

SAR de teléfonos inteligentes con metamateriales influenciados por contaminación magnética: segunda parte

Héctor **Torres-Silva**

Universidad de Tarapacá
General Velázquez 1775, EIEE, Arica.
CHILE.

correo electrónico (email):
htorres@uta.cl

Recibido 24-10-2017, aceptado 11-01-2018.

Resumen

En este artículo se analiza la reducción de la tasa de absorción específica (SAR) en smartphones con capa metamaterial bajo la presencia de contaminación magnética. Desde el inicio de la especificación del SAR por parte de los fabricantes, no se tiene en cuenta la fuerte influencia del campo magnético generado por las líneas de transmisión, el interior de las plataformas de los trenes eléctricos, la proximidad de los dispositivos eléctricos que aumentan la absorción. Además de esta contaminación magnética está la contaminación de material particulado (magnetita) que se produce en ciudades industriales, que se aloja en el cerebro y que es responsable de que el valor del SAR que afecta al usuario sea superior al SAR estipulado por los fabricantes. La capa metamaterial propuesta en este artículo como blindaje reduce el SAR en aproximadamente el 50%.

Palabras clave: SAR, magnetita, metamaterial, microondas, teléfono móvil.

Abstract (SAR of Smart Phones with Metamaterials Influenced by Magnetic Pollution: Second Part)

In this article we analyze the reduction of the specific absorption rate (SAR) in smartphones with metamaterial layer under the presence of magnetic contamination. From the beginning of the specification of the SAR by the manufacturers, it is not taken into account the strong influence of the magnetic field generated by the transmission lines, the interior of the platforms of the

electric trains, the proximity of the electrical devices that increase absorption. In addition to this magnetic contamination is the contamination of particulate matter (magnetite) in industrial cities, which is lodged in the brain and it is responsible that the value of SAR affects the user is much higher than SAR stipulated by manufacturers. The metamaterial layer proposed in this article as shielding reduces SAR by approximately 50%.

Index terms: SAR, magnetite, metamaterial, microwaves, smartphones.

1. Introducción

El uso de teléfonos móviles ha crecido rápidamente en las comunidades globales en esta década. La absorción electromagnética y la energía emitida por el teléfono celular se han discutido en los últimos años por los posibles efectos nocivos en la salud del usuario. En muchos países se han definido estándares de exposición para proteger al cuerpo humano de la exposición electromagnética. La tasa de absorción específica (SAR) es un parámetro definido para evaluar la absorción de energía en el tejido biológico. Por lo general se define como el nivel de exposición a la radiación de un cuerpo, y expresa la extensión del calor absorbido por los tejidos de un cuerpo. El SAR se expresa en vatios por kilogramo (W/kg). Para el teléfono celular, el valor SAR no debe exceder las pautas de exposición [1]. En relación con la absorción de microondas por el usuario y su regulación, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) y la europea han aprobado hace 20 años dos procesos o métodos para certificar que el dispositivo inalámbrico cumple con el límite de exposición requerido: de SAR mediante simulación por computadora, y (2) obtención de SAR en un Maniquí Antropomórfico Específico (SAM). La determinación de SAR por el método (1) ha sido simulada por el método de diferencias finitas FDTD en [1], concluyendo que es necesario considerar el blindaje con metamateriales en móviles de gama alta en modo 4G y futuro 5G.

El segundo método se basa en un maniquí de plástico que representa a un adulto. Un líquido con las propiedades de absorción promedio de los 40 tejidos de la cabeza se vierte en un agujero en la parte superior de la cabeza o el cuerpo del maniquí. Se mide en un laboratorio anecóico blindado a las

perturbaciones electromagnéticas y de campos magnéticos de baja frecuencia. Un brazo robótico con una sonda de campo eléctrico se encuentra dentro del maniquí de tal manera que la ubicación del campo eléctrico más alto está dentro de cualquier volumen cúbico. Un teléfono móvil para ser certificado se coloca unido a ambos lados del SAM. Los valores del campo eléctrico se utilizan para calcular la tasa máxima de absorción espectral (SAR) para un gramo de tejido (equivalente a un volumen de un centímetro cúbico). La FCC o equivalente europeo requiere que todos los modelos de teléfonos celulares sean aprobados por su tasa de absorción específica o SAR. Si el SAR máximo es igual o inferior al límite de exposición de los Estados Unidos de 1,6 W/kg, el teléfono está certificado para la venta. En Europa el límite es de 2,0 W/kg. Los límites SAR se impusieron hace 20 años cuando sólo la tecnología 2G estaba disponible, sin embargo, el salto actual de 3G a 4G significó un aumento exponencial en el volumen de tráfico y usuarios.

