

# **Revista de la** *Universidad Politécnica* **de Puerto Rico**

VOL. 8

NÚM. 1

JUNIO 1997<sup>8</sup>

ISSN 1079-7432

## **Un universo de radiación**

*Modesto Iriarte, PhD*

Miembro Junta de Síndicos UPPR

### **Sinopsis**

Durante las dos últimas décadas ha aumentado paulatinamente la preocupación ciudadana sobre la proliferación de los campos electromagnéticos y sus efectos en el cuerpo humano. En este artículo explicamos algunos fundamentos y reglamentaciones existentes para que se comprendan mejor estos efectos.

### **A universe of radiation**

### **Abstract**

During the last two decades there has been an increase in the worrines of the people regarding the proliferation of electromagnetic fields and their effects on the human body. In this article we explain the basic principles and present regulations to help us understand these effects.

### Principios fundamentales

En primer lugar, debemos mencionar que todo el universo material en que vivimos es una continua fuente de radiación electromagnética. Los cuatro estados de la materia conocidos por el hombre (sólidos, líquidos, gases, plasmas) están en un continuo flujo y reflujo de radiación electromagnética. En una forma simple podemos decir que toda materia se reduce a una expresión de átomos que consisten de un núcleo de protones y neutrones con electrones en órbita alrededor de dichos núcleos. Los protones exhiben una carga electropositiva y los electrones una negativa. La partícula denominada positrón también exhibe una carga positiva. De estas cargas eléctricas se generan los campos eléctricos. Los electrones y protones están siempre en agitación. En la naturaleza no hay un electrón o protón en reposo. Esta agitación de las partículas eléctricas genera los campos eléctricos. Todo campo eléctrico en movimiento está misteriosamente acompañado de un campo magnético y viceversa.

Cuando una carga eléctrica oscila o se acelera, se produce misteriosamente un disturbio en el medio en que se agita la vibración. A este disturbio lo llamamos una onda electromagnética. Esta onda electromagnética consiste de dos componentes: un campo eléctrico y un misterioso campo magnético que siempre lo acompaña en posición perpendicular. El campo eléctrico y el magnético y la dirección de propagación están todos perpendiculares unos a los otros.

Clasificamos las radiaciones electromagnéticas de acuerdo a su intensidad energética. Estas radiaciones pueden expresarse indistintamente como paquetitos de energía en formas de ondas electromagnéticas o como partículas individuales.

La radiación energética de mayor intensidad conocida por el hombre son los rayos cósmicos o rayos gamma. Estos se producen en la naturaleza principalmente de las reacciones nucleares en el sol, las estrellas y otras formaciones colosales en las diferentes galaxias del universo. También se generan aquí en la tierra como producto de reacciones nucleares de elementos

pesados como radio, uranio y elementos transuránicos naturales y artificiales. La tabla 1 presenta esta clasificación en orden energético descendente.

Los rayos gamma y rayos X inducen lo que llamamos ionización en el medio por el cual atraviesan. Los rayos gamma no producen ionización directamente pero su elevada energía les permite interactuar con los átomos circundantes arrancándoles electrones y convirtiéndolos en partículas cargadas que a su vez producen ionización.

Las radiaciones ionizantes se producen cuando una partícula cargada eléctricamente en rápido movimiento pasa cerca de un átomo e interactúan con éste, le remueve un electrón y deja el átomo cargado positivamente. El átomo cargado se conoce como un ion. El átomo cargado y el electrón extraído se convierten en un par de iones. A las partículas cargadas capaces de inducir ionización directamente se les conoce como las partículas alpha y beta. La partícula alpha consiste de un paquetito de energía manifestada en forma de un núcleo del átomo de helio de peso atómico 4 y la partícula beta consiste de un paquetito de energía manifestado en forma de un electrón. (Una partícula beta es un electrón. La diferencia entre un electrón y una partícula beta está en la elevada velocidad de la partícula beta, la cual se acerca a la velocidad de la luz.) Estos paquetitos de energía pueden expresarse como partículas o como ondas.

Desde el punto de vista radiológico, la importancia de las radiaciones ionizantes es que producen destrucción directa en los tejidos biológicos ya que alteran las estructuras atómicas. Los rayos gamma reaccionan con la materia de tres formas muy conocidas. En orden de probabilidad de ocurrencia y de acuerdo a la intensidad de energía, de mayor a menor energía, tenemos:

- la producción de pares (positrón y electrón); el rayo gamma se transforma de energía a materia capaz de inducir ionización. El rayo gamma debe de tener una energía mínima de 1.02 meV.
- el efecto Compton, en el cual un rayo gamma extrae del átomo un electrón capaz de inducir ionización y el rayo gamma continúa viaje, pero su energía disminuye

## Iriarte/Universo de radiación

- el efecto fotoeléctrico, en el cual un rayo gamma es completamente absorbido por el átomo, pero extrae un electrón capaz de inducir una débil o insignificante ionización.

