Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Física

Penetración de la radiofrecuencia en el cerebro de los niños de 5 y 10 años

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

AUTOR

Eraldo HUAMANI SALVATIERRA

ASESOR

Dr. Raúl Félix CARITA MONTERO

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Huamani, E. (2018). *Penetración de la radiofrecuencia en el cerebro de los niños de 5 y 10 años*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Física]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	ERALDO, HUAMANI SALVATIERRA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41542953
URL de ORCID	----------
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	RAÚL FÉLIX, CARITA MONTERO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08385676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6275-5554
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	LUIS ALBERTO, BOLARTE CANALS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07900417
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	EDUARDO, CUSTODIO CHUNG
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09069935
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica.

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Calle: Av. Germán Amézaga N° 375 Latitud: -12.059880732651926 Longitud: -77.0816667613995
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Noviembre 2017 - mayo 2018
URL de disciplinas OCDE	Física nuclear https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.03.04 Física atómica, molecular y química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.03.01

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

Siendo las 17:00 horas del martes 31 de julio de 2018, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Físicas (Auditorio 109), bajo la Presidencia del Mg. Luis Alberto Bolarte Canals (Presidente), Mg. Eduardo Custodio Chung (Miembro), y el Dr. Raúl Félix Carita Montero (Asesor), se dió inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica para la Licenciatura en Física, mediante la Modalidad M3 – Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

ERALDO HUAMANI SALVATIERRA

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invitó al Bachiller Eraldo Huamani Salvatierra, a realizar una exposición del Trabajo de Monografía Técnica titulada: "Penetración de la radiofrecuencia en el cerebro de los niños de 5 y 10 años".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente, invitó al Bachiller y al público a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión, para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Asimismo, se verifico que el promedio obtenido por el bachiller en el VIII Ciclo de Actualización Profesional es de quince (15).

Al término de la deliberación del Jurado el Mg. Luis Alberto Bolarte Canals, invitó al candidato y al público a pasar a la Sala de Sesión, para dar lectura al resultado de la deliberación. Ha obtenido la calificación de:

15	16	16
NOTA DEL VIII CAP	NOTA DE LA SUSTENTACIÓN DE LA MONOGRAFÍA	PROMEDIO

Finalmente, el Presidente del Jurado, propone al Consejo de la Facultad que se le declare Licenciado en Física al Bachiller Eraldo Huamani Salvatierra En virtud de haber obtenido un promedio de...DIECISEIS..... (16). Según el artículo 46° del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Físicas. Siendo las 18:28.....Horas, se levanta la Sesión.

Mg. Luis Alberto Bolarte Canals
PRESIDENTE

Mg. Eduardo Custodio Chung
MIEMBRO

Dr. Raúl Félix Carita Montero
ASESOR

Dirección: Calle Germán Amézaga N.° 375 - Lima
Facultad de Ciencias Físicas
Apartado Postal: 14-0149 – Lima 14 Perú

Escuela Académico Profesional de Física
6197000 Anexo 3805
E-mail eapfis@unmsm.edu.pe

Escaneado con CamScanner

La presente monografía le dedico a mi familia por su comprensión durante la elaboración de este trabajo y a los docentes de la UNMSM que aportaron en mi formación científica.

RESUMEN

Los métodos numéricos son una herramienta computacional, que nos permite simular la interacción electromagnética con el tejido biológico y de esta manera podemos pronosticar cuanta energía de radiofrecuencia absorben los diferentes tejidos que componen nuestro cuerpo. Esta medida lo hacemos mediante el SAR.

En la actualidad los celulares son un elemento muy indispensable para nuestra comunicación, a través de algunos reportajes de televisión se percibe que no hay una información clara de si las radiaciones que emiten los celulares sean perjudiciales para la salud de los usuarios y de los niños. Este es el motivo que permitió desarrollar esta investigación. Centrándome en indagar la capacidad de penetración de la radiofrecuencia en la cabeza de niños y hacer una comparación con la cabeza de un adulto.

Respecto a esto en la literatura científica se ha encontrado muchas simulaciones numéricas mediante el Método de Diferencias Finitas y todos señalan que la cabeza de los niños absorbe más energía de radiofrecuencia que la cabeza de los adultos. Y en nuestra ciudad se observa que los niños manipulan los celulares sin ningún control de parte de sus padres o tutores, puesto que no tienen mucho conocimiento de estos temas.

Además, se ha encontrado que los límites máximos permisibles de las radiaciones que emiten los celulares lo han establecidos tomando un modelo de una persona adulta. No hay ninguna norma que limita la exposición a niños, y sabemos que ellos son muy propensos a absorber mayor energía de la radiofrecuencia. Por otro lado, el comunicado que señala la organización mundial de la salud (OMS) respecto a las radiofrecuencias es posiblemente carcinógeno.

Se ha encontrado algunos estudios que lo han realizado entidades como PubMed que no están asociadas a la OMS, que señalan que las radiofrecuencias y las radiaciones del wiffi producen efectos no térmicos, este último causa fragmentación del ADN de los de los espermatozoides.

CONTENIDO

RESUMEN

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO 2: OBJETIVOS 2

2.1. Objetivos Generales: 2

2.2. Objetivos específicos: 2

CAPITULO 3: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 3

3.1.1. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS 3

3.1.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO 4

3.2. INTERACCIÓN DE LA RADIOFRECUENCIA CON EL TEJIDO BIOLÓGICO ... 5

3.3. MAGNITUDES DOSIMETRICAS DE LA RADIOFRECUENCIA 6

3.3.1 Absorción específica (SA) 6

Capítulo 4: MÉTODO NUMERICO PARA SIMULAR LAS RADIOFRECUENCIAS ... 8

Capítulo 5: CRITERIOS PARA ESTABLECER LOS LIMITES DE EXPOSICIÓN A LA RF 10

5.1 LIMITES DE EXPOSICIÓN A LA RADIOFRECUENCIA 10

Capítulo 6: ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN ENCONTRADAS EN LA LITERATURA CIENTIFICA. 12

Capítulo 7: ESTUDIOS REALIZADOS DE LOS EFECTOS NEGATIVOS DE LA RF. 23

Capítulo 8: CONCLUCIONES Y SUGERENCIAS 25

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA 26

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

En la actualidad los teléfonos móviles son dispositivos de comunicación muy importantes en nuestra vida cotidiana por muchas de sus funciones y aplicaciones. El cual es una tecnología muy reciente, en muchos países lo utilizan más del 50 % de la población.

En nuestra ciudad entre 2014 y el 2016 hubo un aumento de 41.8% a 46.1% en el uso de teléfonos móviles de jóvenes de 12 a 17 años de edad (OSIPTEL, 2017), en esta edad los jóvenes se encuentran en pleno desarrollo biológico, y los límites máximos permisibles de la radiación, emitidos por los celulares son establecidos ICNIRP Y IEEE tomando la anatomía y biología de un adulto, esto genera cierta controversia. Por ello es de suma importancia investigar, comprender y seguir de cerca los efectos que podrían generar a largo plazo en la salud de los usuarios.

Además en la actualidad por falta de conocimiento de sus padres respecto al tema, en ocasiones se ven niños recibiendo llamadas por un teléfono móvil, este durante la comunicación emiten radiación que están formadas por campos magnéticos y eléctricos con intensidades variables que tiene la capacidad de atravesar los tejidos, mientras ocurre esto la radiación se va atenuando depositando energía en los tejidos.

Por tales motivos se hará una revisión de la literatura científica de dosimetría computacional empleando modelos anatómicos de cabeza humana, con ello podemos predecir el grado de penetración de las radiaciones y estimar la energía depositada en el cerebro por cada gramo de tejido. Para esta simulación se emplean dos cabezas con dimensiones de la anatomía de un niño y de un adulto para comparar los resultados obtenidos de la potencia de absorción de los tejidos del cerebro. Además se indagara respecto al criterio elegido por la ICNIRP y IEEE para establecer los límites máximos permisibles de la exposición de las radiofrecuencias emitidas por el teléfono móvil.

CAPITULO 2: OBJETIVOS

2.1. Objetivos Generales:

Conocer el grado de penetración de las radiofrecuencias en el cerebro de niños y adultos mediante simulaciones numéricas.

2.2. Objetivos específicos:

- Investigar los criterios para establecer los límites máximos permisibles de la radiofrecuencia en la cabeza de los usuarios de los teléfonos celulares.

- Comparar la profundidad de la penetración de la radiofrecuencia en el cerebro de niños y adultos, cuando realizan una llamada por celular.

- Conocer estudios realizados respecto de los posibles efectos negativos de la radiofrecuencia en el cerebro de los usuarios.

CAPITULO 3: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1.1. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

El físico escoces James Clerk Maxwell (1831-1879) sintetiza los fenómenos de la electricidad y el magnetismo mediante sus conocidas ecuaciones de maxwell, que se muestra a continuación:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \qquad \nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \qquad \nabla \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{0}$$

A partir de estas ecuaciones maxwell deduce que en nuestra naturaleza existe el fenómeno de las ondas electromagnéticas con esto descubre la rapidez de la luz en el vacío 300 000 km/s.

