

## INCIDENCIA DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN LOS SISTEMAS VIVOS

### RESUMEN

El estudio de los efectos de la radiación electromagnética en los sistemas vivos y los potenciales riesgos asociados a este fenómeno, requieren de un trabajo multidisciplinario que necesita de la física, la ingeniería, la matemática, la biología, la química, la medicina, y de la salud ambiental para presentar de manera real, los efectos biológicos que producen. Gran parte de la confusión y la controversia que existe actualmente en este campo, proviene de opiniones particulares de una sola disciplina que no consideran totalmente los hechos fundamentales o las teorías de las otras áreas del conocimiento. En este artículo se presenta desde diferentes puntos de vista el riesgo potencial asociado a los efectos de la radiación del campo electromagnético sobre los seres vivos y los potenciales daños asociados a dicha exposición; los cuales pueden ser antecedentes a un posible trabajo de investigación multidisciplinario en la Universidad Tecnológica de Pereira.

**PALABRAS CLAVES:** Campo, Onda, Electromagnético, Eléctrico; Magnético, Salud, Vida.

### ABSTRACT

*The study of the effects of electromagnetic field radiation on biosystems, and the potential hazards associated, is a multidisciplinary work that needs input from physics, engineering, mathematics, biology, chemistry, medicine, and environmental health for describing its real implication in biological effects. Much of the confusion and the controversies that exist in the field today arise from individual opinions of one discipline not fully appreciating the basic facts or theories of another knowledge area. The effects of electromagnetic field radiation on biosystems and the assessment of the potential hazards associated with such exposure are presented in this article from different points of view.*

**KEYWORDS:** Field, Wave, Electromagnetic, Electric, Magnetic, Health, Life

### 1. INTRODUCCIÓN

Los campos Electromagnéticos parecen ser nuevos fenómenos relacionados a la existencia de la electricidad y sus aplicaciones en la vida moderna. Su asociación trae directamente a la mente algunas de las aplicaciones más difundidas como son la radio, la televisión y la telefonía móvil, entre otras: Sin embargo su presencia siempre ha estado implícita en la vida, incluso mucho antes de sus inicios y, seguramente, seguirá allí después de que esta termine. La tierra es un gigantesco generador de campo magnético que sólo se nota por la existencia de los denominados polos magnéticos y su percepción a través de la brújula o la alucinante aurora Boreal. La tierra también se puede considerar como un cascarón semiesférico formado por las nubes y la superficie terrestre que originan un campo eléctrico natural que cumple con algunas tareas indispensables para la vida. La polémica sobre sus efectos en los seres vivos nace de la generación artificial de dichos campos (magnético y eléctrico), en concentraciones que se supone pueden alterar los balances naturales afectando la tierra y las formas de vida que la habitan.

### JIMMY ALEXANDER CORTES

Ingeniero Electricista.  
Candidato a Magíster en Instrumentación Física.  
Profesor Auxiliar.  
Universidad Tecnológica de Pereira  
jcortes@utp.edu.co

### HUGO ARMANDO GALLEGO

Magíster en Física.  
Profesor Auxiliar.  
Universidad Tecnológica de Pereira  
ugo@utp.edu.co

### JOSÉ ANDRÉS CHAVES O.

Especialista en Pedagogía.  
Candidato a Magíster en Instrumentación Física.  
Profesor Auxiliar.  
Universidad Tecnológica de Pereira  
jachaves@utp.edu.co

### 2. DEFINICIONES

#### 2.1 El campo magnético artificial

Es el campo magnético producido por las instalaciones y equipos eléctricos hechos por el hombre. El campo magnético se presenta en unidades de Tesla donde:

$$1 [T] = 1 \left[ \frac{N.s}{C.m} \right]$$

(1) Definición de Tesla

A partir de investigaciones durante el siglo XIX por parte de Jean Baptiste Biot y Felix Savart se formuló la ecuación que permite determinar el valor del campo magnético en un punto en términos de la corriente:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I \vec{dl} \times \vec{r}}{r^2} [T] \quad \mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \left[ \frac{T.m}{A} \right]$$

(2) Ley de Biot Savart

(3) Permeabilidad del espacio libre

También se desarrolla La ley de Ampere, la cual permite, de manera análoga a la ley de Gauss, determinar el valor del campo magnético B para geometrías simétricas. Así mismo se crea la Ley de Faraday que relaciona todos los fenómenos de Inducción Electromagnética. La ley de Ampere forma parte del grupo de las ecuaciones de Maxwell.