El advenimiento de la tecnología 5G (la quinta generación de tecnologías de telefonía móvil) permitirá una velocidad de banda ancha móvil más rápida y un uso más intensivo de datos móviles como Internet de las Cosas (IoT). Desde la realidad virtual y los autos autónomos hasta internet industrial, las ciudades inteligentes o el video a la carta, la tecnología 5G estará en el centro del futuro de las comunicaciones con una latencia de uno a dos milisegundos. El éxito de estos servicios también dependerá, en gran medida, de las iniciativas de los gobiernos y reguladores de cada país. Por encima de todo, la velocidad, el alcance y la calidad de los servicios 5G dependerá del acceso al espectro y de las bandas apropiadas que los gobiernos y los reguladores proporcionen de manera oportuna y conveniente. Esto requiere una gran cantidad de espectro nuevo para servicios móviles tales como las tres bandas: por debajo de 1 GHz, 1-6 GHz y por encima de 6 GHz para contribuir al soporte de los servicios de Internet de Internet de las Cosas (IoT). Esta expansión requerirá, por otro lado, que los gobiernos y los reguladores deben adoptar políticas nacionales dirigidas a generar nuevas regulaciones sobre la absorción de energía de microondas de los smartphones que ya con el 4G funcionan simultáneamente WIFI, Bluetooth, especialmente en los niños [3]. Por ejemplo, como los teléfonos celulares más recientes, los dos nuevos modelos de iPhone tienen varios transmisores que emiten simultáneamente radiación de microondas, que incluye teléfono móvil, Wi-Fi, Bluetooth y radiación. Cuando todos estos transmisores están activados, el valor SAR es de 1,58 para el iPhone 6 y 1,59 para el iPhone 6 Plus. Estos niveles están muy cerca del límite legal que es de 1,60 W / kg. Se puede inferir que los móviles de gama alta emiten más radiación porque presentan mayor ancho de banda y más aplicaciones simultáneas.

En la actualidad la polución electromagnética en grandes ciudades unida a la contaminación industrial de material particulado (magnetita), hace que el SAR actual indicado por los fabricantes no es un buen indicador de la exposición acumulativa a las microondas por parte del usuario en condiciones reales donde además influye la aglomeración de artefactos eléctricos que generan campos magnéticos de baja frecuencia que al interactuar con las microondas permiten aumentar significativamente el SAR como se ha demostrado en [1]. De hecho, estas estimaciones no consideran la influencia de un entorno magnetizado (cerca de líneas de alta tensión, plataformas interiores de trenes subterráneos y en general cerca de aparatos eléctricos que generan un campo magnético apreciable que interactúa con microondas de teléfonos móviles y contribuye a un aumento significativo en SAR). Un ejemplo de entorno magnetizado se muestra en la Figura 1.

Algunos resultados numéricos han demostrado que en un gramo de tejido con un valor SAR medio se pueden superar las directrices de exposición cuando se coloca un teléfono portátil cerca de la cabeza, se obtiene un valor SAR del orden de ocho a nueve veces el SAR estipulado por el fabricante de acuerdo a nuestra simulación sin blindaje metamaterial [1], [9]. Además, el límite SAR no protege a los usuarios de los efectos no térmicos de la radiación del teléfono celular. De



Fig. 1. Una línea de transmisión trifásica de 13,2 (KV) cuyas líneas están muy cerca de edificios de apartamentos en una zona suburbana de Chile, mostrando que el campo magnético dentro de estos pisos es del orden de 50 a 100 microteslas cuando interactúan con el microondas del teléfono inteligente.