La onda electromagnética es la propagación de perturbaciones de campo electromagnético, este mecanismo se da de la siguiente manera un campo eléctrico variable en el tiempo, origina un campo magnético también variable y viceversa. Como se muestra en la siguiente figura:

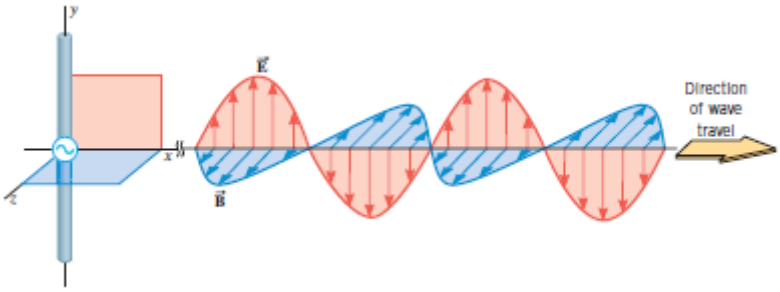

Figura 1. **Representación de los Campos eléctricos y Magnéticos en una OEM.** (Cutnell & Johnson, 2012, pág. 740)

La figura 1 muestra una antena que emite una onda electromagnética el cual está compuesto por campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo.

De acuerdo al físico Alemán Max Planck (1858-1947) las ondas electromagnéticas están cuantizadas es decir están formadas por pequeños paquetes de energía a escala de los átomos. Actualmente se le denominado fotones, el cual es proporcional a la frecuencia (γ).

$$E = h\gamma$$

Donde h es la constante de Planck. A partir de aquí podemos plantear que las ondas electromagnéticas al propagarse transportan energía. (YOUNG & A. FREEDMAN, 2009, pág. 1309)

3.1.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Las ondas electromagnéticas (OEM) se caracterizan por presentar longitud de onda (λ) y frecuencia (ɣ). Las OEM que emplean los teléfonos móviles son de baja potencia que trabajan con una rango de frecuencias de 450 hasta 2 700 MHz, en este intervalo se les conoce como radiofrecuencia (OMS, 2014). Con esta información podemos plantear que las ondas que emiten los celulares muchos de ellos funcionan con el límite inferior de frecuencia de las microondas.

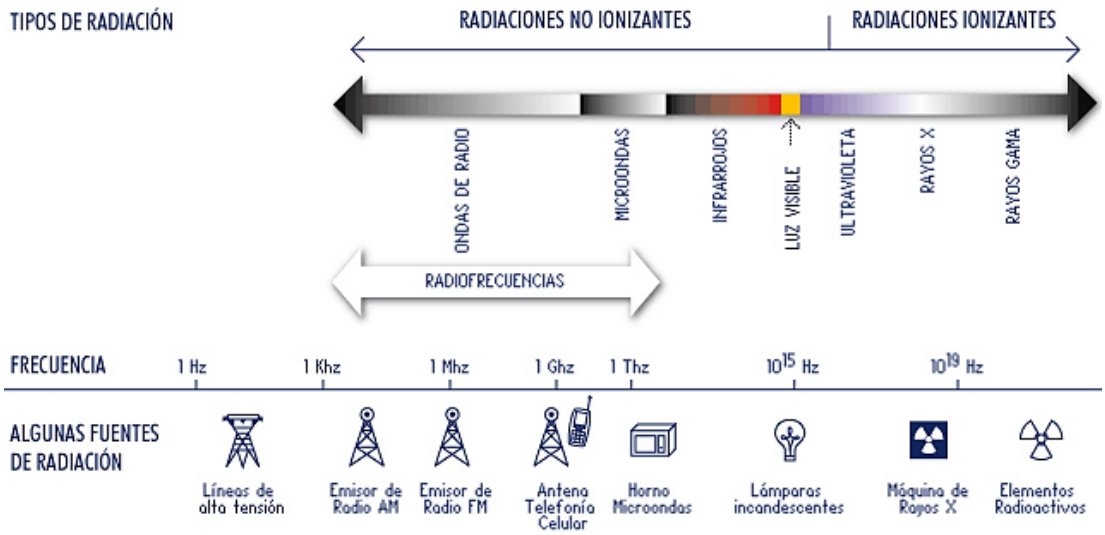

Figura 2. **Espectro Radioeléctrico**

Fuente.
http://tecnologia-escolapioslogrono.blogspot.pe/2010/12/el-espectroradioelectrico.html

3.2. INTERACCIÓN DE LA RADIOFRECUENCIA CON EL TEJIDO BIOLÓGICO

El espectro electromagnético comprende dos categorías, las radiaciones ionizantes y las radiaciones no ionizantes (RNI) en esta monografía nos centraremos en esta última.

Cuando las radiaciones no ionizantes interactúan con un tejido una parte de la energía incidente es reflejada y la otra es absorbida mientras se trasmite en dicho tejido. Estas fracciones de energía dependen de la frecuencias de la onda electromagnética, de la geometría del objeto bilógico, de su permitividad dieléctrica Ɛ, de la conductividad eléctrica δ y de la permeabilidad magnética μ.

En todos los tejidos permitividad dieléctrica y la permeabilidad magnética varían con la frecuencia de la onda electromagnética incidente, de la siguiente manera cuanto mayor es la frecuencia, mayor es la conductividad y menor es la permitividad Ɛ. En tejidos de menor contenido de agua y iones los valores de δ y Ɛ son más bajos.

Cuando un campo electromagnético incide en un tejido biológico, en este se induce pequeñas corrientes eléctricas. Para frecuencias ($f < 500\,Hz$) la membrana celular actúa como barrera aislante por tanto las corrientes inducidas solo pasaran por el líquido extracelular, esto explica la baja conductividad de los tejidos. Pero si la membrana celular tiene una baja reactancia entonces la conductividad total del tejido aumenta con la frecuencia de la radiación.

Los efectos biológicos inducidos por las OEM pueden ser el efecto térmico y no térmico. Para el siguiente intervalo de intensidad de1-100 μW/cm^2 se obtiene efectos no térmicos, y de 0,1-10 mW/cm^2 se obtiene efectos térmicos con campos electromagnéticos en la zona de UHF y VHF y efectos no térmicos para frecuencia bajas y ELF. Para intensidades mayores de 10 m W/cm^2 se obtiene efectos netamente térmicos.

En cuanto al efecto térmico a mayor cantidad de energía absorbida mayor será el calentamiento experimentado por el tejido. Además si la frecuencia disminuye mayor en la capacidad de penetración de las ondas electromagnéticas en el tejido el cual es proporcional a la longitud de onda. (Bardasano Rubio & Elorrieta, 2000, pág. 40)

3.3. MAGNITUDES DOSIMETRICAS DE LA RADIOFRECUENCIA

3.3.1. Absorción específica (SA)

Es la energía que absorbe (o disipa) una unidad de masa. (IEEE, 1999).

$$SA = \frac{dE}{dm}$$

Unidad de medida del SA en el SI: Joule por kilogramo (J/kg)

3.3.2. Tasa de absorción especifica (SAR)

Es una medida de la energía que absorbe el tejido biológico por cada kilogramo y segundo. Se define a continuación:

$$SAR = \frac{d}{dt}\left(\frac{dE}{dm}\right)$$

Unidad de medida del SAR en el S.I: watt por kilogramo (W/kg).

El SAR también puede estar relacionado con la intensidad del campo eléctrico en un punto (IEEE, 1999).

$$SAR = \frac{\sigma \lfloor E \rfloor^2}{\rho}$$

Dónde:

σ : Es la conductividad del tejido (S/m)

ρ: Es la densidad del tejido (kg/m^3)

E: valor eficaz de la intensidad del campo eléctrico en tejido (V/m)

El SAR también puede estar relacionado con el aumento con la temperatura en un punto (IEEE, 1999).

$$SAR = \frac{c\Delta T}{\Delta t}$$

Dónde:

ΔT: Variación de la temperatura (ºC)

Δt: Duración de la exposición(s)

c: Capacidad calorífica especifica (J/kgºC)

El SAR es aplicable a cualquier tejido u órgano, también se emplea como métrica para estableces normas de protección a la exposición de la radiofrecuencia. Puesto que el SAR nos informar de la energía absorbida que puede transformarse en calor en el tejido y también proporciona la intensidad del campo eléctrico con estos parámetro se podría inferir si la radiofrecuencia produce algún efecto biológico en los humanos (Condessa Dode, 2010, pág. 25).