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_o I + \mu_o \epsilon_o \frac{d\phi_E}{dt} \quad \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

(4) Ley de Ampere Maxwell

(5) Ley de Faraday

La Ecuación de Ampere fue extendida por Maxwell quien introdujo el segundo término que representa la corriente de magnetización. De estas ecuaciones se puede apreciar la relación entre los campos eléctricos y magnéticos cuando estos cambian en el tiempo.

## 2.2 Intensidades típicas del campo magnético producido por algunos electrodomésticos y medidos a diferentes distancias

Estos datos han sido referidos por la Organización Mundial de la salud a partir de los datos suministrados por la Oficina Federal Alemana de Seguridad Radiológica que les publicó en el año 1999.

APARATO	DISTANCIA		
	3 cm (μT)	30 cm (μT)	1 m (μT)
Secador Cabello	<b>6 – 2000</b>	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Máquina de afeitar eléctrica	<b>15 – 1500</b>	0,08 – 9	0,01 – 0,03
Aspiradora	200 – 800	<b>2 – 20</b>	0,13 – 2
Luz fluorescente	40 – 400	<b>0,5 – 2</b>	0,02 – 0,25
Horno microondas	73 – 200	<b>4 – 8</b>	0,25 – 0,6
Radio portátil	16 – 56	<b>1</b>	< 0,01
Horno eléctrico	1 – 50	<b>0,15 – 0,5</b>	0,01 – 0,04
Lavadora	0,8 – 50	<b>0,15 – 3</b>	0,01 – 0,15
Plancha	8 – 30	<b>0,12 – 0,3</b>	0,01 – 0,03
Computadora	0,5 – 30	<b>&lt; 0,01</b>	
Nevera	0,5 – 1,7	<b>0,01 – 0,25</b>	<0,01
Televisor a color	2,5 - 50	0,04 – 2	<b>0,01 – 0,15</b>

Tabla 1. Intensidades de Campo magnético de diferentes electrodomésticos a diferentes distancias. Fuente: Oficina Federal Alemana de Seguridad Radiológica (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS), 1999. (La distancia de operación normal se indica en negrita.)

## 2.3 Energía de las ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas, al igual que las ondas mecánicas, pueden transferir energía a los cuerpos circundantes en su propagación. La razón de flujo de energía suministrada por una onda electromagnética está dada por la ecuación seis (6) conocida como Vector de Poynting.

$$\mathbf{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_o} \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad S = \frac{EB}{\mu_o} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

(6) Vector de Poynting

(7) Magnitud del Vector de Poynting con B y E a 90 Grados entre sí (Distante de la fuente)

## 3. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Los seres vivos han utilizado las interacciones electromagnéticas dentro de su evolución. La visión y la luz, son la expresión más clara y explícita de la capacidad de estos para interactuar con el espectro electromagnético.

Algunos organismos son sensibles a campos magnéticos, incluyendo a los generados por la tierra. Dentro de ellos encontramos los tiburones y las rayas que pueden encontrar sus rutas de desplazamiento, los movimientos cinéticos de los moluscos, los patrones migratorios de las aves y la danza de las abejas, entre otros, que se dan a través de los cambios magnéticos terrestres. En el organismo se producen corrientes eléctricas minúsculas debidas a las reacciones químicas de las funciones corporales normales, incluso en ausencia de campos eléctricos externos. Por ejemplo, los nervios emiten señales mediante la transmisión de impulsos eléctricos. En la mayoría de las reacciones bioquímicas, desde la digestión hasta las actividades cerebrales, producen una reorganización de partículas cargadas. El corazón presenta actividad eléctrica, que se puede detectar mediante la electrocardiografía. El comportamiento de los tejidos frente a los campos magnéticos y los eléctricos es muy diferente en cada uno de los casos. El campo eléctrico puede ser fácilmente apantallado por su membrana, cosa que no sucede con el campo magnético que si logra pernear con mayor facilidad las membranas celulares.

Para algunos dispositivos que operan a frecuencias por encima de 10 MHz, tales como teléfonos celulares e inalámbricos, la exposición humana puede ocurrir bajo condiciones de campo cercano; la dependencia de la frecuencia de absorción de energía, bajo estas condiciones, es muy diferente a la descrita para condiciones de campo lejano; ya que los campos magnéticos pueden ser dominantes en dispositivos como los teléfonos celulares.

