

TELEFONÍA CELULAR – ANÁLISIS TERMOGRÁFICO Y EFECTOS TÉRMICOS EN SUS USUARIOS

Llamosa-Rincón, L.E.¹, Cano-Uribe, J.A.² y Pérez-Camacho, M.I.³

¹ Profesor Titular - Director Grupo de Electrofisiología – Universidad Tecnológica de Pereira (UTP)

² Ingeniera física, joven investigadora de COLCIENCIAS – 2013-2014, Facultad de Ciencias Básicas -UTP

³ Maestra en Ciencias de la Ingeniería y Física Biomédicas, CINVESTAV, Unidad Monterrey- México.

RESUMEN

Se analizaron experimentalmente los efectos térmicos y electromagnéticos producidos por los teléfonos celulares sobre sus usuarios en los rangos de frecuencias de las tres principales empresas prestadoras de este servicio en Colombia, comparando los resultados con la normatividad y recomendaciones existentes a nivel nacional e internacional. Para lograr este objetivo se implementaron protocolos experimentales basados en la termografía IR y en la medición de las intensidades de campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia, utilizando instrumentos especializados y comparando los resultados con la recomendación vigente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT-T K.52, la cual se basa en las recomendaciones de la ICNIRP (International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection). Fueron encontrados para la región lateral de la cabeza, cercana al celular en el momento de una llamada, aumentos de temperatura en los 30 sujetos del estudio que van más allá de los establecidos con base en recomendaciones internacionales. De manera general los niveles de intensidad de los CEM no sobrepasan los límites de la ICNIRP, salvo en algunos instantes de tiempo, en que la intensidad de campo magnético y la densidad de potencia de 9 de las pruebas (90) realizadas con 30 celulares, lo hicieron. Los resultados obtenidos demuestran que es necesario un estudio más profundo del efecto térmico de los teléfonos celulares en humanos, ya que los aumentos encontrados en la muestra de este estudio, son en promedio mayores a los que constituyen la base del ICNIRP para la formulación de las recomendaciones, la cual considera un incremento máximo de temperatura de 1,0 °C.

1. INTRODUCCIÓN

Las normas que fijan los valores de exposición máxima permitida a las radiaciones no ionizantes de distintas frecuencias en la mayoría de los países se basan en los efectos térmicos, es decir, para cada grupo de frecuencias se fija un valor de exposición máxima permitida por debajo del cual la absorción promedio del CEM (campo electromagnético) por el cuerpo humano no representará un incremento nocivo de la temperatura. En Colombia la formulación de las leyes están basadas en la recomendación vigente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT-T K.52 [1], la cual orienta sobre los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos. Dentro de los principales efectos que se pueden producir debido a la interacción entre tejidos biológicos y su exposición a CEMs se encuentra el aumento de temperatura. La ICNIRP, comisión internacional de protección a las radiaciones no ionizantes (International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection) ha establecido como límite máximo para la formulación de las recomendaciones, un aumento máximo de temperatura de 1 °C tras 30 minutos de exposición [2]. Actualmente los resultados obtenidos por diversas investigaciones ha suscitado polémica respecto a que tan nocivo pueden llegar a ser las emisiones de los teléfonos móviles y una de las cosas que más produce preocupación es el hecho de que aún no se conocen los efectos a largo plazo que se pueden producir en la población expuesta a este tipo de campos. La última publicación al

¹ E-mail del Autor. lellamo@utp.edu.co

respecto hecha por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [3], dice que el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer ha clasificado los campos electromagnéticos producidos por los teléfonos móviles como posiblemente carcinógenos para los seres humanos y recomienda el uso de auriculares y envío de mensajes de texto como medidas para minimizar los riesgos. La catalogación final muestra como resultado un riesgo creciente del glioma, tipo de cáncer de cerebro asociado al uso del teléfono móvil. La OMS resalta la importancia de llevar a cabo investigaciones complementarias sobre el uso intensivo y a largo plazo de los teléfonos celulares para determinar con seguridad las consecuencias nocivas y otros posibles efectos que pueda estar causando las emisiones electromagnéticas y la utilización de los teléfonos móviles en la población.

1.1 Efectos Biológicos de los CEMs

La interacción de las ondas electromagnéticas con el organismo pueden producir efectos térmicos, fotoquímicos y electromagnéticos que provocan modificaciones en las células. El efecto resultante depende del tipo de radiación y de las características de la exposición, superficie radiada, tiempo de exposición, etc. [4]. Un efecto biológico se produce cuando la exposición a los CEM provoca una respuesta fisiológica detectable en un sistema biológico. Un efecto biológico es nocivo para la salud cuando sobrepasa las posibilidades de compensación normales del organismo [5].