Capítulo 4: MÉTODO NUMERICO PARA SIMULAR LAS RADIOFRECUENCIAS

Método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo (FDTD)

Es un método numérico que nos permite resolver las ecuaciones de Maxwell cuando las ondas electromagnéticas interactúan con la materia, en particular con el cuerpo humano. El método fue propuesto por Kane Yee en 1966, el método FDTD discretiza a las ecuaciones de Maxwell en el espacio y en el tiempo, estableciendo un conjunto de ecuaciones en diferencias para las seis componentes del campo electromagnético, las componentes del campo eléctrico se obtienen en cada instante de las componentes del campo magnético conocidas en un instante anterior, al ser un método temporal nos permite crear secuencia de imágenes.

En el método de FDTD un paso muy fundamental es la transformación de las ecuaciones diferenciales de Maxwell a ecuaciones en diferencias y luego discretización del espacio, que consiste en segmentar el medio de interacción con las OEM, en pequeñas cajas rectangulares llamadas celdas. En cada una de las aristas de estas celdas se ubican una de las componentes del campo eléctrico o magnético, además se especifica el tipo de material con la cual interactuara la OEM.

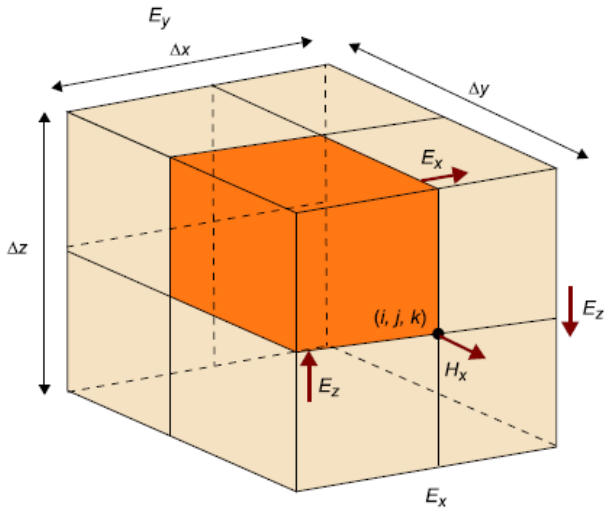

Figura n. **Celda de Yee compuesta por un cubo Δx, Δy y Δz.**
(Anguera Pros & Andújar Linares, 2014)
Fuente.
ftp://cefca-vir-015.cefca.es/people/private/UOC/Dise%C3%B1o%20Antenas/M%C3%B3dulo%203/PID_00175729-3.pdf

Para cuantificar los campos eléctricos y magnéticos durante la evolución temporal se discretiza el tiempo en Δt, los campos $\vec{E}$ y $\vec{H}$ se distribuyen en el tiempo.

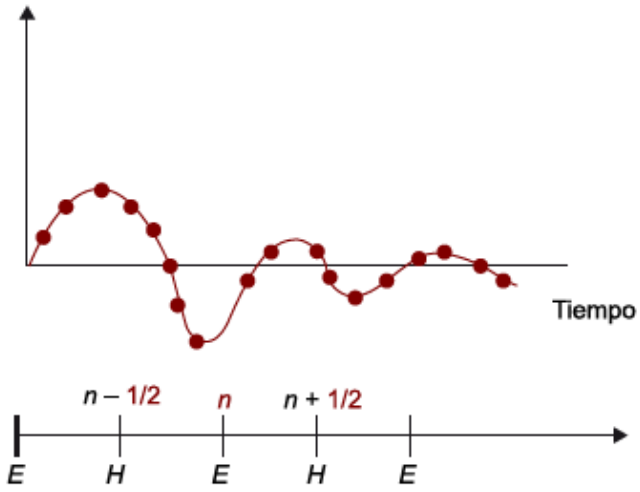

Figura n. **Discretización del tiempo aplicado a $\vec{E}$ y $\vec{H}$**
(Anguera Pros & Andújar Linares, 2014)

Fuente.
ftp://cefca-vir-015.cefca.es/people/private/UOC/Dise%C3%B1o%20Antenas/M%C3%B3dulo%203/PID_00175729-3.pdf

Al hacer la discretizacion del espacio-tiempo los valores del campo eléctrico y magnético se van actualizando, esto nos permite poder construir una gráfica de los campos en función del tiempo.

Un programa para la simulación electromagnética que tiene como principio fundamental FDTD es el Sem-cad el cual se utilizó en una tesis desarrollada en Finlandia el cual se mencionara posteriormente en esta monografía.

Capítulo 5: CRITERIOS PARA ESTABLECER LOS LIMITES DE EXPOSICIÓN A LA RF

Los límites de exposición mediante SAR establecidas en la tabla 1 y2 por ICNIRP y IEEE están basados en efectos térmicos, el cual es un efecto físico que producen las radiofrecuencias en tejidos y en todo el cuerpo humano. La evidencia experimental para exposición a CEM de 100 KHz-300GHz genera una SAR de 1-4 W/kg en el cuerpo completo, para esta rango de potencia absorbida durante 30 minutos se genera un aumento de temperatura menos de 1 ºC. Si el SAR está por encima de 4 W/kg el aumento de temperatura es mayor que 1-2ºC de acuerdo a los estudios realizados en animales (roedores y primates) puede producir colapso en la capacidad termorreguladora del cuerpo y calentamiento nocivo de los tejidos. Estos efectos físicos-biológicos ocasionados por la RF a corto plazo se toman como base para establecer niveles límites de la exposición ocupacional de 0,4 W/kg donde se incluye un factor de seguridad tales como temperatura ambiente, humedad, o niveles de actividad física(ICNIRP,1998).

5.1 LIMITES DE EXPOSICIÓN A LA RADIOFRECUENCIA

A nivel mundial, principalmente hay dos instituciones que establecen límites de los niveles de exposición para RF estableciendo recomendaciones para evitar efectos nocivos en la salud de los usuarios. Tenemos a la comisión internacional para la protección contra las radiaciones no ionizantes (ICNIRP) y también El instituto de ingeniería eléctrica y electrónica (IEEE) es un grupo de ingenieros dedicadas a la estandarización de normas.

La telefonía móvil opera en un rango de frecuencia incluida 10 MHz a 10 GHz. Se muestra los límites establecidos por la comisión internacional de la protección de las radiaciones no ionizantes (ICNIRP, 1998).

Tabla 1

Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencia de 10MHz hasta 10 GHz

Característica de la exposición	SAR promedio en todo el cuerpo (W/kg)	SAR localizado cabeza y tronco(W/kg)	SAR localizado (extremidades) (W/kg)
Exposición ocupacional	0,40	10	20
Exposición al público en general	0,08	2	4

Nota:

Todos los valores del SAR deben están promediados para un periodo de seis minutos.

Además para evitar el efecto auditivo de la radiofrecuencia causado por la expansión termoelástica en el rango de 0,3 a 10GHz se recomienda una restricción adicional donde la SA promediada sobre 10 g de tejido no debe exceder 10 mJ/kg para trabajadores y 2 mJ/kg para el público en general.

Tabla 2

Cuadro comparativo de límites de exposición establecidas por la ICNIRP y la IEEE

	ICNIRP 1998	IEEE C95.1-1999	IEEE C95.1-200X
Extremidades	4 W/kg sobre 10 g	4 W/kg sobre 10 g	4 W/kg sobre 10g
Otros tejidos	2 W/kg sobre 10 g	1,6 W/kg sobre 1g	2 W/kg sobre 10 g

Fuente. http://www.biomedical-engineering-online.com/content/3/1/34

Capítulo 6: ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN ENCONTRADAS EN LA LITERATURA CIENTIFICA.

SIMULACIÓN MEDIANTE MÉTODOS NUMERICOS DE LAS RF INCIDENTES A LA CABEZA

A continuación se mencionara tres trabajo de investigación y sus respectivos resultados respecto a la simulación numérica de la radiofrecuencia de teléfonos móviles.

El primero que mencionaremos fue publicado en octubre de 1996 realizado por un equipo de científicos entre ellos Om P. Gandhi emplean el método de diferencias finitas en dominio de tiempo (FDTD) para simular la radiofrecuencia incidente en las cabeza de niños y adulto, para una frecuencia de 835 y 1900 MHz. la dimensiones de los cráneos lo tomaron de las resonancias magnéticas y además se consideró las diferentes propiedades dieléctricas de los tejidos que forman la cabeza y cuello. Los resultados obtenidos indican que las radiaciones de los teléfonos móviles penetran mayor profundidad en la cabeza de los niños de 5 y 10años a comparación de la cabeza de los adultos. Además se obtuvo un mayor de valor de SAR para la frecuencia de 835 MHz (Gandhi, Lazzi, & Furse, 1996).

Las figuras que se mostraran a continuación son cortes transversales a la altura del pabellón auricular.