Tabla 1 Espectro electromagnético

Espectro	Frecuencia(v) hercios (Hz) 10 <sup>6</sup>	Frecuencia (v) hercios (Hz)	Largo onda (λ) λ=c/v centimeters	Energía E en meV <sup>1</sup> E=h
Gamma	10,000-10 (10 <sup>12</sup> )	10 <sup>22</sup> -10 <sup>19</sup>	3x10 <sup>-12</sup> -3x10 <sup>-9</sup>	41-041 meV
Rayos X	10 (10 <sup>12</sup> )-10 (10 <sup>9</sup> )	10 <sup>19</sup> -10 <sup>16</sup>	3x10 <sup>-9</sup> -3x10 <sup>-6</sup>	41-041 keV
X tamaño 1A	3 (10 <sup>12</sup> )	3x10 <sup>18</sup>	1Angstrom 1cm	12.4 keV
Ultravioleta	3 (10 <sup>9</sup> )-700 (10 <sup>6</sup> )	3x10 <sup>15</sup> -700x10 <sup>12</sup>	10 <sup>-5</sup> -4.28x10 <sup>-5</sup>	41-2.9 eV
Visible	800-400 (10 <sup>6</sup> )	(800-400)x10 <sup>12</sup>	3.75x10 <sup>-5</sup> -7.5x10 <sup>-5</sup>	3.27-1.63 eV
Infrarojo	(400-3)x10 <sup>6</sup>	(400-3)x10 <sup>12</sup>	7.5x10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-3</sup>	1.63-0012 eV
Microondas y Radar	300000-3000	(3-.03)x10 <sup>11</sup>	.1-10	.0012-.000012 eV
UHF y VHF VHF (Humano)	3000-30 171	(3000-30)x10 <sup>6</sup> 1.71 x10 <sup>8</sup>	10cm-10m 175 cm	(12000-12)x10 <sup>-9</sup> (70.5)x10 <sup>-6</sup> eV
HF	30-2	(30-2)x10 <sup>6</sup>	10m-150m	(12 - 8) (10 <sup>-9</sup> ) eV
MF	2-0.2	(2-.2)x10 <sup>6</sup>	150m-1500m	8x10 <sup>-9</sup> -8x10 <sup>-10</sup> eV
LRF	(100-2)x10 <sup>3</sup>	(100-2)x10 <sup>3</sup>	3km-150km	4x10 <sup>-10</sup> -8x10 <sup>-12</sup> eV
Low Band-ELF	1x10 <sup>3</sup> -1x10 <sup>6</sup>	1000 -1	(.3-300)x10	4x10 <sup>-12</sup> -4x10 <sup>-15</sup> eV
60 Hertz Power	0.000060	60	5000 km	2.5x10 <sup>-13</sup> eV

Leyenda: UHF y VHF - frecuencia ultra-alta y frecuencia muy alta ("ultra high frequency" y "very high frequency")

HF - frecuencia alta ("high frequency")

MF - frecuencia intermedia ("medium frequency")

LRF - frecuencia de baja radiación ("low radiation frequency")

ELF - frecuencia bien baja ("extremely low frequency")

---

<sup>1</sup> Un electrón-voltio es igual a la energía adquirida por un electrón cuando éste es acelerado por un campo eléctrico de un voltio. Esta energía de 1 ev es igual a 1.60x10<sup>-12</sup> ergs, y 10<sup>7</sup> ergs es igual a 1watt-sec. Un electrón-voltio=hv/1.6x10<sup>-12</sup>. Un meV= 10<sup>-3</sup>V y un MeV=10<sup>6</sup>eV.

Según los rayos u ondas de radiación disminuyen en intensidad energética la probabilidad de interacción con la materia disminuye hasta que llega a un umbral energético bajo el cual no puede existir interacción material o colisión directa debido a la baja energía. Bajo este umbral energético la interacción ya no es atómica o directa sino de inducción electromagnética. En este caso la teoría clásica electromagnética de Maxwell puede aplicarse con toda rigurosidad. (Sobre el umbral energético se aplica la teoría cuántica y de relatividad.) En este umbral o frontera de baja energía comienza el espectro infrarrojo. Así que, examinando la Tabla 1, podemos decir que los siguientes espectros de frecuencias están libres de interacción atómica:

- infrarrojo
- microondas
- UHF y VHF
- HF
- MF
- LRF
- Low Band ELF.

Estas bandas del espectro no tienen la posibilidad de producir ionización por medio de radiación, la cual es la que altera las estructuras atómicas. La interacción se limita a un proceso extra-atómico de intercambio de energías electromagnéticas que podríamos catalogar como energía del aura o periferal de las partículas y átomos. La energía, la frecuencia y el largo de ondas están directamente relacionadas por fórmulas sencillas:

$$e = h \nu \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2)$$

En las ecuaciones (1) y (2)  $e$  es la energía en ergios,  $h$  es la constante de Plank ( $6.6 \times 10^{-27}$  erg-sec.),  $\nu$  es la frecuencia en hercios,  $\lambda$  es el largo de onda en

## Iriarte/Universo de radiación

centímetros (cm) y  $c$  es la velocidad de la luz ( $3 \times 10^{10}$ ) en centímetros por segundo (cm/s).

Nuestro interés es analizar el espectro de microondas comprendido entre los espectros de frecuencia UHF y VHF, que es donde opera la telefonía celular y el espectro de ELF o 60 ciclos que nos atañe a todos. Este límite de umbral mencionado es más fácil de comprender y recordar en términos de largos de onda que en términos de energía. La dimensión radial de un átomo es de aproximadamente 1 a 2 amgstroms. Un amgstrom es igual a  $10^{-8}$  cm. Cuando el largo de onda de una radiación es igual o menor a la dimensión de un átomo, la onda puede interaccionar fácilmente con el átomo. Según aumenta el largo de onda de la radiación (disminuye la energía) la onda penetra menos en el átomo y se reduce la reacción con él. Cerca del largo de onda equivalente a los rayos ultravioleta (o de energía) es donde comienza el umbral de cero o casi cero interacción atómica y comienza la interacción electromagnética de inducción, que en palabras comunes podríamos llamarle interacción de "refilón". La tabla 1 muestra valores para un rayo X con largo de onda de 1 amgstrom, lo cual compara con el tamaño de un átomo. En esta tabla podemos observar que para la radiación ultravioleta el largo de onda es aproximadamente 1000 veces el tamaño de un átomo, lo que resulta en una probabilidad insignificante de interacción atómica. La interacción puede ocurrir, no obstante, con moléculas que imparten vibraciones rotativas y otras. Además se puede observar que para las microondas y el radar el tamaño del largo de onda está entre 0.1 a 10 centímetros, lo cual ya es muy grande para la interacción atómica o molecular. De aquí hacia abajo en la tabla la interacción es electromagnética. Los cuerpos ahora actúan como antenas para interactuar con las ondas que vibran en el espacio a su alrededor o por inducción.