Entre los principales efectos biológicos, se encuentra el efecto térmico por medio del cual se produce el calentamiento del cuerpo debido a la absorción de energía de campos de alta frecuencia. El mecanismo por el cual los CEM producen aumento de la temperatura está relacionado con la energía calórica que produce el movimiento de ciertas moléculas cargadas eléctricamente [6]. Se debe tener en cuenta que los tejidos más susceptibles a aumento de temperatura son aquellos que poseen un porcentaje mayor de agua y poca irrigación sanguínea [7]. Los aumentos de temperatura afectan, por ejemplo al crecimiento celular y pueden generar asimismo la coagulación de las proteínas [8]. Si estos incrementos de temperatura no pueden ser compensados por los mecanismos termorreguladores corporales, se puede producir hipertermia, quemaduras, cataratas y esterilidad entre otros efectos adversos [4].

1.2 Telefonía Móvil [9]

Los teléfonos móviles son transmisores de radiofrecuencias de baja potencia, pues funcionan en un intervalo de frecuencias de entre 450 y 2700 MHz (antes de la generación 4 G) y tienen un pico de potencia que va de 0,1 a 2 W. El aparato sólo transmite energía cuando está encendido. La potencia (y por lo tanto la exposición del usuario a las radiofrecuencias) desciende rápidamente al aumentar la distancia con el dispositivo. Una persona que utiliza el teléfono móvil a una distancia de entre 30 y 40 centímetros de su cuerpo – por ejemplo, al escribir mensajes de texto, navegar por Internet o cuando se utiliza un dispositivo «manos libres» – estará mucho menos expuesta a campos de radiofrecuencia que quienes lo utilizan acercando el aparato a su cabeza. El nivel de exposición también se reduce si se disminuye la cantidad de llamadas y su duración. El empleo del teléfono en zonas con una buena recepción también conlleva una disminución del nivel de exposición, ya que de ese modo el aparato transmite a una potencia reducida.

1.3 Aspectos legales y normativos

El análisis del nivel de CEM permitido en zonas urbanas, así como los procedimientos de medición que permitan caracterizarlos correctamente, son la base de las normas que establecen las condiciones y parámetros fundamentales para el trabajo con RNI (radiaciones no ionizantes). Su formulación parte de los siguientes factores:

- Los valores de exposición máxima permitida para un espectro de frecuencias dado.
- Los lugares donde se pueden emplazar los sistemas que emiten radiaciones y las condiciones que se deben cumplir.

- Los procedimientos (protocolos de medición) que deben emplearse para caracterizar los CEM, a fin de obtener valores confiables que puedan compararse con las normas que establecen los niveles de exposición máxima permitida.

Debido a la falta de consenso acerca de las normas que se deben adoptar, se han establecido principios de cumplimiento voluntario que pueden contribuir a reducir al mínimo los daños ocasionados por las emisiones de radiofrecuencias. El principio de precaución brinda una guía para la acción cuando existe incertidumbre luego de la evaluación objetiva de toda la evidencia disponible. Se puede resumir en:

- Principio de precaución o de incertidumbre científica. Se deben tomar precauciones para evitar la exposición a los CEM-NI hasta que los conocimientos científicos y la información epidemiológica permitan definir de manera más precisa los efectos de los CEM-NI, incluso de las emisiones de baja intensidad o de la exposición a largo plazo.
- Principio de prudencia. Establece que se deben tomar medidas de protección de bajo costo que permitan disminuir la intensidad de los CEM-NI.
- Principio de exposición tan baja como sea razonablemente posible. Se debe tratar de emplear la menor potencia posible para una tarea dada. Este es un principio de precaución conocido en el campo de las radiaciones ionizantes y que se adoptó como política para el control de los riesgos por CEM-NI.

En Latinoamérica hasta el 2006, solo diez países regulaban los límites de exposición permitidos para las radiaciones no ionizantes [10]. Algunos establecieron dichos límites según las recomendaciones del Instituto Nacional de Normas de los Estados Unidos (American National Standards Institute, ANSI) aprobadas en 1974 [10], otros por las directrices entregadas por la ICNIRP como es el caso de Colombia, que en enero de 2005 y como resultado de un largo estudio y de reuniones con expertos internacionales y operadores del sector de telecomunicaciones, acogió las recomendaciones de la ICNIRP y la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) a través del Decreto 195 por el cual se adoptan límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos y se adecúan los procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas [11]. Este decreto, elaborado conjuntamente entre el Ministerio del ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, el Ministerio de Comunicaciones y el Ministerio de la Protección Social, debe ser aplicado a quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones en la gama de frecuencias de 9 KHz a 300 GHZ.