hecho, cientos de estudios de laboratorio con muestras de animales y células han encontrado efectos biológicos nocivos de la exposición a corto plazo a la radiación de bajo nivel celular, incluyendo el desarrollo de proteínas de estrés, micronúcleos, radicales libres, descomposición de ADN y daño espermático. Otros riesgos del uso de teléfonos celulares incluyen la salud reproductiva y la infertilidad masculina, y trastornos neurológicos (por ejemplo, deterioro de las funciones cognitivas, dolores de cabeza y migrañas y trastorno por déficit de atención/hiperactividad) (véase referencias en [1] y [3]). Por lo tanto, la mayoría de los consumidores están en la oscuridad acerca de las precauciones que pueden tomar para mantener su exposición a la radiación de microondas por debajo del límite legal.

Además de esta contaminación electromagnética debido al ambiente magnetizado, en el cerebro humano, la magnetita también se cree que precipitar biológicamente como parte del metabolismo del hierro [4], pero ahora, en PNAS, Maher *et al.* [5] sugieren que puede provenir de una fuente externa. La contaminación del aire comprende no sólo gases (por ejemplo, óxidos de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre) sino también partículas sólidas, que varían en tamaño desde unos pocos nanómetros a varios micrómetros. Estas partículas, conocidas como materia particulada (PM), se generan a través de procesos naturales y de la actividad humana, y se emiten directamente a la atmósfera. Como resultado de la circulación atmosférica, las partículas transportadas por el aire en un entorno dado pueden derivarse de fuentes industriales locales y distantes, tales como, chimeneas, tráfico o operaciones de minería. Entre este material particulado está la magnetita que es un componente abundante de la contaminación atmosférica PM, especialmente en el medio urbano [4], [5], donde se ha identificado en el gasóleo diesel, como partículas de freno-abrasión, en el aire de las estaciones subterráneas, a lo largo de las líneas ferroviarias, en los lugares de trabajo de soldadura, y en las emisiones de los procesos de combustión industrial. Aquí, invocamos ese mecanismo de PM para la transferencia de nanopartículas de magnetita derivadas de la contaminación del aire al cerebro que hace aumentare el SAR debido a las microondas y a la contaminación derivada de un ambiente magnetizado.

Esta situación nos obliga a considerar el efecto de los metamateriales que protegen al móvil como protección para el usuario. Una posible aplicación de los metamateriales [1], [2], está en la atenuación de microondas de teléfonos celulares con una reducción SAR de alrededor del 50% [1] en espacios abiertos, pero en el entorno magnético asociado a la magnetita alojada en el cerebro del usuario produce un fuerte aumento de SAR por lo que el blindaje de metamaterial propuesto es una compensación al aumento del SAR.

2. Metamaterial como blindaje

El efecto de la radiación electromagnética ha sido considerado, hasta ahora, por la acción del campo eléctrico y su efecto térmico, medido con el coeficiente SAR. Pero también se debe considerar la acción del campo magnético. El nivel de campo magnético bajo 500 nanoteslas (nT) es considerado seguro y aceptable por muchos científicos. Los niveles de campos magnéticos pueden fluctuar entre 1.000 nT a 7.000 nT, los niveles por encima de 7.000 nT se consideran peligrosos [6], [7], aunque estos son límites aceptables, muchos de los artefactos utilizados actualmente superan estos límites, especialmente los teléfonos celulares en entornos magnetizados. Los campos magnéticos son dañinos para el cuerpo humano si se absorben a altas intensidades. La fuerza del campo magnético transmitida desde una antena de la mayoría de los teléfonos celulares (aproximadamente 2,5 to 3.0 cm de la antena) es sobre 2.000 nT. Cuando de un teléfono celular se responde a un llamado, la corriente de la batería emite campos magnéticos de 1.000 a 6.000 nT. Los científicos creen que las altas intensidades de los campos magnéticos son la causa de los tumores cerebrales y el cáncer en el cuerpo humano [6], [7].