### 3.1 Absorción específica (SA)

Se define como la cantidad de energía incremental (dW) adsorbida o disipada por un diferencial de masa (dm) contenida en un elemento de volumen (dV) de una densidad dada.

$$SA = \left( \frac{dW}{dm} \right) = \left( \frac{dW}{\rho m} \right) \left[ \frac{J}{kg} \right]$$

(8) Definición de SA

### 3.2 Tasa de absorción específica (SAR)

Es la derivada de la energía incremental (dW) absorbida o disipada por un diferencial de masa (dm) contenida en un elemento de volumen (dV) de una densidad dada con respecto al tiempo. Esto es, la derivada de la absorción específica respecto al tiempo.

$$SAR = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{\rho m} \right) \left[ \frac{W}{kg} \right]$$

(9) Definición de SAR

El establecimiento de los valores SAR pretende indicar al público en general el valor seguro de la energía por unidad de volumen de los equipos eléctricos y electrónicos, como el teléfono celular, este valor resulta muy importante cuando se refiere a dichos equipos de comunicación, puesto que los campos electromagnéticos y la energía suministrada por la onda, se generan en las proximidades del cerebro debido a la posición de uso de tales equipos.

Los fabricantes de equipos de comunicación tienen la obligación de publicar dichos valores SAR para cada uno de sus modelos celulares, los cuales son fáciles de encontrar dentro de los manuales de uso y/o características del teléfono celular. El Parlamento Europeo, en su nota informativa Número 5 del 2001, hace las siguientes referencias respecto al valor SAR y su procedimiento de determinación:

- El valor SAR determina sólo los efectos térmicos del tejido.
- El tejido utilizado es simulado y no humano.
- Los valores del SAR son probados por los fabricantes.
- La medición de SAR se efectúa simuladamente alrededor del oído.
- La medida del SAR no garantiza que el cambio de posición del teléfono mantenga estos promedios.

Región / País	Protocolo de Medida SAR	Referencia al Límite SAR	Límite
Europa	European Specification ES 59005 (1998)	ICNIRP Guidelines 1998 (ICNIRP 1998)	2.0 W/Kg en 10 g de tejido
Australia	Australian Communications Authority (ACA) Standard (ACA RS 1999)	Australian Standard AS/NZS 2772.1	1.6 W/Kg en 10 g de tejido

USA	Federal Communications Commission (FCC) Guidelines (FCC 1997)	American Standard ANSI C95.1 (ANSI 1992)	1.6 W/Kg en 1 g de tejido
-----	---	--	---------------------------

Tabla 2. Valores SAR por Autoridad Mundial

### 3.3 Valor SAR de algunos teléfonos celulares

Estos valores sólo representan una muestra de algunos modelos de celulares. Sus valores pueden no resultar confiables, por lo que se sugiere visitar el sitio web de cada fabricante y leer los detalles de las características del modelo requerido en particular.

Marca	Modelo	W/Kg
Nokia	1100	0.90
Nokia	3595	0.46
Nokia	6200	1.18
Nokia	6800	1.18
Nokia	6225	1.06
Nokia	6120	0.43
Motorola	C115	0.55
Motorola	V172	1.53
Motorola	V120C	1.55
Motorola	V70	1.55
Siemens	A56	0.33
Sony	T237	0.26
Sony	K300	0.7
Sony	T610	0.89
Sony	T226	0.26
Alcatel	155A	0.39

Tabla 3. Valores SAR de algunos celulares

El estándar norteamericano para el límite de SAR de los teléfonos celulares que se usan de manera pública es de 1.6 W/Kg promediados sobre 1 gramo de tejido y 2.0 W/Kg; tal promedio se realiza sobre 10 gramos de tejido para el estándar Europeo.

## 4. EFECTO HUMANO

Dentro de un reporte Europeo, acerca de trabajadores inmersos en la fabricación de imanes permanentes, se mostró que estos presentaban algunos síntomas y disturbios funcionales dentro de los que se incluían irritabilidad, fatiga, dolor de cabeza, pérdida del apetito, taquicardia, descenso de la presión sanguínea, prurito, quemaduras y alteraciones encefalográficas. Estos síntomas no se consideraron concluyentes puesto que no estaban inmersos dentro de una investigación.