Tabla 1. Niveles de Referencia para Exposición - Público General (f - frecuencia).

Rango de Frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo Magnético B (μ T)	Densidad de potencia promedio (W/m ²)
>1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4	-
1-8 Hz	10 000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
8-25 Hz	10 000	$4 000/f$	$5 000/f$	-
0.025-0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
0.8-3 kHz	$250/f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
0.15-1MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$	-
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	-
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

Fuente: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz).

Es debido a la imposibilidad de muchos países para desarrollar sus propias normas que regulen la exposición a RF (radio-frecuencias) y MO (micro-ondas), que se recurra a normas publicadas por organizaciones científicas como la Comisión Internacional para la Protección de Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP), organismo de referencia en el estudio de los campos electromagnéticos no ionizantes y reconocida por la Unión Europea (UE), y la Organización

Mundial de la Salud (OMS) (3). La norma formulada por ICNIRP se puede encontrar en: *International Committee on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300GHz, 2003)* [12]. Los niveles de referencia establecen un margen de seguridad suficiente para proteger a los individuos; la tabla 1 resume los niveles de referencia para la exposición del público en general, los cuales también han sido acogidos por Colombia como se mencionó anteriormente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales - Equipos de Medición

Cámara termográfica FLUKE Ti32: Es un equipo sofisticado que detecta la energía infrarroja y la convierte en una señal eléctrica, que es luego procesada en una imagen térmica, basándose en el método de la termografía por infrarrojos, la cual proporciona un mapa de gradientes térmicos en tiempo real, y presenta la ventaja añadida de no necesitar contacto físico, ser indoloro y no invasivo. Este dispositivo es capaz de capturar de forma rápida y sencilla imágenes térmicas bidimensionales claras y nítidas gracias a su sensor (microbolómetro no refrigerado) basado en una matriz de plano focal de 320 x 240 píxeles de gran calidad; las imágenes adquiridas por este instrumento pueden ser analizadas por medio del software Smart View, el cual permite ajustar valores de emisividad, corrección de temperatura reflejada, nivel y ganancia. Esta cámara cuenta con un rango de medida de temperatura de -20°C a 600 °C, tiene una precisión de ± 2 °C, dispone de una duración de la batería mayor a 4 horas de uso continuo, y almacena 1200 imágenes infrarrojas, (Fuente: Thermal Imagers Ti 32, Manual de Usuario).

Medidor de Campo Narda NBM-520 (<http://www.narda-sts.de/es/productos/alta-frecuencia/medidores-de-banda-ancha/nbm-520.html>)

El NBM-520 es un dispositivo portátil, pequeño y ligero, capaz de medir directamente la intensidad del campo electromagnético en las proximidades de estaciones radioeléctricas y de teléfonos celulares. Este es un medidor de banda ancha para campos eléctricos y magnéticos, desde RF hasta microondas. Dispone de varias sondas isotrópicas que realizan mediciones en un rango de frecuencias entre 100kHz y 60 GHz. Adicional a esto, cuenta con el software NBM-TS (http://www.narda-sts.us/pdf_files/OperatingManuals/NBM-TS_Help_V2_1_0_English.pdf) que permite el control remoto y la configuración del instrumento, así como el registro de datos en intervalos de tiempo de 400 ms. Por medio del software el equipo registra los valores de campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia, indicando los valores máximo (MAX), mínimo (MIN) y tiempo promedio (AVG). El uso del software proporciona una mayor confiabilidad en los datos registrados para un posterior análisis, además crea una base de datos con los valores registrados, tanto de campo como de densidad de potencia los cuales pueden ser guardados y exportados.

2.2 Métodos

Se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los niveles de exposición de CEM-NI en el rango de frecuencias de la telefonía celular y los efectos térmicos a que está expuesta la población colombiana al utilizar teléfonos celulares de las empresas prestadoras de este servicio en Colombia, comparados con los niveles máximos permitidos por la normatividad nacional e internacional?

Para resolver la pregunta de investigación se diseñó un protocolo de medición de niveles de intensidad de campos electromagnéticos de radiación no ionizante y efectos térmicos generados por teléfonos móviles; de la misma manera se diseñó un protocolo de medición termográfica de la variación de temperatura que los teléfonos celulares producen en las personas cuando estas lo utilizan. Los protocolos de medición se diseñaron cumpliendo los

requisitos técnicos exigidos por la norma NTC-ISO/IEC 17025 (13) en su numeral 5; además se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [2].

