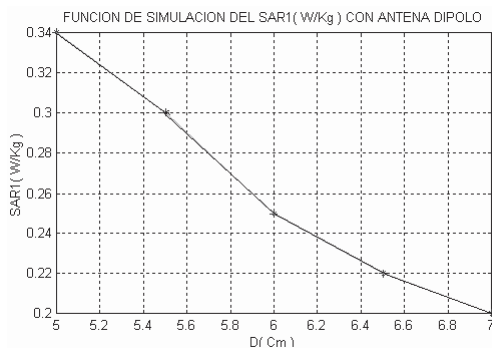
```

X= [5.0 5.5 6.0 6.5 7.0]; % Valores discretos de la distancia
Y= [0.34 0.30 0.25 0.22 0.20]; % Valores discretos del SAR1( W/Kg )
P1= Polyfit(X, Y, length(X) - 1); % Polinomio de interpolación lineal
P1= - 0.0267 0.6533 - 5.9533 23.8367 - 35.01]
X1= 5.048943484; % Redistribución por aplicación de polinomio de Chebyshev
X2= 5.412214748;
X3= 6.0;
X4= 6.587785252;
X5= 6.951056516;
Xc= [X1 X2 X3 X4 X5]; % Arreglo de las raíces del polinomio de Chebyshev
P2= Polival(P1 , Xc); % Evaluación del polinomio de interpolación en Chebyshev
P3= Polifit(Xc, P2 , length(X)- 1); % Polinomio con aplicación Chebyshev
P3= [- 0.0267 0.6533 - 5.9533 23.8367 - 35.01] Plot(X , Y , ( * ) , X , Y , ' g ' );
grid on; Xlabel('D( Cm )'); Ylabel('SAR1( W/Kg )'); title('FUNCION DE SIMULACIÓN
DEL SAR1( W/Kg ) CON ANTENA DIPOLO')

```

4. Resultados

Figura 1. Comportamiento del SAR



Mediante la aplicación de la metodología descrita y de acuerdo con los coeficientes calculados, la función de simulación del SAR1 es la siguiente:

$$SAR1(D) = -0,0267D^4 + 0,6533D^3 - 5,9533D^2 + 23,8367D - 35,01$$

Al realizar el análisis comparativo de los resultados de las funciones de simulación de los diferentes parámetros físicos que intervienen entre el teléfono celular y el usuario [impedancia de radiación (Z_r), potencia de radiación del teléfono celular (P_{rad}), potencia absorbida por el cuerpo humano (P_{abs})], se encuentra que la potencia absorbida

promediada sobre una masa de tejido biológico es de 0,125 gr ($SAR_{0,125}$) y la potencia absorbida promediada sobre una masa de tejido biológico es de 1 gr (SAR_1), asumiendo condiciones iguales de distancia y para diferentes clases de antenas: dipolo, monopolo extendida y monopolo colapsada.

La distancia común en el estudio de los tres casos es de 5 cm, desde el teléfono celular hasta el usuario. Asumiendo como punto de referencia los valores presentados por las funciones de simulación del teléfono celular equipado con una antena dipolo como elemento de emisión, se obtienen los porcentajes resultantes presentados en la tabla 3; en ella (+) representa un incremento en porcentaje y (-) una reducción en porcentaje en comparación con el valor de referencia seleccionado. Debe asumirse que un aumento en el porcentaje implica una influencia negativa sobre los tejidos que puede ocasionar daños.

Al analizar los datos obtenidos, se observa un significativo incremento de la impedancia de radiación (Z_r) en los casos estudiados con antenas monopolo extendida y monopolo colapsada, con respecto al caso del teléfono dotado con antena dipolo.