La tasa de absorción específica se define como la relación entre una cantidad de energía infinitesimal, absorbida por un elemento infinitesimal de masa:

$$SAR = \frac{1}{2} \frac{\sigma}{\rho} |E|^2 \quad [\text{W/kg}] \quad (1)$$

De las ecuaciones de Maxwell [1], [9], [10], considerando la baja frecuencia ω_0 del campo magnético B_0 , el SAR se calcula localmente de la siguiente manera:

$$SAR_{ij} = \frac{\sigma_{ij} E_T^2(\beta, B_0, \omega_0, t)|_{ij}}{2\rho_{ij}} \quad (2)$$

$$E_T|_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n E_y^2|_{ij} + E_x^2|_{ij} + E_z^2|_{ij}} \quad (3)$$

donde los componentes del campo cartesiano de las ecuaciones de Maxwell son:

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right] + \beta\omega (k_x H_y - k_y H_x) - \frac{2B_{0z}\omega_0}{\mu} \quad (4)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right] + \beta\omega (k_x E_y - k_y E_x) - \frac{\sigma}{\varepsilon} E_z \quad (5)$$

Así sucesivamente, donde $\omega=2\pi f$, $k_x=2\pi/\lambda_x$ y $k_y=2\pi/\lambda_y$. Aquí está la conductividad σ y $\omega_0 t \leq 1$ representa la baja frecuencia del campo magnético B_0 , con $\omega_0 t \leq 1$. El efecto magneto quiral es representado por el factor β debido a la magnetita y por el campo magnético B_0 que puede tomar en cuenta el campo externo y el campo magnético generado por la corriente de la batería. Detalles sobre los parámetros de simulación son encontrados en [1].

El esquema para calcular la ecuación (3) se muestra en la referencia [1], donde las matrices digitalizadas de la cabeza se obtienen de acuerdo con los parámetros que se consideran para el cálculo y la simulación que son dados en [1], [9].

En esencia y resumidamente el esquema de cálculo del SAR en unidades de W/kg es como se muestra en la Figura 2.

En este esquema el proceso de cálculo consta de 6 etapas, las cuales se explican a continuación

Paso 1. A partir de una lámina MRI, se generan los datos necesarios para llevar a cabo el modelado en detalle de cada tejido al interior de la cabeza. Es así como el modelo de la cabeza humana se genera a partir de scanner. De los datos generados se obtienen sólo imágenes a color, llegando a un total de 54 cortes que juntos forman una cabeza de tipo cilíndrica. Esto representa un modelo de 86.400 celdas cúbicas para el caso de matrices de 40x40, donde cada corte o capa es de 0,5 cm y cada celda del corte en estudio corresponde a 0,5 cm para 40x40 en la capa 34, ya que en esta se encuentran dos áreas importantes de la cabeza, el sector oído y el sector cerebro respectivamente.

Paso 2. Se realiza el modelado por medio de MATLAB, obteniendo así una matriz la cual es almacenada en un archivo .mat de MATLAB.

Paso 3. Se obtienen 54 frames correspondientes a la cabeza humana, las que juntas forman el modelo cuadrado de la cabeza humana.

Paso 4. Aquí se indican los parámetros que se considerarán para los cálculos que se desarrollan en este trabajo. Primero se considera el campo magnético en baja frecuencia, el cual está incluido en el desarrollo de las ecuaciones de Maxwell y luego en el método FDTD. El factor normalizado del campo magnético externo o de la batería está incluido sólo en el medio que corresponde al cerebro. La capa metamaterial se incluye entre la antena y la cabeza humana.

Paso 5. Después de tomar en cuenta las consideraciones ya indicadas, se ejecuta el programa en la plataforma MATLAB, es decir se procede a calcular por medio de FDTD los campos electromagnéticos, para luego obtener el valor del SAR. El set de ecuaciones (1) a (5) se consideran en el paso 5.

Paso 6: La obtención del SAR se representa por medio de una matriz de 40x40 o 80x80 según corresponda, esta se puede representar de diversas formas, en la figura 2 se muestra en forma gráfica 3D, pero también se puede representar por colores, perfiles y una vez obtenidas se pueden graficar curvas paramétricas como se muestra en las figuras (3) y (4).