El tamaño promedio de un adulto humano es de 1.75 metros (m). La frecuencia correspondiente a un largo de onda de 1.75 metros es 171 MHz y ésta queda dentro del espectro UHF-HF. Esta banda de radiofrecuencia de 171 MHz o 1.75 metros es donde las dosificaciones radiológicas son más estrictas. La telefonía celular está en la banda de 800 MHz, lo que corresponde a un largo de onda de 37.5 cm., que es aproximadamente una quinta parte del

tamaño de un hombre. Por otro lado, la frecuencia de energía eléctrica de potencia de 60 ciclos tiene un largo de onda de 5000 kilómetros, lo que comentaremos más adelante bajo "Energía de potencia de 60 ciclos".

### Energía de radiofrecuencia

Dos fórmulas básicas de electricidad son la conocida como la Ley de Ohms ( $e=ir$ ) y la popular ecuación de Joule, que expresa potencia en voltio-amperios (VA) o vatios (W),  $p=ei = e^2/r$ . (La resistencia  $r$  normalmente se substituye por  $z$  para implicar impedancia). La Ley de Ohms dice que el voltaje  $V$  ó  $e$ , a través de una resistencia  $r$ , o impedancia  $z$ , es igual a la corriente,  $i$ , multiplicada por la resistencia o impedancia  $z$ . Imaginemos ahora un punto de emisión electromagnética isotrópica (esto es, emitiendo energía igualmente en todas direcciones) en el espacio. Si nos colocamos a una distancia  $L$  del punto de emisión y dividimos ambos lados de la ecuación por el largo  $L$  en metros podemos expresar la ecuación (3)

$$E = I Z \quad (3)$$

donde  $E$  es el gradiente de voltaje igual al campo eléctrico en voltios por metro (v/m) e  $I$  es el gradiente de corriente igual al campo magnético en amperios por metro (A/m). El producto de  $EI$  produce un valor por unidad de área en metros cuadrados y se conoce como **densidad de potencia**.  $Z$  representa la impedancia característica del espacio, la cual llamamos  $Z_0$  y tiene un valor de 377 ohmios.<sup>2</sup>

La permeabilidad ( $\mu$ ) y la permitividad ( $\epsilon$ ) son propiedades características o parámetros del espacio relacionadas con los campos magnéticos y eléctricos

---

<sup>2</sup>Simplificamos para facilitar la comprensión del ambientalista profesional, el técnico practicante y los ciudadanos concernidos. Para la rigurosidad fisico-matemática hay que buscar la derivada espacial (o divergencia) de potenciales envueltos. En esta simplificación calculamos los campos dividiendo por  $L$ . No obstante, los resultados son correctos. Para rigurosidad consulte textos como "Electromagnetic Waves and Radiating Systems", Edward Jordan, University of Illinois, 8<sup>th</sup> Printing 1962, Prentice Hall.

## Iriarte/Universo de radiación

respectivamente. El valor de  $Z_0$  puede expresarse en términos de estos parámetros. Igualmente la velocidad de propagación de la onda, que es igual a la velocidad de la luz ( $c$ ), puede expresarse por medio de estos parámetros:

$$Z_0 = \sqrt{\mu/\epsilon} = 377 \Omega \quad (4)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s} \quad (5)$$

Los valores absolutos de la permeabilidad  $\mu$  y de la constante dieléctrica o permitividad  $\epsilon$  los da la ecuación (6)

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad \epsilon = (1/36\pi) \times 10^{-9} \text{ F/m} \quad (6)$$

H es la unidad de inductancia en henrios (H) y F es la unidad de capacitancia en faradios (F) y constituyen propiedades de circuitos eléctricos. La inductancia es la propiedad eléctrica de un circuito para almacenar energía magnética en una bobina ("coil") y la capacitancia es la propiedad para almacenar energía electrostática en un condensador. (La energía electrostática es la que produce las chispas entre cuerpos cargados que estamos acostumbrados a observar en la naturaleza.)

La densidad de potencia en cualquier punto del espacio expresada en vatios por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ ) sería dada por la ley de Joule

$$\text{Densidad de potencia (W/m}^2\text{)} P = E I \quad (7)$$

La densidad de potencia varía inversamente con la distancia al cuadrado de la fuente de emisión electromagnética a una distancia lejana del punto de emisión

conocida en inglés como "far field". Cerca del punto de emisión, conocido en inglés como "near field", el campo de inducción electromagnética predomina sobre el de radiación.

No obstante, estaríamos en el lado seguro si medimos los campos eléctricos y magnéticos a distancia y si cualquiera de ellos excede límites de normas ya establecidas se podría considerar un caso de incumplimiento con las normas, aunque el producto  $EI$  (o densidad de potencia) esté dentro de los límites establecidos.