Protocolo de medición de inmisión de los niveles de intensidad de campos electromagnéticos de teléfonos móviles: Se utilizó el laboratorio del grupo de electrofisiología de la UTP (Universidad Tecnológica de Pereira) en el cual se pudo hacer la medición de inmisión de los niveles de intensidad de campos electromagnéticos de teléfonos móviles, de forma tal que se pudieron aislar otras fuentes de radiación que hubieran podido interferir con las medidas, en todo caso, el protocolo garantiza que la fuente de radiación predominante sea la del teléfono celular, teniendo en cuenta que la intensidad de los campos decae con el cuadrado de la distancia a la que se encuentren las fuentes.

Se procedió a hacer mediciones de inmisión de los niveles de intensidad de CEM-NI (campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia) de una muestra de 30 teléfonos celulares de diferentes tipos (muestra aleatoria - estudio piloto), de no más de un año de uso, funcionando cada uno de ellos en el rango de frecuencias de las tres empresas más importantes que prestan este servicio en Colombia; para lo cual a cada teléfono celular se le instalaron tarjetas SIM de las 3 diferentes empresas, y con cada una de ellas se hicieron las correspondientes mediciones de campo. Las mediciones se realizaron, durante un tiempo de 6 minutos; en total se realizaron 90 mediciones de campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia.

Para la medición de campos electromagnéticos se tuvieron en cuenta algunos factores importantes como: características del sitio, distancia a la fuente de radiación (las antenas de campo eléctrico y campo magnético del equipo Medidor de Campo Narda NBM-520 se aproximaron hasta hacer leve contacto con la parte frontal del teléfono celular), las variables a medir y las unidades de medida fueron: (intensidad de campo eléctrico V/m, intensidad de campo magnético A/m y densidad de potencia W/m^2); el tipo de medición (directa y por inmisión en condiciones de campo cercano). Se obtuvieron resultados similares en cuanto al cumplimiento de la normatividad que regula los límites de exposición (Tabla 1), a excepción de nueve usuarios que superaron los límites establecidos para intensidad de campo magnético y densidad de potencia, presentando picos de dichas magnitudes durante las pruebas (Figura 1).

Protocolo de medición para el estudio de los efectos térmicos sobre seres humanos: Se realizó un estudio piloto mediante el cual se seleccionó una muestra de 30 individuos (15 hombres y 15 mujeres), se tuvo en cuenta que los individuos seleccionados contarán con buena salud, y estuvieran dentro de un rango determinado de edades (estudiantes de ingenierías de la UTP entre 18 y 25 años). Se eligió igual número de personas de ambos sexos, de forma tal que esta variable no fuera determinante en los resultados; a estas personas se les pidió firmar un acta de conformidad en lo que se refiere a su participación dentro del experimento. Hay que tener en cuenta que a estas personas simplemente se les tomaron fotografías termográficas mientras utilizaban de manera normal el teléfono celular durante 30 minutos y con intervalos de 2 minutos. Cada 2 minutos se tomaban fotografías termográficas de las regiones frontal y lateral derecha e izquierda de la cabeza con el fin de determinar los cambios de temperatura generados en las zonas más cercanas al uso del celular con respecto a las zonas más alejadas.

Se tomó este tiempo de exposición puesto que la bibliografía indica que la exposición a CEM de seres humanos en reposo por aproximadamente 30 minutos puede provocar aumentos de temperatura iguales o inferiores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, además este valor ha sido sugerido como el límite superior de incremento de temperatura sin efectos perjudiciales a la salud. Durante la realización de las pruebas, se consideró adecuado mantener el teléfono celular en contacto

con el oído, tal como se usa de manera común este dispositivo; adicional a esto se tuvo en cuenta en el momento de tomar las fotografías correr levemente el teléfono y la mano de la zona de la cabeza a la que se le deseaba realizar la fotografía termográfica.

Existe la posibilidad de que el tipo y antigüedad del teléfono celular influya en su efecto térmico, una batería en malas condiciones puede generar mayor temperatura, por esta razón se escogieron celulares con las mejores condiciones de funcionamiento y con no más de un año de uso como ya se había informado anteriormente.

Se analizaron los datos obtenidos en la toma de medidas, para determinar la relación entre el aumento de temperatura corporal y el tiempo de exposición a los teléfonos celulares.