Algunos informes sugieren que la retina, el diafragma, y el endotelio córneo del ojo del hombre son sensibles a

niveles bajos de radiación de microondas pulsantes (Kues y col. 1985; UNEP/ OMS/ IRPA 1993) donde, los cambios degenerativos en las células sensibles a la luz de la retina fueron señalados para niveles de energía absorbidos de hasta sólo 26 mJ /kg .

**5. SITUACIÓN DE COLOMBIA FRENTE A LA REGLAMENTACIÓN**

El Gobierno colombiano generó el decreto número 195 de 2005 que recomienda la adopción de los niveles de referencia de emisión de campos electromagnéticos definidos por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante, Icnirp, ente reconocido oficialmente por la Organización Mundial de la Salud, OMS.

El decreto número 195 de 2005, dado en Bogotá, D. C., el 31 de enero de 2005, tiene por objeto adoptar los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos producidos por estaciones radioeléctricas en la gama de frecuencias de 9 KHz a 300 GHz y establecer lineamientos y requisitos únicos en los procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas en telecomunicaciones. Este decreto indica que para lo no contemplado en la norma, se deberá atender la Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T K.52 "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos", con las recomendaciones que la adicione o sustituyan.

**6. MEDICIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO**

La determinación del nivel de campo magnético **B** y el campo eléctrico **E** de manera precisa resultan tareas sujetas a demasiadas variables físicas como lo son la temperatura, la posición, la frecuencia y las vibraciones que de deben ser sorteadas de manera recursiva.

La mayoría de los trabajos que se realizan están enfocados en la medición y estudio del campo magnético **H** y sus posibles efectos sobre la salud y su menor dependencia con la permeabilidad de medio.

$$B = \mu H$$

*(10) Independencia de H con respecto al medio de permeabilidad  $\mu$*

**6.1 Tecnologías masivas de sensores magnéticos**

A pesar de que existen muchos métodos de sensar la corriente y el campo magnético presente, sólo pocos de ellos son utilizados debido a su alto precio para aplicaciones con alto volumen de producción. Otros sistemas son costosos métodos de laboratorio o con altos requerimientos de implementación y puesta en marcha. Los sistemas más usados son:

- Sistemas de Efecto Hall
- Los sistemas Magnetoresistivos

- Magnetoinductivos
- Los Transformadores de Corriente

**6.1.1 Sensores de efecto HALL**

El efecto Hall se presenta cuando un metal o semiconductor con corriente, se sitúa en un campo magnético perpendicular al vector densidad de corriente, originando un campo eléctrico transversal y una diferencia de potencial. Este fue descubierto por Edwin Hall in 1917.

La causa del efecto Hall es la desviación que experimentan los electrones que se mueven en el campo magnético bajo la acción de la fuerza de Lorentz.

Los sensores de efecto Hall representan una buena solución que se ha posicionado en el mercado. No presentan altos consumos de energía, tienen bajo calentamiento y no requieren amplificación adicional. No obstante, el rango de la frecuencia, su costo, la presencia de offset y la necesidad de una fuente de alimentación externa, representan sus más destacadas desventajas a la hora de elegir. Son poco sensibles y requieren campos magnéticos de orden de los teslas para apreciar su operación.

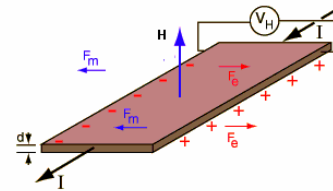


Figura 1. Sensor de Efecto Hall

**6.1.2 Sensores magnetoresistentes**

Los sensores magnetoresistentes (MR.) hacen uso del efecto magneto resistente, que se expresa como la característica de un material magnético, el cual, cuando lleva una corriente, cambia su resistencia ante la presencia de un campo magnético externo. La figura muestra una tira del material ferromagnético, llamada Permalloy compuesto de un 19% Fe y un 81% Ni. Cuando no hay campo magnético externo presente, el Permalloy tiene un vector interno de magnetización paralelo al flujo de la corriente.

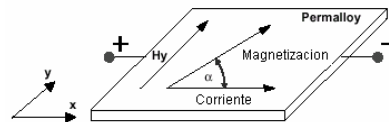


Figura 2. Sensor Magneto resistente

Si se aplica un campo magnético externo Hy, paralelo al plano del Permalloy, pero perpendicular al flujo de la corriente, el vector interno de magnetización del Permalloy rotará alrededor de un ángulo  $\alpha$ , consecuentemente, la resistencia de R del Permalloy cambiará en función del ángulo  $\alpha$  de rotación, según la ecuación once (11):

$$R = R_o + \Delta R_o * \text{Cos}^2 \alpha$$

(11) cambio de la resistencia R del Permalloy en función del ángulo  $\alpha$ .