La energía que contienen el campo magnético y el eléctrico, ambos en julios por metro cuadrado ( $J/m^2$ ), se expresa de la siguiente forma<sup>3</sup>:

$$\text{Energía campo magnético} = \frac{\mu H^2}{2} J/m^2 \quad (8)$$

$$\text{Energía campo eléctrico} = \frac{\epsilon E^2}{2} J/m^2 \quad (9)$$

La energía total es la suma de las dos y ambas son iguales.

$$\text{Energía total del campo en } J/m^3 = \mu H^2 = \epsilon E^2 \quad (10)$$

Como esta energía se mueve atravesando un punto a la velocidad de propagación de la luz,  $3 \times 10^8$  metros por segundo,

---

<sup>3</sup> Las ecuaciones (8) y (9), derivadas de la teoría de Maxwell, se asemejan a las ecuaciones sobre energía de un cuerpo con masa  $m$  moviéndose a velocidad  $v$  cuya energía es  $\frac{1}{2} mV^2$ .

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (11)$$

la energía que fluye por segundo por metro cuadrado es igual a

$$P = \epsilon E^2 v = E^2 \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} = \frac{E^2}{Z_0} \text{ W/m}^2 \quad (12)$$

En valores absolutos tenemos también de la ecuación (10) que

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = 377 \Omega \text{ (impedancia del espacio)} \quad (13)$$

Como ejemplo de calculación, para una estación de radio a la cual se le mide a distancia un campo eléctrico  $E$  de 50 mV/m la densidad de energía, según la ecuación (10), es  $2.21 \times 10^{-14} \text{ J/m}^3$ . En este caso la densidad de potencia es  $6.63 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$  ( $6.63 \mu\text{W/m}^2$ ) de acuerdo a la ecuación (12). El campo magnético  $H = E/377 = 1.326 \times 10^{-4} \text{ A/m}$ .

La figura 1 ilustra una corta antena en la cual se hace fluir una corriente de radiofrecuencia; muestra las ondas hertzianas y los campos eléctricos y magnéticos. Sólo se ilustra la mitad del cuadro (desde la mitad de la antena hacia arriba) para simplificar la presentación. El campo magnético es circular alrededor de la antena y está perpendicular en todos los puntos del campo eléctrico y a la dirección de propagación. Hay que imaginarse que todos estos anillos se extienden en forma esférica en todo el espacio.

La magnitud del campo eléctrico (voltios/m) de la onda está dada por la siguiente relación:

$$E = (Z_0) \left(\frac{I}{r}\right) \left(\frac{l}{\lambda}\right) \cos \theta \quad (14)$$

$I$  es la corriente que se hace fluir en la antena e  $I/r$  representa el campo magnético. La distancia del punto de medición a la antena es  $r$ . Observe que  $(Z_0)(I/r)$  corresponde al voltaje según determinado por la Ley de Ohms y que  $l/\lambda$  representa la fracción de antena (con respecto al largo de onda) que se usa como largo de antena y  $\theta$  representa el ángulo entre el plano horizontal que pasa por el centro de la antena y el punto  $P$  de medición según se ilustra en la figura 1. La intensidad del campo  $E$  directamente sobre la antena es cero y la intensidad del campo a nivel del centro de la antena es el máximo. Observe que la densidad de potencia ( $P$ ) está dada por  $E^2/Z_0$ . Cuadrando ambos lados de la ecuación (14) tenemos,

$$P = \frac{E^2}{Z_0} = Z_0 \left(\frac{I}{r}\right)^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \cos^2 \theta \quad (15)$$

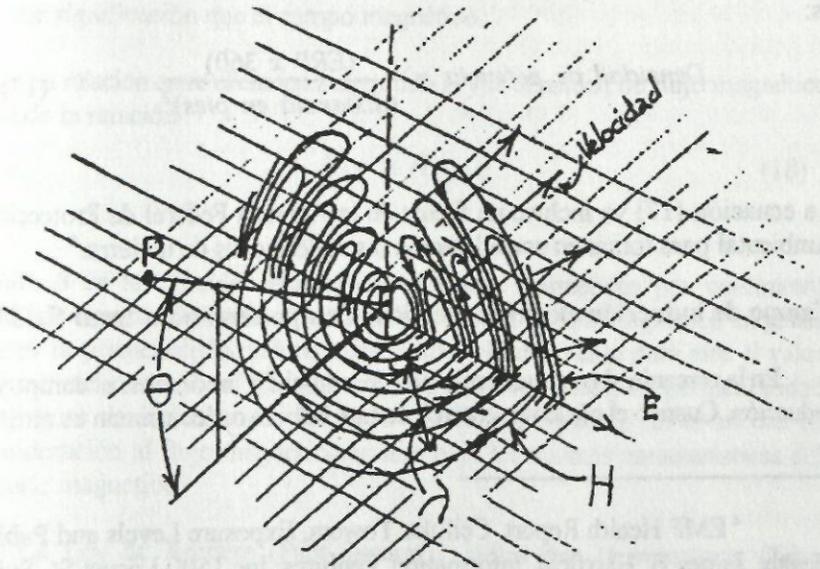


Figura 1. Campo eléctrico E y magnético H radiándose de antena

Para obtener la potencia total radiada hay que integrar la expresión de densidad de potencia alrededor de toda el área de la esfera que arroja el punto de emisión. El integral de  $(\cos^2\theta da)$  alrededor del área de la esfera a una distancia fija  $r$  produce un valor de  $2/3\pi r^2$  ( $da$  es un infinitesimal de área esférica). La potencia total de emisión es,

$$\text{Potencia radiada / estación radiotransmisora} = \frac{2}{3}\pi Z_0 I^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \quad (16)$$

Las ecuaciones (15) y (16) indican que la densidad de potencia total radiada es directamente proporcional al cuadrado de la fracción de largo de antena al largo de onda  $(l/\lambda)$  que se esté usando.