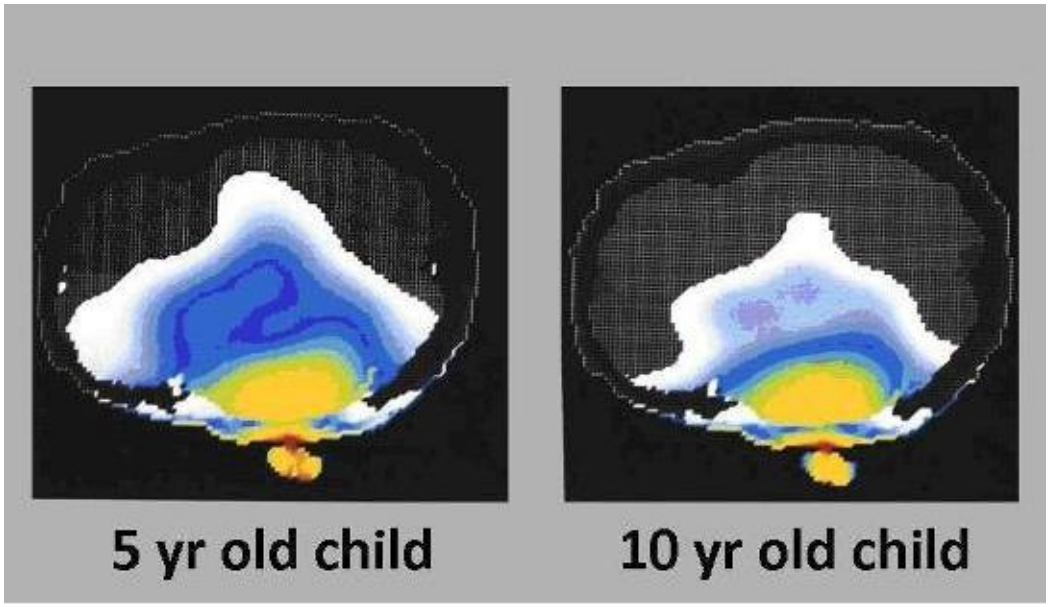

Figura 3. **Profundidad de absorción de la radiación en niños de 5 y 10 años con teléfono móvil 835 MHz** (Gandhi et al., 1996).

Fuente.
http://electromagnetichealth.org/wp-content/uploads/2011/10/EBM_Final_v4_10-13-11-1.pdf

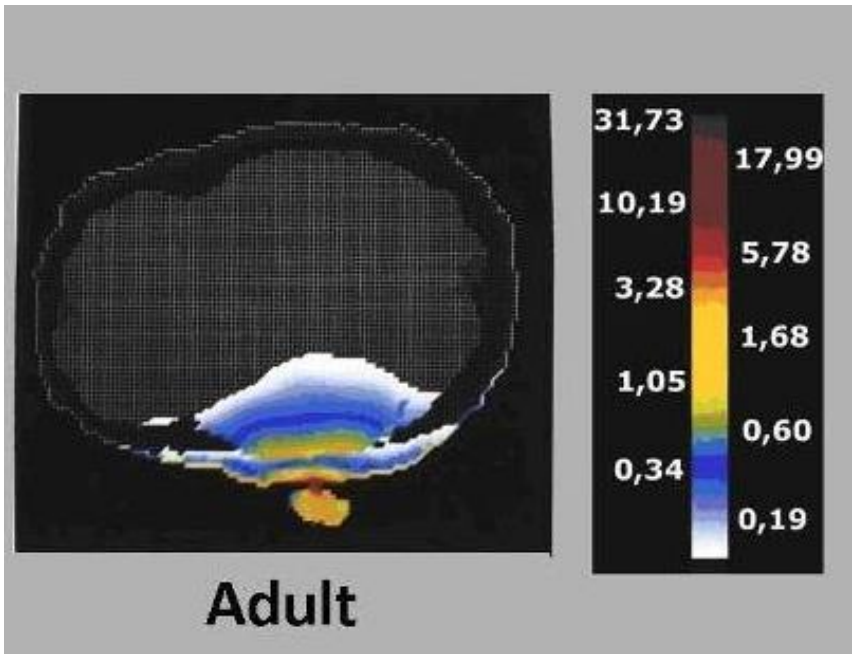

Figura 4. **Profundidad de absorción de la radiación en adulto con teléfono móvil 835 MHz y la derecha el SAR en watt por kilogramo en escala de colores** (Gandhi et al., 1996).

Fuente.
http://electromagnetichealth.org/wp-content/uploads/2011/10/EBM_Final_v4_10-13-11-1.pdf

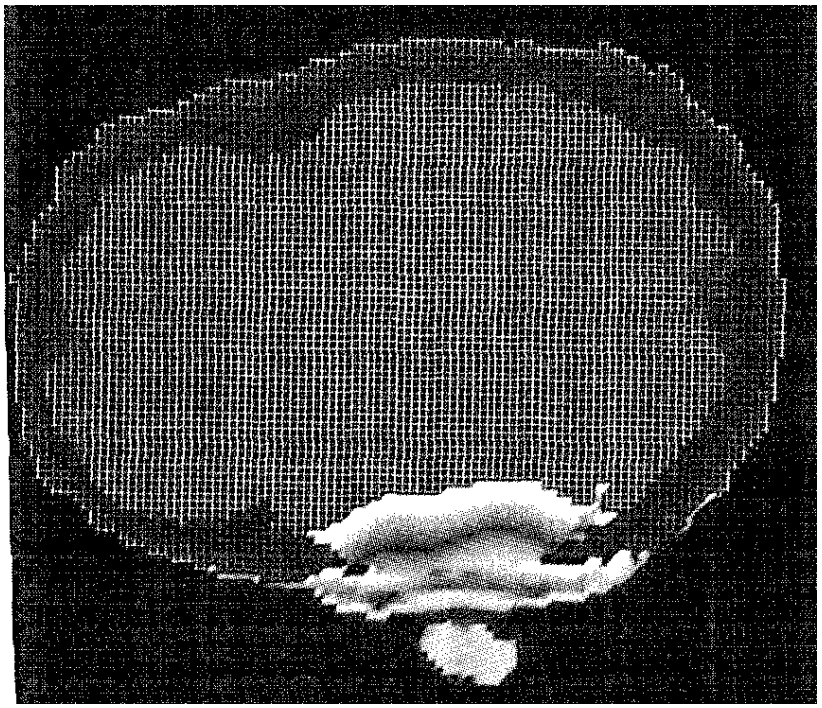

Figura 5. **Distribución del SAR en un modelo de adulto con un teléfono móvil de 1900 MHz y potencia de 125 mW** (Gandhi et al., 1996).

Fuente. https://collections.lib.utah.edu/details?id=703995

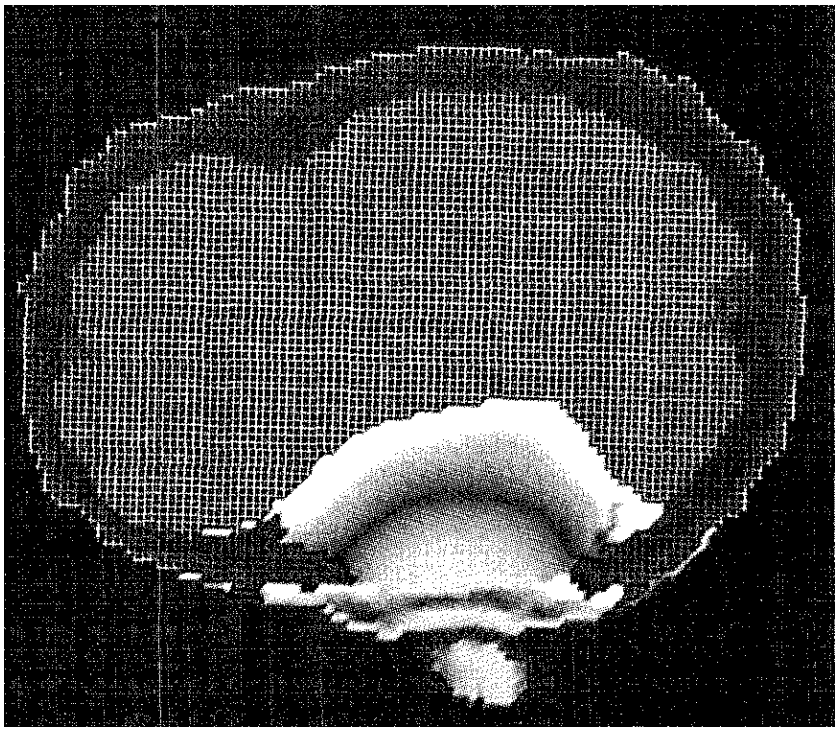

Figura 6. **Distribución del SAR en un modelo de niño de 10 años con un teléfono móvil de 1900 MHz y potencia de 125 mW**
(Gandhi et al., 1996).