$R_o$  y  $\Delta R$  son parámetros del material y se suele usar Fe19Ni81

De la ecuación once (11), se puede apreciar que este fenómeno no es lineal, por lo que se requiere una corrección del indeseado resultado.

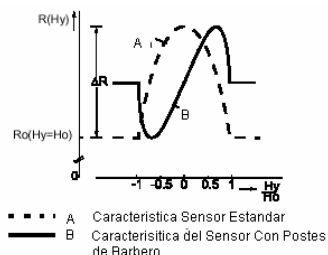


Figura 3. Curvas características del sensor magnetoresistente

La linealización del efecto magnetoresistente se puede lograr depositando franjas de aluminio llamadas Postes del Peluquero, encima de la tira del Permalloy a un ángulo de 45° al eje de la tira. Como el aluminio tiene una conductividad mucho más alta que el Permalloy, el efecto de los Postes del Peluquero es rotar la dirección de la corriente hasta 45° (el flujo de la corriente toma una forma 'Diente de Sierra'), cambiando con eficacia el ángulo de la rotación de la magnetización concerniente a la corriente de  $\alpha$  a  $-45^\circ$ .

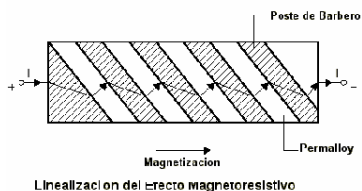


Figura 4. Linealización del efecto Magnetoresistivo

Cuando no hay campo magnético presente, el Permalloy tiene un vector de magnetización paralelo, es decir  $\alpha=0$ . En este caso la resistencia de la tira R obtiene su valor máximo  $R_{max}$ . Si se aplica un campo  $H_y$ , el vector interno de magnetización del Permalloy rota un ángulo  $\alpha$ . Ante la presencia de valores muy altos de campo magnético, la magnetización tiende a alinearse paralela a  $H_y$  y la rotación de  $\alpha$  se aproxima a 90 grados. En este caso, la resistencia logra su valor mínimo  $R_{min}$ . La siguiente ecuación muestra la dependencia de entre  $H_o$  y R, donde  $R_o=R_{min}$ ,  $\Delta R_o=R_{max} - R_{min}$  y  $H_o$  es un parámetro que depende de la geometría de la tira Permalloy.

$$R = R_o + \frac{\Delta R_o}{2} \pm \Delta R_o \frac{H}{H_o} \sqrt{1 - \left(\frac{H}{H_o}\right)^2}$$

(12) Cambio de la resistencia R del Permalloy en función de  $H_o$

La ecuación se hace lineal si  $H/H_o = 0$ , lo que se logra modificando las propiedades del material puesto que  $H_o$  es una constante que depende sólo del material. Si los postes de barbero se colocan a 45 grados positivos, el signo de la ecuación también es positivo, para el caso contrario se hace negativo. También se utiliza una configuración del puente de Wheatstone para mejorar la linealización. El desequilibrio del puente que resulta es una función lineal de la amplitud del campo magnético externo en el plano de las tiras de Permalloy, normal al eje de la tira.

Los sensores resistivos son fuertemente usados debido a su bajo precio y su facilidad de implementación; sin embargo presentan desventajas como son el calentamiento, el alto consumo de energía y la falta de aislamiento. Este procedimiento siempre requiere de un sistema de amplificación el cual se debe implementar mediante operacionales o comparadores. Se suelen utilizar para la medida de bajos niveles de campo magnético, del orden de micro teslas, y tienen amplia respuesta en frecuencia. Sus datos pueden mejorar según el fabricante.