No obstante, cuando se sabe o se ofrece como un dato el valor efectivo de la potencia a radiarse en una dirección específica, conocido como ERP ("effective radiated power"), la fórmula que se usa para calcular la densidad de potencia (en  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) a distancia ("far field") desde el centro de la antena es:

$$\text{Densidad de potencia} = \frac{(\text{ERP} \times 360)}{(\text{distancia en pies})^2} \quad (17)$$

La ecuación (17) ya incluye un factor de la Agencia Federal de Protección Ambiental para tomar en consideración las reflexiones de la tierra.<sup>4</sup>

### Campo de inducción electromagnética (Campo cercano o "near field")

En la cercanía al punto de emisión ("near field") predomina el campo de inducción. Cuando el núcleo (o centro) de una bobina o electroimán es aire, el

---

<sup>4</sup>EMF Health Report. Cellular Towers, Exposure Levels and Public Health, James B. Hartfield, Information Ventures, Inc 1500 Locust St, Suite 1513, Philadelphia, PA 19102-4314.

flujo magnético  $\phi$  (líneas magnéticas) producido por una corriente que fluya en la bobina encuentra una baja permeabilidad ( $\mu_{\text{aire}}=1$ ) que resulta en un flujo relativamente bajo comparado con el caso de un núcleo de hierro ( $\mu_{\text{hierro}} \approx >1000$ ). En este último caso el flujo puede aumentar por un factor de 1000 o más.

En un equipo eléctrico en el cual las líneas magnéticas fluyan completamente a través de un núcleo de hierro, el campo magnético queda atrapado. Aquí, el campo de inducción o magnético fuera del equipo disminuye considerablemente. De hecho, pueden usarse láminas de acero como blindaje para aislar el flujo magnético. Cuando el grueso del campo magnético fluye en aire, sus efectos débiles se extienden a mayores distancias. El caso más típico en que un campo magnético queda atrapado es un transformador de potencia, pues en éste el circuito magnético fluye completamente en una sección de hierro. También en motores y generadores el campo magnético está atrapado, pero debido a que en estos equipos hay una pequeña apertura ("air gap") que separa las partes rotativas, el flujo magnético no queda tan herméticamente atrapado como en los transformadores. En estos casos de atrapamiento en núcleos de hierro, no obstante, el campo eléctrico resulta de mayor significación que el campo magnético.

La relación entre el campo magnético  $H$  y la densidad de flujo magnético  $B$  la da la relación

$$B = \mu H \quad (18)$$

donde  $B$  es la densidad magnética en líneas magnéticas por centímetro cuadrado o gauss (G, donde  $G=1$  línea/cm<sup>2</sup>),  $H$  el campo magnético en gauss y  $\mu$  es la permeabilidad relativa del medio. Normalmente para aire el valor relativo de  $\mu$  es 1.0, así que numéricamente  $B=H$  en aire. La permeabilidad relativa se considera como la razón del flujo magnético en el medio en consideración al flujo magnético en aire bajo las mismas características del circuito magnético.

La Ley de Ampere (Biot-Savart) indica que la sumatoria ("line integral") de los segmentos por donde fluye la corriente  $I$ , que produce el flujo

B, es igual a  $i$ . Para el aire  $\mu=1$ , numéricamente en aire tenemos que  $B=i$ .

$$B = H = \frac{I}{m} \quad (19)$$

Si medimos un campo magnético con un magnetómetro (un magnetómetro es un simple instrumento que contiene una bobina o varias bobinas y un metro de milivoltios graduado en miligauss) podemos calcular el campo magnético en A/m. Basta dividir por 10 el campo magnético en miligauss (mG) para obtener el campo magnético en A/m por metro. Se incluye la conversión para que el flujo esté en líneas/m<sup>2</sup> y el campo magnético en amperios por metro (A/m).

$$\frac{B \text{ (mG)}}{10} = \text{Campo magnético } I \text{ en A/m} = H \quad (20)$$

Para el caso del problema de la estación de radio donde el campo magnético se calculó igual a  $1.326 \times 10^{-4}$  A/m, lo que corresponde a  $1.326 \times 10^{-3}$  mG.

### Ley de Faraday o de inducción

Cuando un campo magnético en movimiento corta un objeto o un objeto en movimiento corta un campo magnético, se induce un voltaje en el objeto. (Normalmente el objeto resulta ser un conductor de un componente eléctrico.) Indicamos expresamente un objeto distinto a lo que se encuentra en la literatura porque este voltaje siempre se induce. No obstante, si el objeto tiene una resistencia alta no fluiría corriente. Sea en un objeto o aire en el espacio se inducirá siempre un voltaje cuando tenemos un campo magnético variable. Este voltaje representará un estrés eléctrico en el medio. Dependiendo de la resistencia del objeto, fluiría una corriente cuya magnitud es determinada por la ley de Ohms ( $i=e/r$ ) a la cual podemos llamar la corriente inducida. La corriente inducida a su vez produce como reacción un campo magnético que se opone al campo que la produjo resultando el proceso en un campo

magnético reducido<sup>5</sup>. La ley de inducción de Faraday expresa que el voltaje inducido es igual a la variación en tiempo del flujo magnético  $\phi$  (líneas magnéticas),