Tabla 3. Resultados de simulación del SAR

	<i>DIPOLO</i>	<i>MONOPOLO E.</i>	<i>MONOPOLO C.</i>
Zr	1	(+) 103.0517061 %	(+) 122.3688513 %
Prad	1	(+) 0.250920000 %	(-) 17.46403479 %
Pabs	1	(-) 10.21324355 %	(-) 34.00673401 %
SAR0.125	1	(-) 11.26760563 %	(+) 7.042253500 %
SAR1	1	(+) 26.47058820 %	(+) 50.00000000 %

Para el caso del teléfono celular con antena dipolo como elemento de emisión, los valores del SAR1 se encuentran por debajo del límite establecido por ANSI (1,6 W/kg). En el caso del teléfono celular equipado con antena monopolo colapsada como elemento de transmisión, el límite establecido por el ANSI es excedido para valores de distancia menores de 2 cm, que es la situación típica del teléfono celular en contacto con el lóbulo auditivo (1,5 cm), en la cual el SAR1 es superado en un 83,75%; así, en este caso se superan los límites permisibles de SAR.

6. Conclusiones

De acuerdo con los análisis realizados acerca de las formas de influencia, el método de simulación del SAR1, las tecnologías de protección y los

efectos de los teléfonos celulares se plantean las siguientes conclusiones:

- El teléfono celular debe ser utilizado en forma moderada y para llamadas cortas, en lo posible. Las llamadas largas deben realizarse con teléfonos fijos convencionales.
- Deben ser empleados teléfonos celulares con tecnologías de protección que ofrezcan un alto grado de eficiencia.
- Si el volumen del teléfono celular se aumenta al máximo, es posible alejar más el teléfono celular del propio cuerpo, reduciendo el riesgo de posibles efectos que puedan presentarse.
- Los usuarios deben informarse adecuadamente acerca del manejo apropiado de los equipos y del riesgo y posibles efectos que pueden presentarse por el uso del teléfono celular.



Referencias bibliográficas

- [1] BUSTAMANTE J. (1998), *Neuroanatomía funcional*, 2 ed. Buenos Aires Celsus.
- [2] CARPENTEER, D. y S. AYRAPETYAN (1994). *Biological effects of electric and magnetic fields sources and mechanisms*, vol. I. Academic Press, pp. 165-179.
- [3] GARTZKE, J. y K. LANGE (2002). "Coffee magnetic fields ionic conduction along actin filaments of microvilli". *Am J Physiol Cell*, pp. 1333-1346.
- [4] HERNÁNDEZ, N. (2000). *Efectos de los campos electromagnéticos en el cuerpo humano*, Medellín, Universidad de Antioquia.
- [5] KARASEC, M. y A. LERCHL (2002). *Melatonin and magnetic fields. Neuroendocrinol left*, Spull.1 pp. 84-87.
- [6] LOSCHER W. (2001). "Do cocarcinogenic effects of ELF electromagnetic fields required long-term interaction with carcinogens? Characteristics of positive, studies, using DMBA breast cancer model in rats". En *Bioelectromagnetics*, Vol. 8 pp. 603-614.
- [7] LI, C.Y. (2003). "Association between occupational exposure to power frequency electromagnetic fields and amyotrophic lateral sclerosis". *AM J Ind Med*, pp. 212-220.

- [8] McCANN, J. (1993). *A critical review of the genotoxy potential of electric and magnetic fields. En: Mutation Research*, Vol. 297 pp. 297: 61-95.
- [9] McCANN, J.; R. KAVET y C. N. RAFFETY (2000). "The potential carcinogenic activity of magnetic fields using animal models". *Environ Health Perspect*, pp. 179-200.
- [10] MEZRIC, R.; N. REICHECK y H. KRESSEL (1985). "ECG effects in high". *Field Imaging Radiology*, pp. 219-222.
- [11] NAKAMURA, S. (1990). *Análisis numérico y visualización gráfica con Matlab*. Prentice Hall.
- [12] SHIVERS, R. *et al.* (1987). "Magnetic resonance imaging temporally alters blood-brain barrier permeability in the rat". *Neuroci Lett*, pp. 25-31.
- [13] SNECK, J. (1991). "Health and physiological effects of human exposure whole body 4 tesla magnetic fields during MRI. Biological effects and safety aspects of nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy". *Academic of Science*, pp. 285-301.
- [14] VILLENUEVE P. J. *et al.* (2002). *Brain cancer exposure to magnetic fields among men*, *En: J.Epidemiol Vol.1* pp. 210-217.