### 6.1.3 Sensores magnetoinductivos

Los sensores Magnetoinductivos son relativamente nuevos, ya que su primera patente fue publicada en 1989. El sensor es simplemente una sola bobina en un núcleo ferromagnético que cambia la permeabilidad dentro del campo de la tierra; la bobina sensor es un elemento inductivo dentro de un oscilador de relajación L/R. La frecuencia del oscilador es proporcional al campo que se desea medir. Se utiliza una corriente estática, para colocar la bobina en una región de operación lineal. El cambio de la frecuencia observada puede ser del 100% mientras que el sensor se rota 90 grados del campo magnético aplicado. La frecuencia del oscilador se puede apreciar a través del puerto de captura y un microprocesador determina los valores del campo magnético a partir de la frecuencia. Estos magnetómetros son simples en su diseño, bajos en costo, y de muy bajo consumo de energía. Tienen un radio de operación respecto de la temperatura de -20 a 70 grados Centígrados.

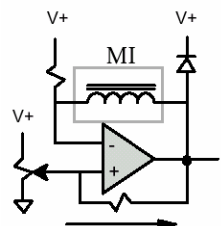


Figura 5. Sensor MAGNETOINDUCTIVO

### 6.1.4 Sensores con transformadores de corriente

Los transformadores de corriente cierran la lista de los sistemas de bajo precio. Su principal desventaja es que sólo operan en presencia de fuentes de campo magnético

cambiantes en el tiempo; de igual forma, los más económicos se diseñan para anchos de banda muy estrechos y son más costosos que los Magnetoresistivos y los de efecto hall. Entre sus ventajas están que no requieren fuente de poder externa ni presentan offset.

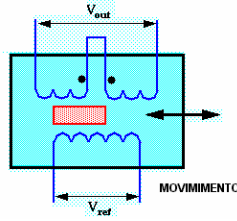


Figura 6. Sensor con Transformador de Corriente

Sensor	Circuit o Aislado	Fuente Externa	Rango de Frecuencias	Precisión	Relación de Precio
Magneto resistivo DC	No	No	<100 kHz	>99%	Muy Bajo
Magneto resistivo DC	No	No	>500 kHz	>99%	Bajo
Efecto Hall Lazo Abierto	Si	Si	<20 kHz	90-95%	Medio
Efecto Hall Lazo Cerrado	Si	Si	<150 kHz	>95%	Alto
Trafo de Corriente	Si	No	Constante	>95%	Muy alto

Tabla 4. Resumen de Sensores

**7. CONCLUSIONES**

No cabe duda que la exposición a campos electromagnéticos muy intensos puede ser perjudicial para la salud. La Universidad Tecnológica de Pereira debe comprometerse en el estudio de dichos efectos sobre la vida y realizar un seguimiento al cumplimiento de las recomendaciones cubiertas en el decreto 195 de 2005, brindando sugerencias alternativas de carácter regional y nacional que ayuden a crear una conciencia precautelativa fundamentada en estudios y no simplemente en especulaciones.

Por tal razón, se invita a conformar un grupo multidisciplinario que permita la actualización, diseño y ejecución de estrategias que ayuden al mejoramiento de la salud en la región y el país mediante el monitoreo y estudio de los efectos de las ondas electromagnéticas en los seres vivos; dando cumplimiento a las regulaciones existentes y proporcionando resultados tanto a la comunidad científica como al público en general.

**8. BIBLIOGRAFÍA**

[1] *Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology*, Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of

Radiofrequency Electromagnetic Fields, OET BULLETIN 56 Fourth Edition August 1999, *Authors* Robert F. Cleveland, Jr. Jerry L. Ulcek, Office of Engineering and Technology Federal Communications Commission Washington, D.C. 20554

[2] IEEE Std C95.1, 1999 Edition (Incorporating IEEE Std C95.1-1991 and IEEE Std C95.1a-1998), IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, 83 PÁGINAS.

[3] Ministerio de Comunicaciones de Colombia, Decreto Número 195 de 2005, 12 páginas, Bogotá, D. C., a 31 de enero de 2005.

[4] Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ingeniería Departamento de Electrónica, Proyecto de Estudio de los límites de la exposición humana a campo electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al Entorno, Bogotá D.C., Mayo 27 de 2002

[5] International Commission on non-ionizing radiation protection, Recomendaciones para limitar la exposición a campos electricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz), 48 páginas.

[6] Philips Semiconductor, General Magnetoresistive Sensors for Magnetic field measurement, [www.phillips.com](http://www.phillips.com)

[7] Honeywell Sensor, A New Perspective on Magnetic Field Sensing, [www.ssec.honeywell.com](http://www.ssec.honeywell.com)

[8] Analog Devices, Magnetic Field Sensor AD22151, [www.analog.com](http://www.analog.com)