Fuente. https://collections.lib.utah.edu/details?id=703995

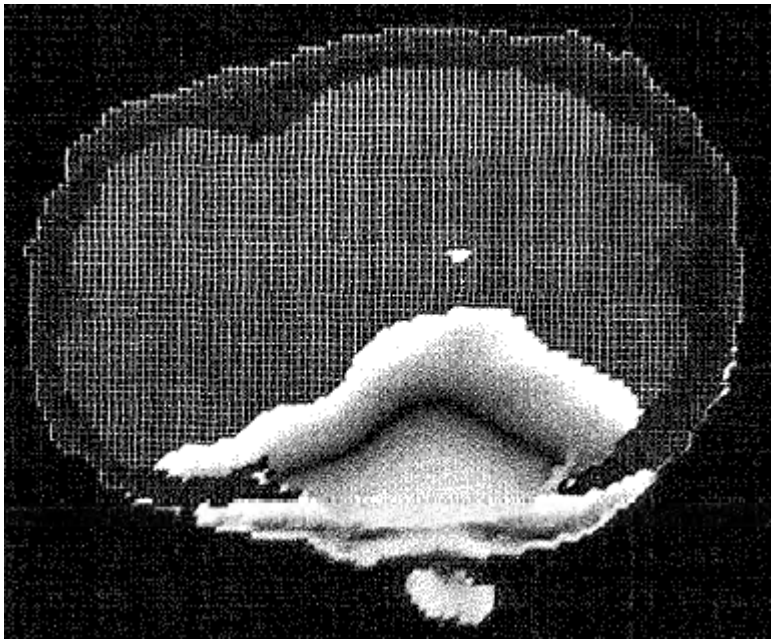

Figura 7. **Distribución de SAR en un modelo de niño de 5 años con un teléfono móvil de 1900 MHz y potencia de 125 mW**
(Gandhi et al., 1996).

Fuente. https://collections.lib.utah.edu/details?id=703995

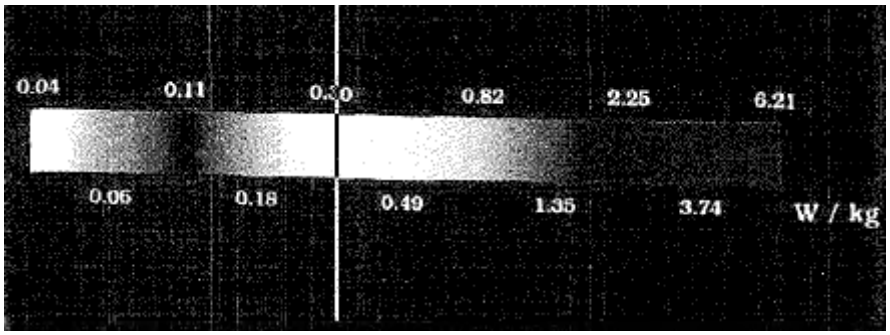

Figura 8. **Escala de izquierda a derecha, aumenta el SAR generado por un teléfono móvil de 1900 MHz y potencia 125 mW** (Gandhi et al., 1996).

Fuente. https://collections.lib.utah.edu/details?id=703995

En 18 de mayo del 2009 el físico Om P. Gandhi presenta su trabajo de investigación en un taller de radiaciones no ionizante y salud en Brasil, organizado por la comisión internacional de seguridad (ICEMS). Es un trabajo mas actualizado de dosimetría computacional, pues se considera con más detalle el pabellón auricular con anatomía mas realista, con frecuencia de teléfono móviles de 835 y 900 MHz. se concluye que cuanto más pequeña es la cabeza mayor profundidad es la penetración de la radiación emitida por el teléfono y además se observa que a mayor profundidad menor es la potencia absorbida por el tejido del cerebro (Gandhi O. , 2009).

Tabla 3. **Calculo de picos de SAR en tejidos de cuerpo y en cerebro**

Frecuencia y (Potencia)	Longitud de la antena(mm)	Tejido del	Pabellón auricular (mm)			
			20	14	10	6
			Pico de SAR para 1g			
1900 MHz (125 mW)	40	cuerpo	0.51	0.83	1.02	1.29
		cerebro	0.20	0.27	0.33	0.46
835 MHz (600 mW)	80	Cuerpo	2.44	2.59	3.20	3.50
		Cerebro	0.85	1.06	1.24	1.37

Fuente.

https://newsvoice.se/wp-content/uploads/2015/02/Gandhi_09-sAR.ppt

La tabla (3) muestra que a menor profundidad del pabellón auricular mayor es la potencia de absorción SAR del cerebro, esto ocurre en los niños pues ellos se encuentran en desarrollo y su pabellón auricular es pequeño y fuente de radiofrecuencia está muy cerca del cerebro.

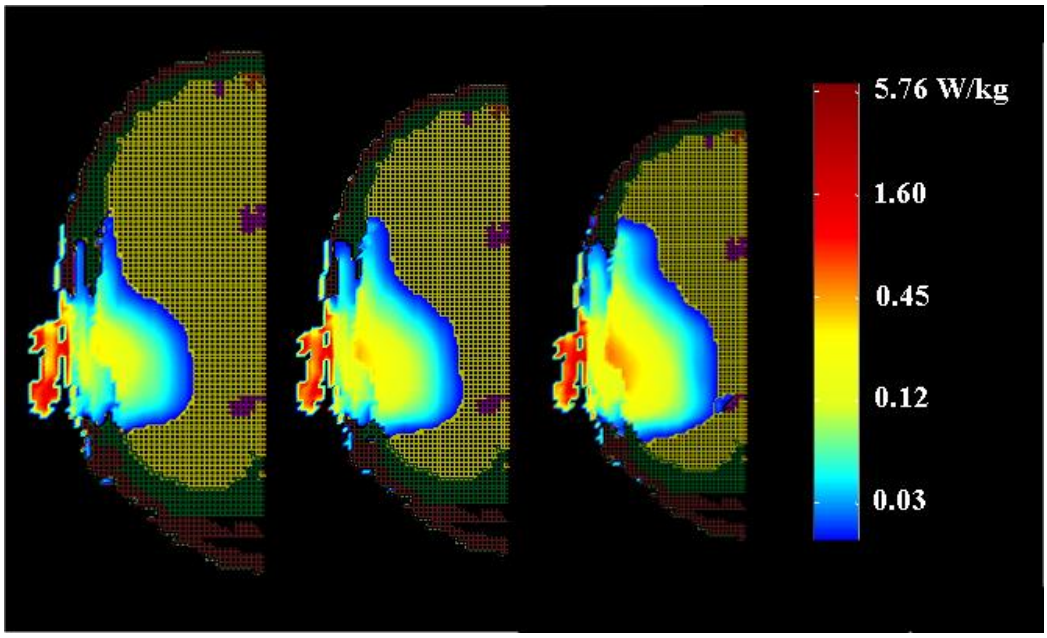

Figura 3. **Distribución de SAR en la cabeza para una RF de 1900 MHz.** Fuente.

https://newsvoice.se/wp-content/uploads/2015/02/Gandhi_09-sAR.ppt

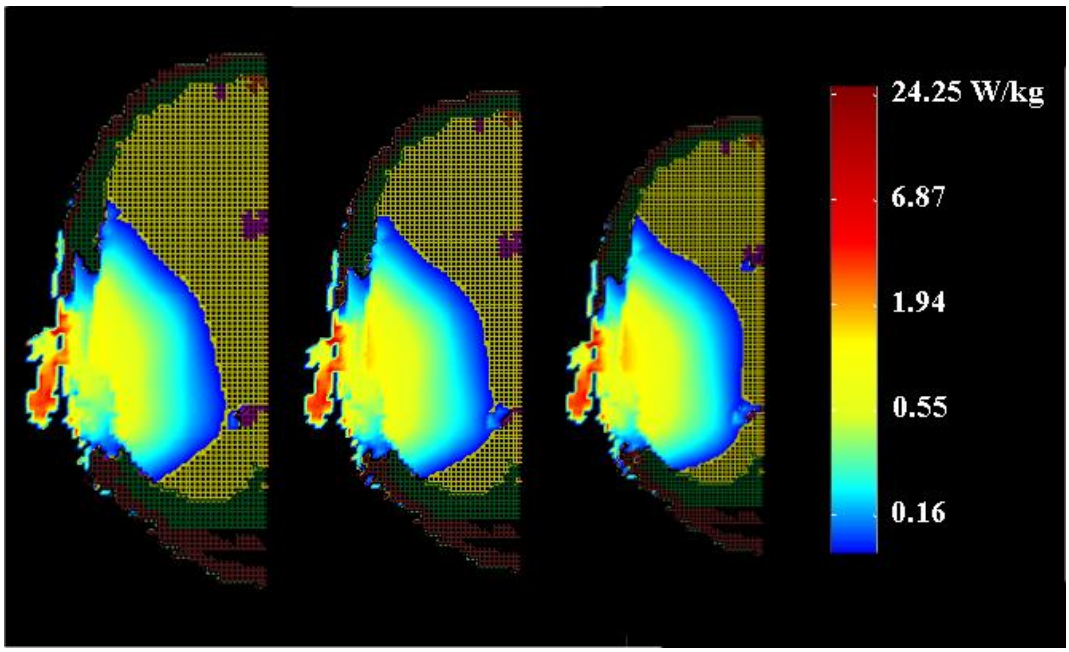

Figura 4. **Distribución de SAR en la cabeza para una RF de 835 MHz** Fuente.

https://newsvoice.se/wp-content/uploads/2015/02/Gandhi_09-sAR.ppt

En diciembre del 2014 se publica otro trabajo en la revista interciencia donde se emplea dos programas para simular la radiofrecuencia incidente en la cabeza empleando dos programas el autodesk ALGOR versión 2009 y el Autodesk Simulation Mechanical versión 2014 se compara con la simulación hecha con método de diferencia finitas (FDTD).se tomó el tamaños de cabeza con las dimensiones para un niño de 10 años. Ambos programas mencionados emplean métodos de elementos finitos, donde se consideran la densidad, conductividad, permeabilidad, impedancia, permitividad de los tejidos que interactúan con la RF.