Los valores de la permitividad relativa, la conductividad eléctrica y la densidad aparente de masa en cada uno de los tejidos

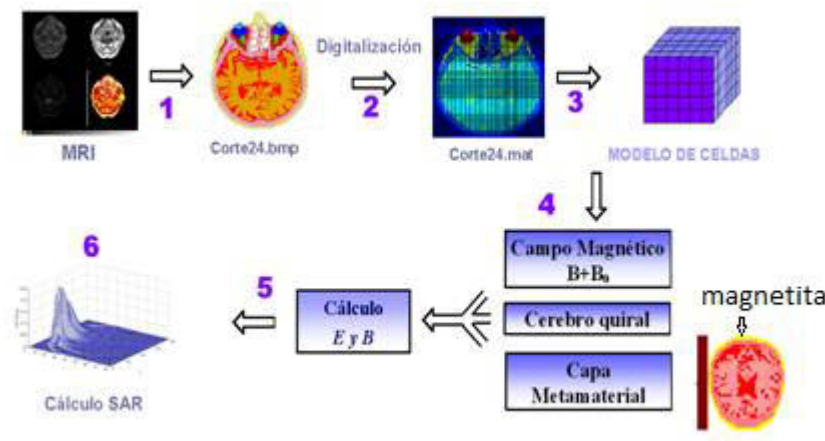


Fig. 2. Esquema de modelado y proceso de simulación utilizado.

dos descritos anteriormente se dan en [1], [10]. Los valores de los parámetros de conductividad, permeabilidad y permitividad son valores medios medidos. El factor que considera el metamaterial con índice de refracción negativo se toma como variable.

La caída de SAR en torno de los 2 cm (celda n° 4) corresponde al cráneo de la cabeza que contiene menor cantidad de agua. Esta caída del SAR se repite en todas las figuras y el máximo del SAR se observa en el interior del cerebro y en la sangre.

La curva punteada en la Figura 3 corresponde a un teléfono inteligente sin metamaterial y sin campo magnético externo $B_0 = 0$ y sin contaminación de magnetita. La potencia de entrada a la antena es de 0.35 vatios, y simula adecuadamente el SAR ($1.2 < SAR < 1.5$), dado por los fabricantes de smartphones de alta gama. Esta situación es ideal y correspondería solo a localidades en espacios libres. La curva sólida corresponde a un campo magnético máximo que se obtiene de la figura 1 [11], el cerebro fue modelado con magnetita en las células 8 y 10 con un $\beta\omega = 0.1\%$ de magnetita en esas celdas, mostrando que en estas células se tiene una condición de resonancia y que muestra la influencia del campo magnético generado por la línea de alto voltaje interactuando con la magnetita producto del material particulado. Se observa que los máximos del SAR tienen relación directa con la magnetita en el cerebro y contribuye con un 30% de aumento en la absorción. Se observa también que a medida que el campo de baja frecuencia aumenta la penetración del SAR es mayor y afecta a todo el cerebro corroborando el hecho de que no hay blindaje para los campos magnéticos cuando interactúan con las microondas del móvil. Por lo tanto, en ambientes fuertemente magnetizados el blindaje con metamateriales es necesario como protección personal para el usuario que utiliza frecuentemente el móvil, la situación puede llegar a ser crítica si el usuario es un niño porque el cerebro contiene más agua y por lo tanto la absorción es mayor [1], [3], [4], [9].

En la Figura 4, tenemos SAR frente a la distancia en términos de la celda de tamaño de 0.5 cm para varios valores de $\beta_0\omega_0$.