$$E = \frac{d\phi}{dt} \quad (21)$$

$$\Phi = B A \quad (22)$$

donde  $B$  es la densidad de flujo en gauss y  $A$  es el área en  $\text{cm}^2$  y  $\phi$  el flujo en líneas magnéticas. La ecuación (21) dice que el voltaje inducido va a depender exclusivamente de la razón de cambio del flujo magnético total que esté cortando un objeto o conductor. La frecuencia ( $f$ ) de la onda eléctrica es una indicación directa de este cambio. La figura 2 ilustra una onda de flujo. De ésta podemos observar que la onda eléctrica cambia dos veces en el tiempo de un ciclo y que la magnitud del flujo también cambia dos veces en el mismo ciclo, por lo tanto el valor medio de cambio total por ciclo es de cuatro veces. El valor medio de  $\phi/dt$  es por lo tanto igual  $4f\phi$ . Para conseguir el voltaje total hay que multiplicar por el número de conductores ( $N$ ) que el campo magnético esté cortando. Para calcular energía o potencia es necesario utilizar lo que llamamos el valor efectivo de la onda en producir energía. La relación entre valor efectivo a valor medio de la onda es 1.11. Así que podemos establecer que el valor efectivo del voltaje inducido es<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Si el campo de reacción ayudara sumándose al campo que la produjo, tendríamos una reacción en cadena que aumenta exponencialmente hasta resultar en una explosión. Esto sería una reacción inestable. Tal cosa no ocurre en la naturaleza de los campos magnéticos.

<sup>6</sup> Para rigurosidad matemática asuma un flujo igual a " $\phi \sin \omega t$ ", busque la derivada con respecto a  $t$  y calcule el valor efectivo.

$$\text{Voltaje inducido en } N \text{ conductores} = (1.11)(4)N\phi f = 4.44NABf \quad (23)$$

donde  $\phi$  está en webers<sup>7</sup> (Wb), B en Wb/cm<sup>2</sup> y A en cm<sup>2</sup>.

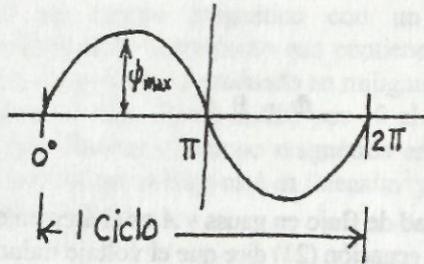


Figura 2. Onda senoidal  $\phi = \phi_m \sin \omega t$ ,  $\omega = 2\pi f$

La ecuación (23) Es muy significativa pues indica que el voltaje inducido varía directamente con la frecuencia y con el campo magnético B. Esta ecuación puede aplicarse directamente para calcular el voltaje efectivo inducido en el devanado secundario de un transformador donde A es la sección transversal del núcleo ("core") del transformador. Si se considera el caso de un objeto que se acerca al campo magnético se puede considerar N igual a uno; AB sería igual a la fracción del flujo  $\phi$  que entrelazaría al objeto. Este objeto podría ser una persona. Para esta condición,

$$\text{Voltaje inducido en objeto} = 4.44 \phi_{obj} f \quad (24)$$

En la ecuación (24) el flujo  $\phi_{obj}$  a utilizarse corresponde a la fracción del flujo total  $\phi$  de la fuente de emisión que entrelaza el objeto. El objeto por lo tanto deberá estar cercano del punto de emisión. El entrelazado o acoplamiento del objeto con una fracción del flujo  $\phi$  es difícil de determinar. No sabemos el

---

<sup>7</sup> 1 Weber = 10<sup>8</sup> líneas; 1 línea = 1 maxwell; 1gauss= 1maxwell/cm<sup>2</sup>  
y 1 Tesla= 1 Wb/m<sup>2</sup>

acoplamiento magnético que pueda ocurrir entre un objeto con el flujo primario. Este varía dependiendo del objeto. Pero de todas formas el acoplamiento es uno muy bajo, pudiendo ser del orden de milésima o millonésima parte. Esto requiere cuidadosa investigación. El flujo  $\Phi_{obj}$  hay que medirlo con un magnetómetro preciso que pueda distinguir orientaciones y ángulos entre el flujo y el objeto. Esto requiere determinar el componente de flujo perpendicular a la sección del objeto para usarse en la ecuación (24). Esta investigación de campo debe de confiarse a un ingeniero o científico de probada experiencia en el tema.

### Energía de potencia de 60 ciclos

La figura 3 presenta el campo electromagnético producido por una línea de transmisión de dos conductores con energía de potencia de 60 ciclos. Ella muestra el campo magnético entrelazando los conductores en forma de anillos paralelos a la superficie de los conductores. Por otro lado, el campo eléctrico está perpendicular a la superficie del conductor. De esta forma, observe que la dirección del flujo de la corriente en el conductor, la dirección del campo magnético y la del campo eléctrico están todos perpendicular ( $90^\circ$ ) uno al otro. Cuando las corrientes de cada conductor van en la misma dirección en el espacio entre los conductores los anillos del campo magnético alrededor de cada conductor se obstruyen uno al otro. En este caso los conductores se atraen uno al otro tratando de unirse para formar un solo conductor. Lo contrario ocurre cuando las corrientes de cada conductor van en direcciones opuestas

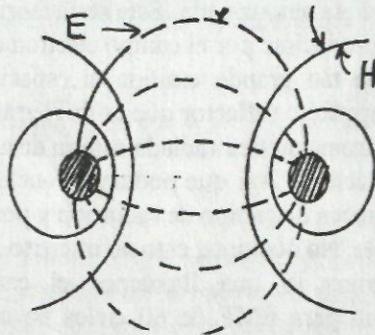


Figura 3. Campo eléctrico E y magnético H alrededor de línea eléctrica de dos conductores