Para la implementación del protocolo de investigación se le dio especial atención al reporte de los resultados con su correspondiente estimación de la incertidumbre de medición. La metodología utilizada está basada en la GUM (Guide to the expression of Uncertainty in Measurement) [14] guía de carácter internacional que tiene el propósito de unificar criterios para la estimación de la incertidumbre de medición, para la cual se cuenta con la experiencia del grupo de electrofisiología de la UTP en este tema [15][16]. Es interesante anotar que en el estudio termográfico, para la estimación de la incertidumbre tipo A se tomaron un conjunto de datos de temperatura, que correspondían a cada uno de los pixeles correspondientes a la región de la fotografía termográfica que se quería analizar, de la misma manera se obtuvieron los datos de temperatura para hallar el valor medio de la misma, en la región que se analizaba.

3. RESULTADOS

Se realizaron las mediciones de Intensidad de Campo Eléctrico, Intensidad de Campo Magnético y densidad de potencia, durante una llamada con una duración de 6 minutos, con el fin de determinar si las emisiones de los operadores en Colombia cumplen con los estándares fijados por la legislación vigente. Las pruebas de campo arrojaron como resultado que de los treinta (30) celulares con los que se realizó la prueba, nueve (9) de los teléfonos celulares sobrepasaron los límites establecidos para intensidad de campo magnético y densidad de potencia, aunque en la mayoría de los casos la superación del límite se produce solo en unos pocos instantes de tiempo, es decir que durante los seis minutos en los que se realizó la medición se producen picos o subidas de dichas magnitudes. De los nueve casos que superaron el límite de exposición, cinco de ellos se presentaron cuando el teléfono utilizaba la tarjeta SIM del operador 2. Aunque de manera global para los treinta celulares, los operadores no muestran una tendencia clara en relación a las intensidades.

Los límites máximos de exposición se obtuvieron con base en las disposiciones de la normatividad Colombiana establecidas por el Decreto 195 de 2005 del Ministerio de Comunicaciones, dicha norma está fundamentada en las recomendaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y de la ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes); por lo cual se tomaron las ecuaciones establecidas para Intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia en el rango de frecuencias de 400 – 2000 MHz, para obtener los niveles de referencia para exposición al público general (Ver tabla 1); se seleccionó este rango debido a que abarca las frecuencias de trabajo de los tres operadores con los cuales se realizaron las pruebas y que a su vez corresponden a las principales empresas prestadoras del servicio de telefonía móvil en Colombia.

Los límites de exposición también fueron establecidos mediante el software NBM-TS del Medidor de Campo Narda NBM 520, utilizando los estándares de la ICNIRP 1998 para público general, con las frecuencias de transmisión asignadas para cada uno de los operadores (Operador 1: 824 – 849 MHz; Operador 2: 890 – 915 MHz; Operador 3: 1895 – 1910 MHz),

para los cálculos correspondientes se utilizaron las frecuencias iniciales que tiene asignado cada operador, pues en cada caso corresponden a la menor frecuencia de emisión con la cual transmiten la llamada. Los resultados obtenidos para los límites de exposición por operador se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Límites máximos de exposición por operador.

LÍMITES MÁXIMOS DE EXPOSICIÓN			
Operador	Intensidad de campo eléctrico E [V/m]	Intensidad de campo magnético H [A/m]	Densidad de potencia S [W/m ²]
Operador 1	39,47	0,1062	4,12
Operador 2	41,02	0,1104	4,45
Operador 3	59,86	0,1610	9,48

En la figura 1 se presentan los gráficos que muestran las mediciones de campos que superan los límites para uno de los teléfonos celulares utilizados en el estudio, en los gráficos se encuentran las intensidades emitidas por cada uno de los principales operadores de Colombia, para la línea de referencia del ICNIRP se utilizó la frecuencia más baja de operación de cada uno de los operadores de telefonía móvil en Colombia y se hizo el cálculo respectivo con base en la Tabla 2.