De estos resultados se desprende que en el caso de considerar la interacción del campo magnético de baja frecuencia y las microondas del móvil y los contaminantes de material particulado, los resultados sobrepasan los límites de exposición y sugieren que en ambientes extremadamente magnetizados en ciudades urbanizadas, se deben tomar precauciones más exigentes en los límites de exposición frente a la radiación especialmente en niños que tendrán un tiempo de acumulación mayor de radiación de los smartphones a lo largo de sus vidas. Trabajos anteriores han mostrado una

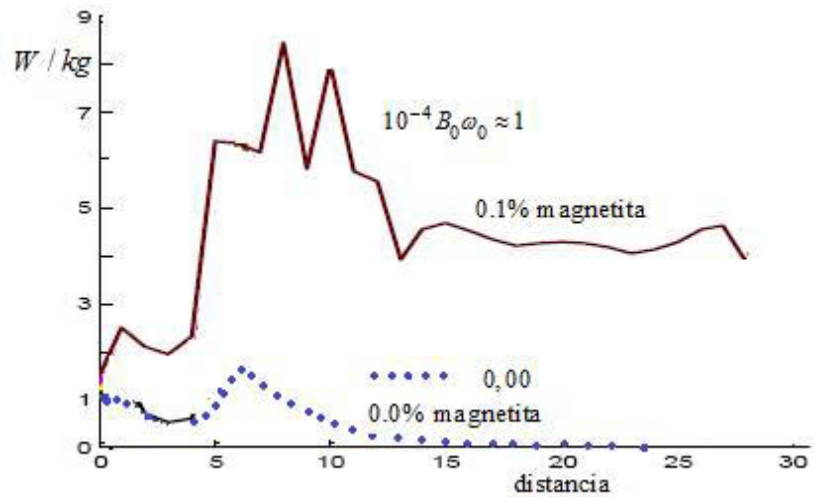


Fig. 3. La curva sólida tiene como parámetro el campo magnético multiplicado por la frecuencia angular sin protección metamaterial.

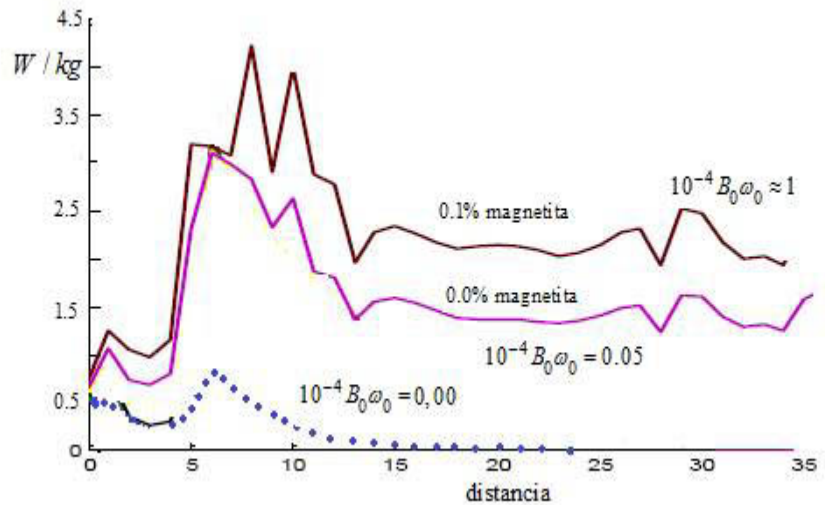


Fig. 4. Las curvas tienen como parámetro el campo magnético multiplicado por la frecuencia angular con protección metamaterial que reduce el SAR en aproximadamente el 50% si se compara con la figura 3. El modelo cerebral se discute en [8, 9] y las propiedades de un metamaterial se describe en [11], [12], [13], [14].

correlación entre la cantidad de magnetita cerebral y la incidencia en la Enfermedad de Alzheimer (EA) [15], [16]. Los cambios neuropatológicos asociados con EA incluyen la formación de placas seniles, que contienen fibrillas β -amiloides (por ejemplo en [17] y [18]). La radiación de microondas del smartphone puede acelerar la aparición del Alzheimer.