El largo de onda de una frecuencia de potencia de 60 ciclos es de 5000 kilómetros como mencionáramos anteriormente, o 5,000,000 de metros. Comparado con el tamaño promedio de un hombre de 1.75 metros da una razón de 2,857,142.8 veces. ¿Cómo es posible manejar estos largos de ondas que no caben en todo Puerto Rico ni aun en todo Estados Unidos, cuya distancia de costa a costa es menos de 5000 kilómetros? Pues este largo de onda es el que le suple a usted la Autoridad de Energía Eléctrica con exacta precisión y cuando se equivoca por unos cuantos metros o centímetros usted protestará, pues sus relojes, sus televisores y monitores de computadoras se lo indicarán. Pero así es. Lo que ocurre es que la onda eléctrica entra y sale de su hogar guiada por los conductores fluyendo a 300,000 kilómetros por segundo y lo hace 60 veces en un segundo. Una pequeña parte de la energía de la onda queda fuera de los conductores y la cantidad que se pierde por radiación es tan pequeña que apenas puede medirse. Lo que sucede es que, normalmente, para emitir al espacio una energía de radiofrecuencia eficazmente se requiere una antena de largo de onda de una cuarta parte, la mitad o igual a la frecuencia de energía a emitirse. (En una forma simple y tosca una antena puede considerarse como un conductor por donde se circulan las cargas eléctricas emisoras o electrones o corriente eléctrica con la frecuencia de emisión). Si el largo de un tramo de línea eléctrica lo tomamos como 5 metros la fracción de antena que esto representaría sería  $5/5,000,000$  o  $10^{-6}$  equivalente de largo de antena con relación a largo de onda. De acuerdo a las ecuaciones (15) y (16) esta fracción al cuadrado da el porcentaje de la energía del campo electromagnético que se radiaría, lo que representaría una fracción de  $10^{-12}$  de la energía almacenada. Esta sería teóricamente la fracción de radiación que podría producirse por el campo electromagnético de la onda. Normalmente una onda tan grande emitida al espacio sería absorbida completamente por el imperfecto reflector que es la Tierra. Esta insignificante porción de energía electromagnética radiada estaría distribuida a lo largo de los 5 metros de línea eléctrica. Así que podemos concluir que las ondas de potencia de 60 ciclos carecen de campo de radiación y por lo tanto el efecto a distancia es despreciable. No obstante, esto no es cierto a corta distancia del conductor donde domina lo que llamamos el campo de inducción electromagnético. Como para EMF de 60 ciclos no existe radiación, los conceptos de "far field" y "near field" usados en radiofrecuencia no aplican a 0 ciclos. No obstante, según discutido en la presentación de la ecuación (3), observamos que la intensidad de campo es un gradiente, esto es, que varía

inversamente con la distancia. Cuando hay una sola fuente o un solo conductor en aire el campo magnético, al igual que el campo eléctrico, disminuye en intensidad inversamente con la distancia. Cuando el campo magnético lo producen conductores o líneas paralelas en aire en el cual existe cancelación parcial del efecto de un conductor con otro, el campo magnético decae más rápidamente y su variación es aproximadamente proporcional con el inverso del cuadrado de la distancia. Cuando el campo magnético está prácticamente atrapado en casi su totalidad como en el caso de un transformador o motor mencionado anteriormente, la intensidad del campo decae más rápidamente, aproximadamente con el inverso del cubo de la distancia. Cuando el campo magnético es aislado por diseño especial de ingeniería, el campo magnético decae extremadamente rápido con el inverso de un exponencial muy superior al cubo de la distancia.

Por otro lado, la potencia de inducción la da el cuadrado de la ecuación (24) dividida por la resistencia  $e^2/r$  o por  $i^2 r$  o por  $ei$ . La determinación del valor de resistencia  $r$  es otro problema serio en un cuerpo heterogéneo. La siguiente sección describe más en detalle estas complejidades.

### Corriente de inducción en el cuerpo humano

La interacción de radiaciones de radiofrecuencia o de potencia electromagnética con objetos u organismos se produce como ya hemos explicado a través de la inducción de voltajes. La inducción de estos voltajes produce unas corrientes o energía de calentamiento que expresamos:

$$\text{Energía} = E I t = I^2 R t = \frac{E^2}{R} t \quad (25)$$

Donde  $E$  es voltios,  $I$  amperios,  $R$  ohmios,  $t$  segundos y energía es vatio-segundos. Esta energía producirá un calor en el cuerpo que la persona podrá sentir muy claramente y constituye un aviso claro y fuerte de que se está exponiendo a límites imprudentes de dosificación.

También, las corrientes inducidas conllevan la generación de un campo electromagnético de reacción que se opone al campo primario de inducción. En adición a este efecto energético o de calor tenemos el efecto de las magnitudes de los voltajes inducidos al compararlas con las magnitudes de los voltajes que disparan las células nerviosas del cuerpo biológico. Si los voltajes inducidos son insignificantes comparados con los voltajes de disparo de las células nerviosas éstos no interferirán con los sistemas biológicos. Los neurones<sup>8</sup> producen breves impulsos del orden de 1/1000 de segundo con magnitudes de 0.1 voltios. Estos impulsos pueden escucharse con un amplificador electrónico corriente según se escuchan los latidos del corazón.

La determinación y estudios sobre estas corrientes y voltajes inducidos en el cuerpo humano han sido tema de extensas investigaciones por ingenieros, físicos, médicos y biólogos durante los últimos 20 años.