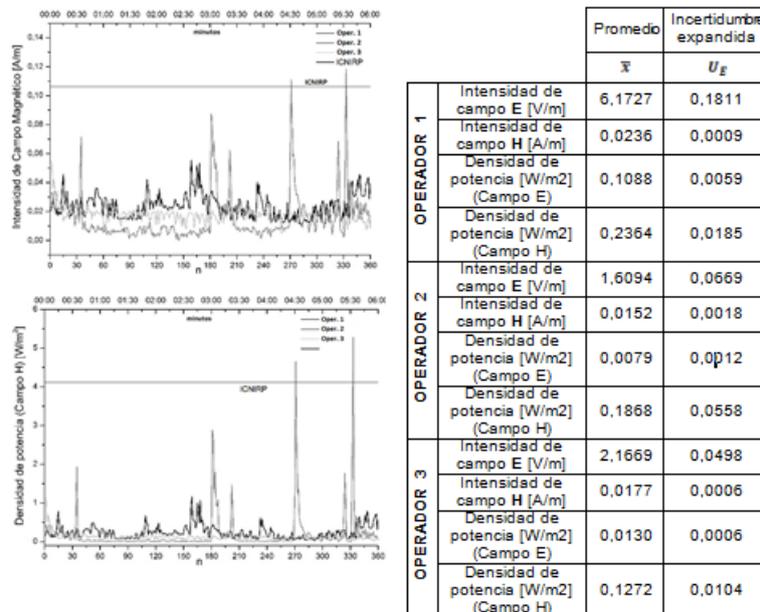


Figura 1. Gráficos que muestran las mediciones de intensidad de campo magnético y de densidad de potencia emitidos por uno de los teléfonos celulares del estudio que supero los límites, durante 6 minutos, para cada uno de los principales operadores de Colombia; las tablas muestran las incertidumbres expandidas (redondeadas) calculadas para el promedio de todas las mediciones.

En lo que respecta al estudio termográfico, se analizaron las zonas más cercanas al teléfono celular; en la zona lateral se evaluó la zona de la oreja y mejilla (parte superior Figura 2) mientras que para las zonas frontales se tomó como referencia los lóbulos oculares debido a su composición acuosa y respuesta a los cambios de temperatura (parte inferior Figura 2).

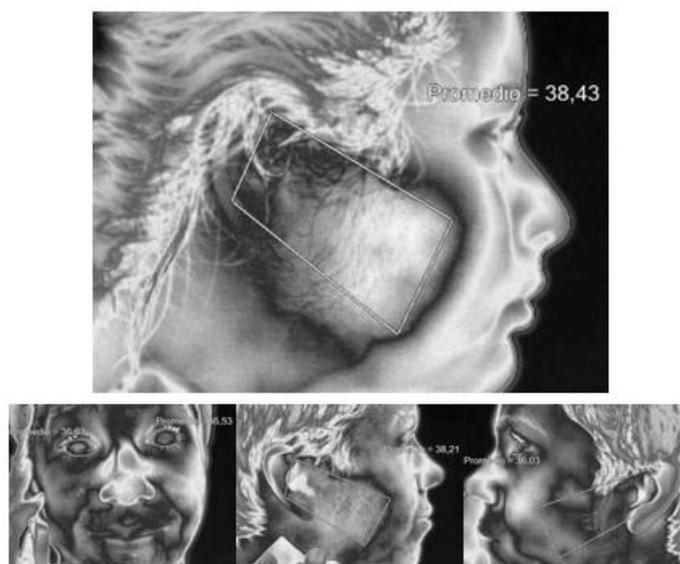


Figura 2. Parte superior: fotografía termográfica de uno de los sujetos de estudio inmediatamente después de haber utilizado el celular 10 minutos. Parte inferior: fotografías laterales y frontal de uno de los individuos del estudio, utilizando un teléfono celular (los valores de temperatura se dan en grados Celsius).

Los resultados para las zonas lateral derecha (la más cercana al teléfono celular) y lateral izquierda de la cabeza fueron concluyentes y demostraron que los aumentos de temperaturas generados por las emisiones del teléfono celular después de 30 minutos de exposición son de manera general superiores a los recomendados por los organismos internacionales y empleados para la formulación de los estándares; los cuales establecen un aumento no superior a 1,0 °C, mientras que los obtenidos mediante esta investigación se encontraron entre 0,88 °C y 3,70 °C (diferencia de temperatura entre las dos zonas). Por otra parte, para la región frontal de la cabeza, en la zona de los lóbulos oculares, no se encontró una gran diferencia de temperaturas entre la zona más cercana a la exposición y la zona no expuesta, esto con base en que en los treinta casos los valores de incremento de temperatura se encuentran dentro de los límites establecidos para que no se produzcan daños oculares, pues el aumento de temperatura debería ser superior a 1°C.

Se observó que los aumentos de temperatura se producen en mayor medida durante los primeros 15 minutos de exposición y factores como el mecanismo termorregulador del usuario juega un papel fundamental en la respuesta de los tejidos a la exposición a los teléfonos celulares (Figura 3). Obsérvese que en la Figura 3 se presenta la tabla de datos de los valores de las diferencias de temperatura para la región lateral (temperatura lateral derecha – temperatura lateral izquierda), en la región lateral derecha se utilizaba el teléfono celular. Se debe recordar que el estudio pretende establecer en este caso el aumento de temperatura de la región que está expuesta directamente al teléfono celular con respecto a la más alejada. En la Figura 4 se presenta un compendio para toda la muestra (30 individuos), de los aumentos de temperatura en la región frontal y lateral luego de 30 minutos de exposición a los teléfonos celulares.