Se empezó los estudios aplicando diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD) para ello se consideró una fuente puntual de onda electromagnética similar a la que emite una teléfono móvil y el medio donde incide se eligió con las mismas característica físicas y electromagnéticas similares a la cabeza humana. Los parámetros empleados para la interacción de la RF con la cabeza se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. **Parámetros del modelo para cabeza de niño**

Material	Aire	Piel	Cráneo	Cerebro	Sangre
Conductividad (S/m)	0	0.63	0.04	1.46	1.26
Permitividad (F/m)	1	23	5.4	51	59
Densidad de tejido (kg/m^3)	-	1060	1400	1050	1020

Nota: la fuente de RF es de 2.65 W, impedancia 100 Ω; frecuencia 900 MHz.

Los resultados obtenidos de SAR por este algoritmo de simulación se muestran en la figura 5. Con ello se pudo predecir el SAR en la entrada del cerebro de 0.72 W/kg.

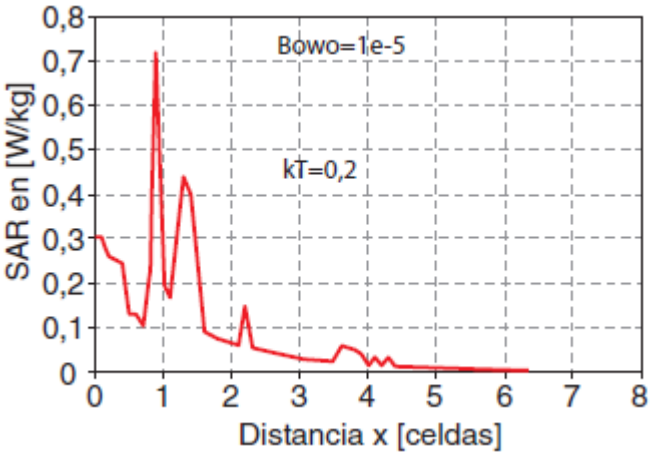

Figura 5. **SAR en el interior de la cabeza de un niño de 10 años**
(Ponce López, Ponce Saldías, & Andresen Hernández, 2014).
Fuente. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932786003

Los resultados de la simulación mediante programas comerciales que emplean método de elementos finitos se muestran a continuación en los siguientes gráficos:

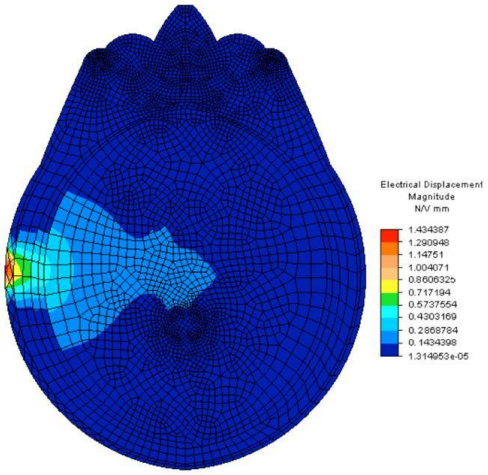

Figura 6. **Desplazamiento del campo eléctrico en cabeza de un niño de 10 años** (Ponce López, Ponce Saldías, & Andresen Hernández, 2014).

Fuente. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932786003

Nota: RF con incidencia normal de potencia 2.65 W, programa MEF de ALGOR versión 2009.

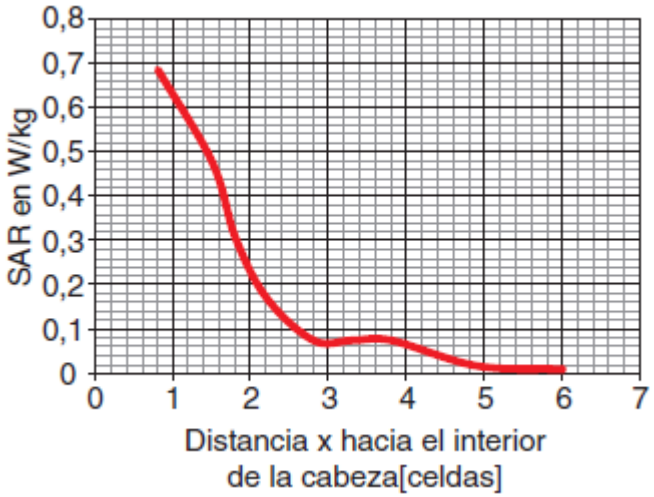

Figura 7. **SAR para la cabeza de un niño de 10 años**
(Ponce López, Ponce Saldías, & Andresen Hernández, 2014).

Figura. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932786003

Nota: SAR en el cerebro con el programa ALGOR versión 2009.

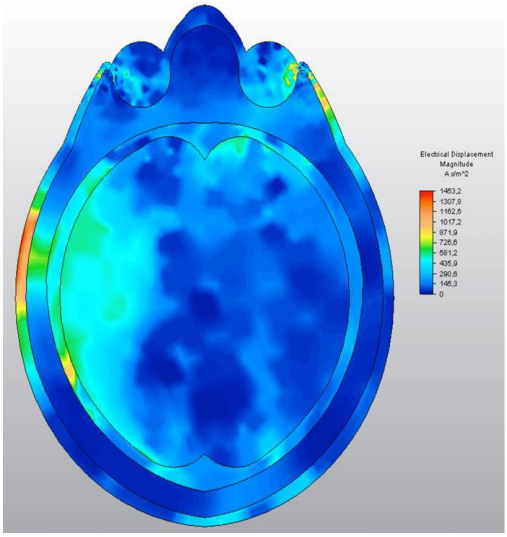

Figura 8. **Desplazamiento del campo eléctrico en la cabeza de un niño** (Ponce López, Ponce Saldías, & Andresen Hernández, 2014).

Fuente. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932786003

Nota: RF con potencia de 2.56 W. Programa MEF de Autodesk Simulation Mechanical Versión 2014.

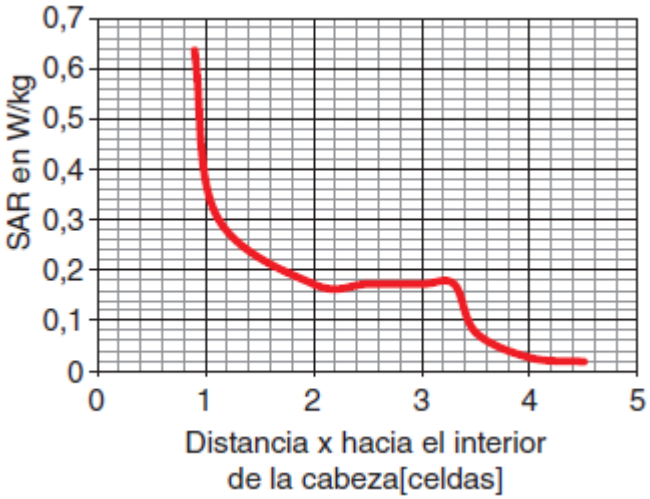

Figura 9. **SAR de la cabeza de un niño de 10 años** (Ponce López, Ponce Saldías, & Andresen Hernández, 2014).

Fuente. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932786003

Nota: solo se muestra la potencia de absorción en el cerebro con el Programa Autodesk Simulación Mechanical versión 2014.

Las conclusiones que se plantean los autores de este paper entre la simulaciones hechas por el método de diferencias finitas y elementos finitos se obtiene una diferencia máxima en el valor de SAR de 11.6 % y entre los programas comerciales empleados hay una diferencia de 7% de SAR. Además se indicó que la versión de 2014 tuvo una mayor coincidencia en los resultados del SAR.

Tesis de Finlandia publicada en 2014 realiza una simulación electromagnética empleando software SEM CAD que emplea método de diferencias finitas en el dominio del tiempo para resolver las ecuaciones de maxwell.se utiliza como fuente dos modelos de teléfono móviles Nokia 6630 y Nokia 8310.