3. Conclusiones

En este artículo se analizó la reducción de la tasa de absorción específica (SAR) en smartphones con capa metamaterial bajo la presencia de contaminación magnética. Esta contaminación está constituida por campos magnéticos de baja frecuencia y por contaminantes de material particulado de magnetita que se debe a la actividad industrial y a la combustión. La magnetita producida que se localiza en el cerebro del usuario de un teléfono celular se hace más evidente en ciudades como Ciudad de México, Lima, Santiago, La Paz, es un factor nuevo que hace aumentar el SA significativamente. Desde el inicio de la especificación del SAR por parte de los fabricantes, no se tiene en cuenta por una parte, la fuerte influencia del campo magnético generado por las líneas de transmisión, el interior de las plataformas de los trenes eléctricos, la proximidad de los dispositivos eléctricos que aumentan la absorción y por la contaminación de material particulado (magnetita) en ciudades industriales por otra parte. El SAR obtenido es muy superior al SAR estipulado por los fabricantes. La capa metamaterial propuesta en este artículo como blindaje reduce el SAR en aproximadamente el 50%. Este artículo complementa a la referencia [1] pero incorpora la influencia de la magnetita en el cálculo del SAR.

Referencias

- [1] H. Torres-Silva, "Refracción negativa y SAR en un teléfono celular hecho de metamaterial," *Científica*, vol. 21, núm. 2, julio-diciembre 2017
- [2] H. Torres-Silva, "Microwave absorption in a cell phone shielded by metamaterials for personal protection," *Dyna, New Technologies* 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8407>.
- [3] H. Torres-Silva, "A metamaterial revision," *Dyna New Technologies*, enero-diciembre 2017, vol. 4, núm. 1, 2017 DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8331>.
- [4] L. Lloyd Morgan *et al.*, "Why children absorb more microwave radiation than adults: The consequences," *Journal of Microscopy and Ultrastructure* 2, 197-204, 2014.
- [5] R. Gieré, "Magnetite in the Human Body: Biogenic vs. Anthropogenic," *PNAS*, octubre 25, vol. 113, núm. 43, 2016, pp. 11986-11987.
- [6] B. A. Maher *et al.*, "Magnetite pollution nanoparticles in the human brain," *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 113, núm 39, pp.10797-10801, 2016.
- [7] W. R. Adey, "Biological effects of electromagnetic fields," *J Cell, Biochem*, núm. 51, pp. 410-416, 1993.
- [8] D. Fine Maron, "Major Cell Phone Radiation Study Reignites Cancer Questions," *Scientific American*, 2016. Disponible en <https://www.scientificamerican.com/article/major-cell-phone-radiation-study-reignites-cancer-questions>.
- [9] M. Zamorano, & H. Torres-Silva, "FDTD chiral brain tissue model for specific absorption rate determination under radiation from mobile phones at 900 and 1800 MHz," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, núm. 7, 2006.
- [10] H. Torres-Silva *et al.*, "Enhanced absorption in children brain under microwaves fields," *Open Journal of Biomedical & Life Sciences*, vol 2, núm. 2, pp. 01-07, 2016.
- [11] H. Torres-Silva, J. L. Lopez-Bonilla, "Chiral waves in Metamaterial medium," *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, núm. 2, pp. 54-65, 2011.
- [12] M. Faruque, M. Islam, & N. Misran, "Electromagnetic (EM) absorption reduction in a muscle cube with metamaterial attachment," *Medical Engineering & Physics*, vol. 33, núm. 5, pp. 646-652, 2011.
- [13] M. Faruque, M. Islam, M. Ali, "A New Design of Metamaterials for SAR Reduction," *Measurement Science Review*, vol. 13, núm. 2, pp. 70-74, 2013
- [14] H. Torres-Silva, "Metamaterial news and development," *Dyna*, vol. 92, núm. 3, pp. 251-253, 2017.
- [15] Q. Pankhurst, D. Hautot, N. Khan, & J. Dobson, "Increased levels of magnetic iron compounds in Alzheimer's disease," *J Alzheimers Dis*, vol. 13, núm. 1, pp.49-52, 2008.
- [16] D. Hautot, Q. Pankhurst, N. Khan, & J. Dobson. "Preliminary evaluation of nanoscale biogenic magnetite in Alzheimer's disease brain tissue," *Proc Biol Sci*, núm. 270 (Suppl 1), pp. S62-S6, 2003.
- [17] Y. Chen, N. Shah, F. Huggins, & G. Huffman. "Microanalysis of ambient particles from Lexington, KY, by electron microscopy," *Atmos Environ*, vol. 40, núm. 4, pp. 651-663, 2006.