4. CONCLUSIONES

Los valores promedio de los niveles de intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia, en la mayoría de los casos se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos por la normatividad Colombiana los cuales se basan en los estándares de la ICNIRP.

Se observa un aumento evidente de temperatura en la región lateral derecha de la cabeza, región más cercana al teléfono celular; lo anterior se evidencia para cada una de las pruebas realizadas (Figura 4).

Para los casos en que se analiza la diferencia de temperatura alcanzada en la región lateral derecha con respecto a la región lateral izquierda de la cabeza, el aumento de temperatura es evidente; aumentando esta diferencia con el tiempo de exposición. Estos resultados son semejantes para todas las personas involucradas en el estudio y para cada una de las empresas prestadoras del servicio de telefonía móvil en Colombia.

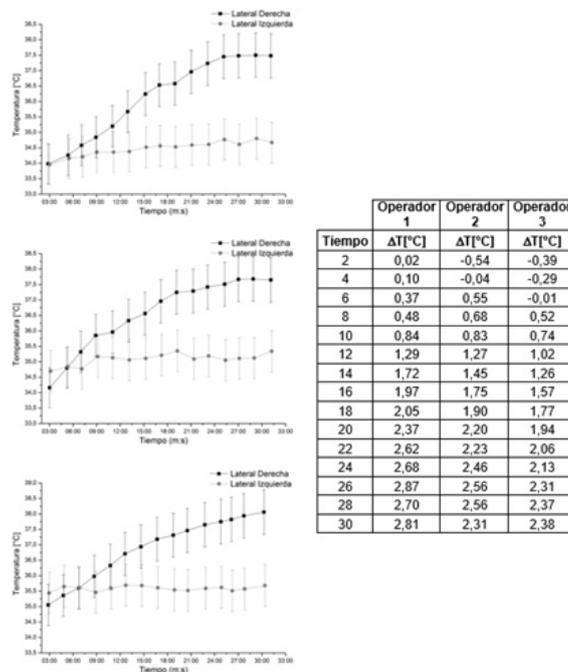


Figura 3. Tabla y gráficos que muestran los efectos térmicos de un teléfono celular sobre uno de los individuos, se establece la comparación entre la región lateral derecha con respecto a la región lateral izquierda.

Cuantitativamente el aumento de temperatura promedio, generada por los teléfonos celulares para la región lateral derecha de la cabeza con respecto a la región lateral izquierda, durante el tiempo de exposición (30 minutos), es mayor de 1,0 °C.

Para los casos en que se analiza la máxima diferencia de temperatura alcanzada en la región frontal derecha con respecto a la región frontal izquierda de la cabeza, no se encontró diferencia significativa entre las temperaturas de la zona más cercana a la exposición (ojo derecho) y la zona no expuesta (ojo izquierdo) en relación al tiempo de exposición durante el uso del teléfono celular; estos resultados son semejantes para cada una de las pruebas realizadas.

Durante los primeros 15 minutos de exposición a los teléfonos móviles se producen los cambios de temperatura más significativos entre la zona lateral izquierda y la zona lateral derecha, en la mayoría de las pruebas realizadas, a partir de ese tiempo la temperatura continua en aumento, pero en menor proporción (ver Figura 4).

Este estudio realizado para el caso de Colombia, coincide con otros estudios experimentales en que se ha tratado de determinar aumentos de temperatura por efecto de los teléfonos celulares; los resultados muestran que la distancia del celular a la cabeza, el calentamiento de la batería y la disipación de potencia del dispositivo, son los factores principales que llevan a un aumento estadísticamente significativo en la temperatura de la piel, mientras que la

exposición a RF (Radiofrecuencias) producidas por la telefonía celular, no tiene este efecto tan significativo [17] [18]. La importancia del estudio que se presenta en este artículo radica en el tipo de instrumentos que se han utilizado (termografía IR de alta precisión) y en que es un estudio para las condiciones Colombianas.