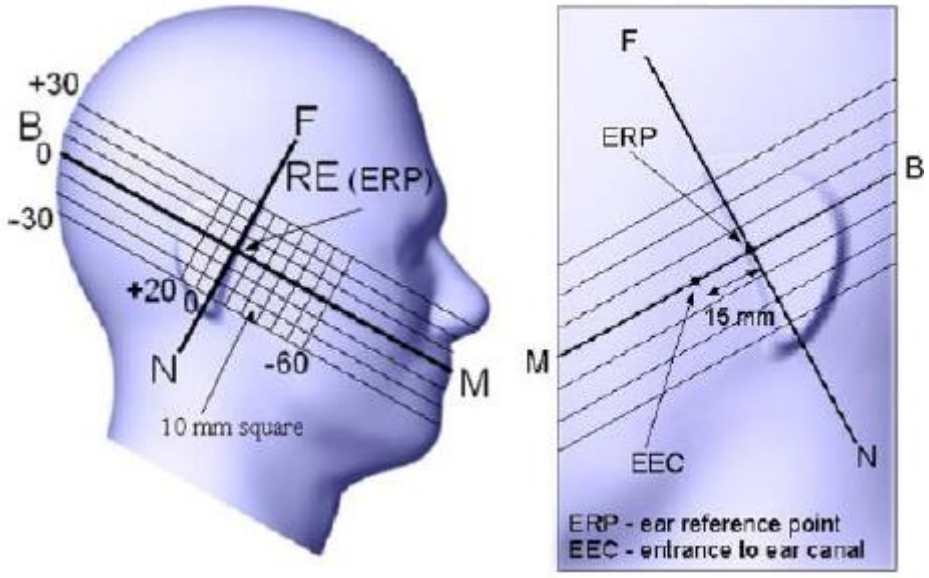

Figura 10. **Referencia para posicionar el teléfono móvil en la simulación.** (kivento, 2014)

Los resultados de la simulación con SEM CAD se muestran a continuación.

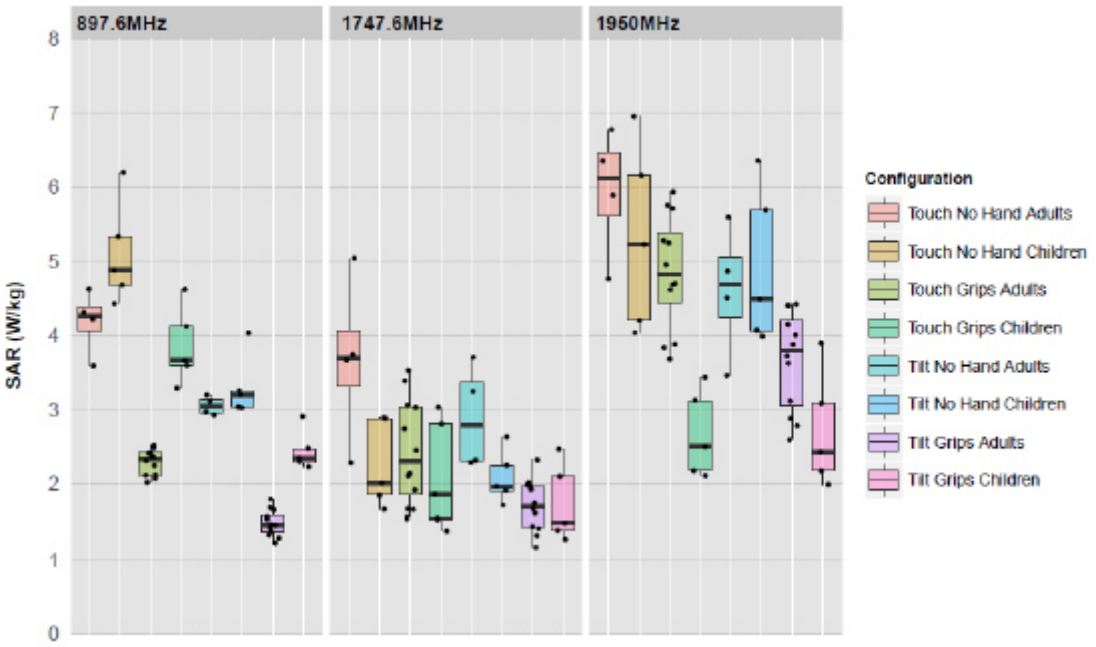

*Figura 11.***SAR promedio sobre 1 g de volumen para modelo Nokia 6630 clasificado para diferentes frecuencias.**
(kivento, 2014)

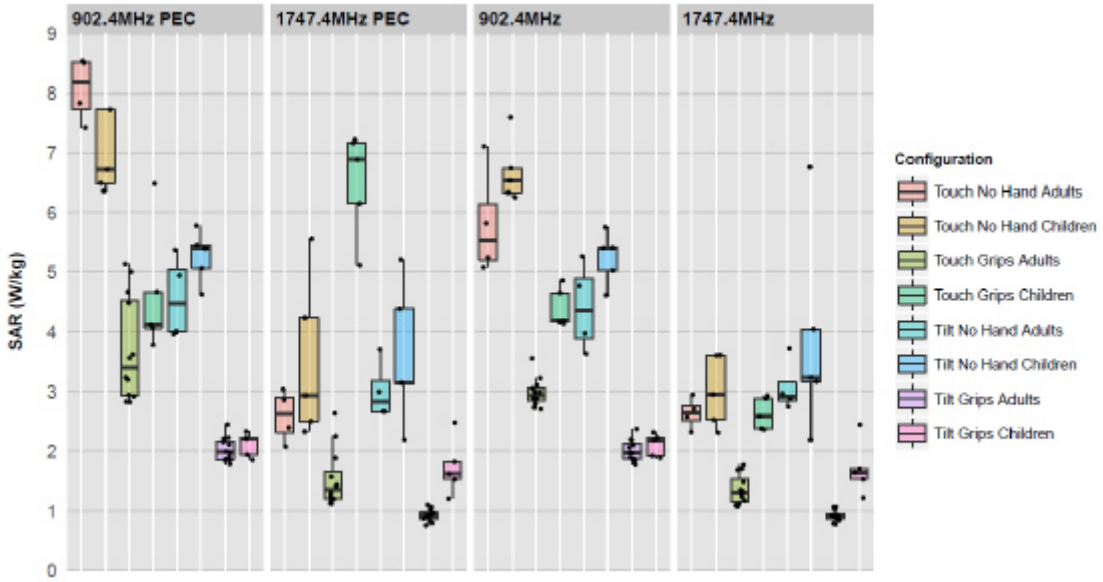

Figura 12. **SAR promedio sobre 1 g de volumen para modelo Nokia 8310 clasificado para diferentes frecuencias.**
(kivento, 2014)

Las conclusiones establecidas por el autor de la tesis son:

- las radiofrecuencias tienen un mayor grado de penetración en la cabeza de los niños.
- En la cabeza de los niños se encontró valores altos de SAR a comparación en la cabeza de los adultos.
- Para frecuencias más altas la penetración de la radiofrecuencia en el tejido es menor.
- Cuando en la simulación se considera la mano que sostiene el teléfono móvil, los resultados cambian. esto ocurre con frecuencias mayores a 1950 MHz los resultados del SAR son más bajos, posiblemente se deba a la atenuación de la RF por parte de la mano. (kivento, 2014)

Capítulo 7: ESTUDIOS REALIZADOS DE LOS EFECTOS NEGATIVOS DE LA RF.

EFECTOS BIOLOGICOS ORIGINADO POR LA RADIOFRECUENCIA

A continuación mencionaremos algunos estudios de suma importancia que muestran una evidencia de los efectos biológicos causados por la radiofrecuencia:

- POYECTO REFLEX

  Fue un proyecto internacional financiado por la unión europea, se inició el 01 de febrero del 2000 y finalizo 31 de mayo del 2004.Esta investigación hecha por 12 laboratorios empleo estirpes celulares de procedencia humana y animal, para realizar experiencias "in vitrio". Se encontró que la RF causa:

  - Genotoxidad
  - Quiebra la secuencia del ADN en un nivel significativo.
  - Aberraciones cromosómicas en los fibroblastos humanos.

- Un estudio en vitrio publicado en PubMed en 2011.tomo como muestra semen de 29 pacientes sanos, dichas muestras se colocaron muy cerca de una computadora portátil (laptop) conectada a wi-fi durante 4 h.se observo disminución significativa de la motilidad de los espermatozoides y un aumento de la fragmentación del ADN espermático. Esto muestra un efecto no térmico de la radiofrecuencia, el cual nos permite plantear que al colocar la laptop con acceso a Wi-Fi cerca de los testículos reduce la calidad de los espermas y puede inducir a la infertilidad masculina (Avendaño, Mata, Sanchez Sarmiento, & Doncel, 2011).

  Un estudio muy similar se realizó en Israel dirigido por la Marta Dirnfeld directora de unidad de fertilidad se tomó como muestra a 80 hombres Israelíes que no fuman en exceso. Los participantes llenaron una encuesta sobre sus hábitos en base a ello se relacionó el habito de uso de celulares y la calidad de esperma. Se llegó a un resultado que indica que hablar por teléfono móvil por más de una hora al día, duplica la concentración de semen anormal de 36% a casi 61%. también se encontró concentración anormal en hombres que llevan el celular a menos de 50 cm de la ingle, esto ocurrió en un poco más del 47% de los hombres (Peled, 2016).

- En 2010 Adilza Dode muestra en su tesis de doctorado la correlación que hay entre las muertes por cáncer y la ubicación de las antenas. Mediante el geoprocesamiento la investigadora encuentra que la zona centro-sur de la capital de Minas Gerais posee mayor concentración de antenas y la mayor tasa de incidencia acumulada de muerte por cáncer. La tasa más baja es en la zona Barreiro, el cual presenta menor número de antenas instaladas. Este estudio se recopilo datos estadístico desde 1996 hasta 2006.

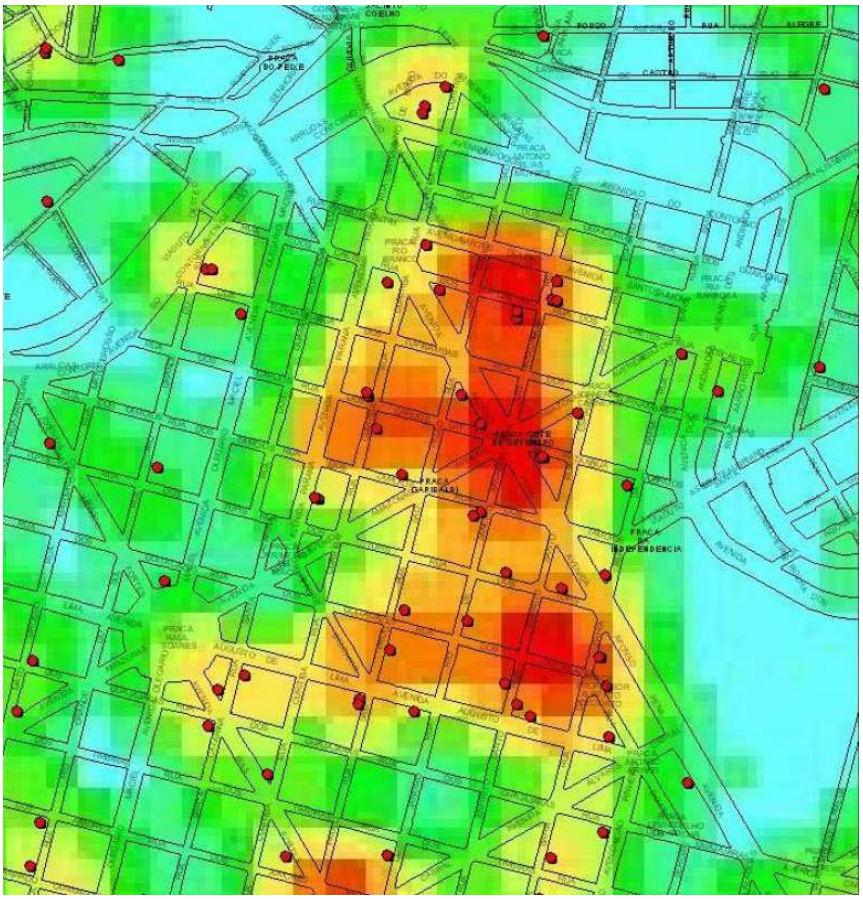

Figura 13. **Concentración de antenas en Belo Horizonte- Región central**

(Condessa Dode, 2010)

Fuente: http://www.apdr.info/electrocontaminacion/Documentos/Investigacion/ESTUDOS%20EPIDEMIOLOXIDOS%20E%20ANTENAS/Belo_Horizonte/Tese_brasileira.2010_cas.pdf

Capítulo 8: CONCLUCIONES Y SUGERENCIAS

De acuerdo a las investigaciones científicas encontradas podemos concluir que:

- Las radiofrecuencias emitidas por lo teléfonos móviles producen mayor grado de penetración en la cabeza de los niños.
- Hay evidencia científica que la RF produce efectos biológico a largo plazo.
- El centro internacional de investigaciones contra el cáncer clasifica a la radiofrecuencia que emiten los celulares, como posibles carcinógenos.
- Los limites en los niveles de exposición establecidas actualmente son normados por ICNIRP y IEEE, son insuficientes, deben de modificarse, puesto que solo se toman como base el efecto térmico de las radiofrecuencias provocados a corto plazo. Y no incluyen efectos biólogos que podrían a largo plazo traer consecuencias negativas en la salud de los usuarios.

Los teléfonos móviles son aplicaciones tecnológicas, relativamente nuevas, que nos permiten tener comunicaciones con mayor facilidad, por ello se sugiere tener precaución en su uso:

- Evite hacer contacto directamente con la cabeza durante las llamadas.
- Conteste el teléfono usando el hand free o en altavoz.
- Realizar llamadas en lugares abiertos donde hay buena señal.
- Evitar el uso de celulares a niños y adolescentes.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Anguera Pros, J., & Andújar Linares, A. (07 de 04 de 2014). *Métodos numéricos para la resolución de las ecuaciones me Maxwell .* Recuperado el 07 de 05 de 2018, de Universitat Oberta de Catalunya: ftp://cefca-vir-015.cefca.es/people/private/UOC/Dise%C3%B1o%20Antenas/M%C3%B3dulo%203/PID_00175729-3.pdf

Avendaño, C., Mata, A., Sanchez Sarmiento, C., & Doncel, G. (23 de 11 de 2011). *Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation.* Recuperado el 15 de 01 de 2018, de PubMed: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22112647

Bardasano Rubio, J. L., & Elorrieta, J. I. (2000). *BIOELECTROMAGNETISMO ciencia y salud.* Madrid: McGraw-Hill.

Beard, B., & Kainz, W. (13 de 10 de 2004). *Review and standardization of cell phone exposure calculations using the SAM phantom and anatomically correct head models*. Recuperado el 05 de 01 de 2018, de BioMedical Engineering OnLine: https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-3-34

Condessa Dode, A. (2010). *Mortalidad por Neoplacias y telefonia Movil en Belo Horizonte(tesis de posgrado).* UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte.

Cutnell, J., & Johnson, K. (2012). *Physics* (9 ed.). EEUU: John Wiley & Sons.

Gandhi, O. (18 de 05 de 2009). *Underestimation of EMF/NIR Exposure for Children for Mobile Telephones and for Electronic Article Survellance(EAS) Systems.* Recuperado el 26 de 02 de 2018, de slideplayer: http://slideplayer.com/slide/739529/

Gandhi, O. P., Lazzi, G., & Furse, C. M. (1996). Electromagnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz. *IEEE TRANSACTION ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 44*(10), 1884-1897.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (19 de 04 de 2006). *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields,3 kHz to 300 GHz*. Recuperado el 05 de 01 de 2018, de IEEE standards: http://emfguide.itu.int/pdfs/C95.1-2005.pdf

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. (s.f de s.f. de 1998). *ICNIRP GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC(UP TO 300 GHZ)*. Recuperado el 15 de 12 de 2017, de INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION: http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf

kivento, m. (2014). *NUMERICAL EVALUATION OF SPECIFIC ABSORPTION RATE WITH TWO REALISTIC MOBILE PHONE MODELS,tesis de Master en Fisica.* Tampere University of technology, Tampere.

Organizacion Mundial de la Salud(OMS). (s.f. de octubre de 2014). *Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles*. Recuperado el 15 de 01 de 2018, de Organizacion Mundial de la Salud: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/

OSIPTEL. (21 de 12 de 2017). *Más de5.7 millones de hogares tienen internet (Nº19).* Recuperado el 05 de 03 de 2018, de osiptel: https://www.osiptel.gob.pe/documentos/boletin-osiptelcom

Peled, E. (09 de 02 de 2016). *ESTUDIO ISRAELÍ REVELA: EL USO EXCESIVO DE CELULARES PUEDE CAUSAR INFERTILIDAD EN EL HOMBRE.* Recuperado el 16 de 01 de 2018, de Enlace Judio: https://www.enlacejudio.com/2016/02/09/estudio-israeli-revela-el-uso-excesivo-de-celulares-puede-causar-infertilidad-en-el-hombre/

Ponce López, E., Ponce Saldías, D., & Andresen Hernández, M. (s.f de 12 de 2014). *EFECTOS NEUROLÓGICOS POR TELÉFONOS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MODELOS MATEMÁTICOS.* Recuperado el 15 de 12 de 2017, de Sistema de Información Científica Redalyc: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932786003

YOUNG, H. D., & A. FREEDMAN, R. (2009). *Fisica Universitaria,con fisica moderna.* México: PEARSON EDUCACIÓN.