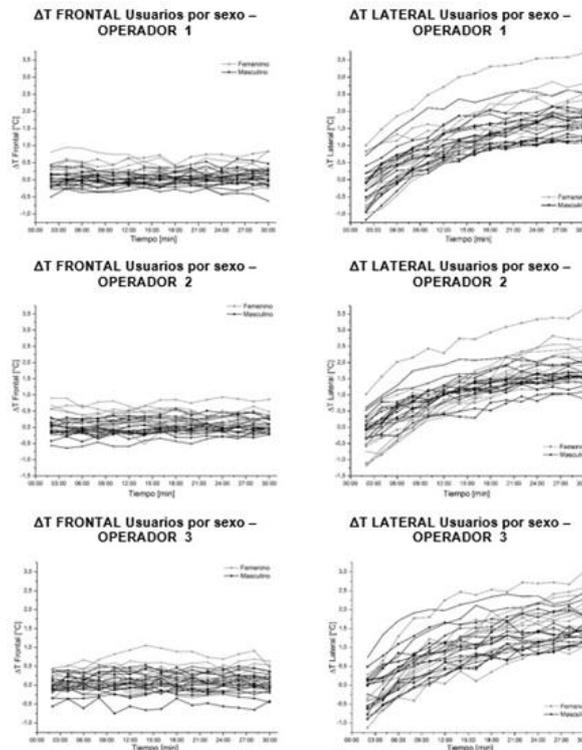


Figura 4. Compendio gráfico para toda la muestra (30 individuos), de los aumentos de temperatura en la región frontal y lateral luego de 30 minutos de exposición a los teléfonos celulares.

Sin importar cuales sean las fuentes de aumento de temperatura, los resultados obtenidos demuestran que es necesario un estudio más profundo del efecto térmico de los teléfonos celulares en humanos, ya que los aumentos encontrados en la muestra de este estudio, son en promedio mayores a 1,0 °C y son superiores a los que constituyen la base del ICNIRP para la formulación de las recomendaciones, la cual considera un incremento máximo de temperatura de 1,0 °C.

4. REFERENCIAS

1. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Norma UIT-T K.52 Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos. Febrero 25 de 2000, 47 p.
2. Guidelines for limiting exposure to time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields. International Commission on Non-ionizing Radiation Protection. Health Physics 1998; 74 (4): 494-522.
3. Organización Mundial de la Salud (OMS), Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles, Nota descriptiva N°193, Junio de 2011. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/index.html>
4. Riesgo por Exposición a Radiofrecuencia (RF) y Microondas (MO). Guía de Seguridad de Laboratorios, Apéndice 2. Universidad de Alcalá. Mayo 2005. Disponible en: http://www.uah.es/universidad/ecocampus/documentos/guia_apendice2.pdf
5. Vargas F, Úbeda A. Campos electromagnéticos y salud pública. [Internet]. Informe técnico elaborado por el comité de expertos. España: 2001. Disponible en: http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/NivelesExposicion/Aspectos%20sanitarios/1.-%20Ministerio%20de%20Sanidad,%20Servicios%20Sociales%20e%20Igualdad/InformeTec_20012001_05_11.pdf

6. García S. La salud humana y los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM-FEB). [Internet]. Argentina: Asociación Toxicológica Argentina. 2005. Disponible en: http://www.ataonline.org.ar/bibliotecavirtual/documentos_utilies/cem_feb.pdf
7. Torres, J, Hildebrando, L. Efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en sistemas biológicos. Revista Médica de Risaralda, enero 2007; 12(2): 44-54.
8. Compatibilidad Electromagnética (medioambiental). SMA Solar Technology AG. Technisch Information, Septiembre 2009. Disponible en http://files.sma.de/dl/7418/EMV_SB-UES093610.pdf
9. Valverde J, Shiguihara P. Comunicaciones por telefonía móvil. Universidad Nacional de Trujillo [Internet]. 2009; 1-35. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/19063724/Comunicaciones-por-Telefonia-Movil>
10. SKCVARCA, J. AGUIRRE, A. Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición. Revista Panamericana Salud Pública, 20(2/3): 205-12, 2006.
11. Organización Mundial de la Salud (OMS), Los campos electromagnéticos y la salud pública: las frecuencias extremadamente bajas (ELF). Nota descriptiva N° 205. Noviembre 1998. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs205/es/print.html>
12. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Recomendaciones para limitar la exposición a CEM (hasta 300 GHz) 2003. Disponible en <http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf>
13. ICONTEC. 2005. NTC-ISO/IEC 17025: 2005. Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración.
14. JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY (Francia). Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) [Archivo PDF en línea]. Sèvres: JCGM, 132 p, 2008.
15. Llamosa L.E. et al : Metodología para la estimación de la incertidumbre en mediciones directas. Revista Scientia et Technica 2009 ; XV(41), 384-389.
16. Llamosa L, et al. Utilización del teorema del límite central en el cálculo de la incertidumbre de medición. Revista Colombiana de Física. 2011; 43(3): 690:695.
17. Anderson V, Rowley J. Measurements of skin surface temperature during mobile phone use. Bioelectromagnetics. 2007 Feb; 28(2):159-62.
18. Straume A, Oftedal G, Johnsson A. Skin temperature increase caused by a mobile phone: a methodological infrared camera study. Bioelectromagnetics. 2005 Sep; 26(6):510-9.