En un artículo<sup>9</sup> publicado en 1986 varios investigadores realizaron estudios aplicando directamente esta sencilla relación descrita anteriormente y donde utilizaron el área seccional de tejidos para calcular resistencias. Otro intento para calcular corrientes inducidas en el cuerpo humano y publicado simultáneamente con el artículo anteriormente citado<sup>10</sup> hace una presunción de campo electromagnético cuasi estático, lo que encontramos apropiado para 60 ciclos. Esto, por lo tanto, pasa por alto el campo magnético y sólo considera el campo eléctrico. Aplica el método de potenciales e imágenes para calcular los campos eléctricos. A pesar de que los resultados son más lógicos que en

---

<sup>8</sup> Webbed Reprint Collection. William H Calvin. University of Washington; Box 351800, Seattle WA 98195-1800.

<sup>9</sup> Gandhi, O., Chen, J. and Riazzi, A., 1986, "Currents Induced in a Human Being for Plane-Wave Exposure Conditions 0-50 MHz and for RF Sealers." IEEE Transactions On Biomedical Engineering, Vol. BME-33, No. 8, August.

<sup>10</sup> Chen, K., Chuang, H. and Lin, C., 1986, "Quantification of Interaction Between ELF-LF Electric Fields and Human Bodies." IEEE Transac. On Biomed. Engineering, Vol BME-33 No 8 August

el artículo anterior éste continúa presumiendo que el cuerpo humano es homogéneo. Luego, en el 1994 Weiguo Xi y sus colaboradores publican un segundo artículo<sup>11</sup> en el cual corrigen tomando en consideración la heterogeneidad o las grandes diferencias de conductividad o resistencia eléctrica de diferentes organismos del cuerpo humano. Este es un intento laudable. Calculan niveles del orden de 100 o más microamperios ante un elevadísimo flujo de 1 Tesla.

Para ilustrar la importancia de este punto de heterogeneidad hágase un simple experimento: tómesese una rebanada de bizcocho de brazo gitano con jalea de guayaba y póngalo a calentar en un horno microondas por 10 a 15 segundos. Al examinarlo se encontrará que la porción de harina de trigo estará bastante fría y la porción de jalea de guayaba estará hirviendo. La razón es que la sección de harina tiene una pobre conductividad o alta resistencia eléctrica mientras que la jalea de guayaba tiene una buena conductividad o baja resistencia eléctrica y permite fluir fácilmente las corrientes. La jalea es semilíquida con un alto contenido de humedad y la guayaba tiene un alto contenido de minerales conductivos como calcio, fósforo, hierro, sodio y potasio además de la sal y el azúcar añadidas que actúan como un verdadero electrólito. Gran parte de la energía de radiación se disipa como calor en la jalea. De igual forma responden los diferentes organismos biológicos. Se calientan más aquellos de alta conductividad. Para determinar en un organismo complejo la inducción de corrientes hay que analizarlo sección por sección. Es esto lo que hacen Weiguo Xi y sus colaboradores en este segundo artículo de 1994.

### Dosificaciones

Toda irradiación a un cuerpo biológico en exceso de ciertos límites o dosis puede producir efectos indeseables. Si una persona toma baños de sol por 10 minutos diariamente ésta irradiación le provee una dosis adecuada de nutrientes, pero exponerse a la radiación solar directa por todo el día todos los

---

<sup>11</sup> Xi, W., Stuchly, M. and Gandhi, O., 1994, "Induced Electric Currents in Models of Man and Rodents from 60 Hz Magnetic Fields." IEEE Transactions on Biomedical Engineering Vol 41, No 11 November

días resultaría muy perjudicial a su salud. Todo exceso en la vida resulta perjudicial a la larga. Así que lo que tenemos que observar es que no excedamos las dosis radiológicas aceptadas y recomendadas por organismos competentes.

No obstante, encontraremos siempre ambientalistas que se opongan a cualquier nivel de dosificación, argumentando que toda radiación producida por el hombre, no importa lo baja que sea, es perjudicial. Contra la recomendación de un genuino deseo de que volvamos a la Edad de Piedra no tenemos argumentos. (No obstante, a veces en los taponés me pregunto si tienen razón.)

La exposición a radiofrecuencias se caracteriza en términos de lo que se conoce como "Specific Absorption Rate" (SAR) que constituye un cálculo estándar para determinar cuánta energía se depositó en el cuerpo. Ésta se expresa en vatios por kilogramo (W/kg) de tejido y el valor normalmente se promedia entre 1 a 10 gramos de tejido alrededor de todo el cuerpo.

Comúnmente la industria se mantiene dentro del estándar fijado por AIEE/ANSI para límites de radiación. Este estándar se basa en un consenso de varias organizaciones y grupos científicos, es comúnmente aceptado por la industria y es el que marca las pautas. Una vez se analizan los datos médicos se estimaron los valores permisibles de exposición sin aparentes consecuencias biológicas. A este valor se le aplicó un factor de seguridad de 10, dividiéndolo por 10. Dicho valor se tomó como el límite de exposición ocupacional. Luego, a este valor para exposición ocupacional se le aplicó un factor de 5 para exposición al público en general. Esto representa un factor de seguridad 50 para el público en general. La Tabla 2 ofrece los límites establecidos por diferentes organizaciones profesionales concernidas sobre el valor de SAR.<sup>12</sup>

A base de estas exposiciones límites podemos calcular determinados límites de campos electromagnéticos E y H y luego usando modelos de inducción de corrientes calcular las energías absorbidas y los correspondientes

---

<sup>12</sup> EMF Health Report. Vol 4 No. 3, May/June 1996. Information Ventures, 1500 Locust St, Suite 1513, Philadelphia, PA 19102-4314.

coeficientes de absorción. Hay varios modelos de computadoras en centros de investigación incluyendo el EPRI ("Electric Power Research Institute").

Tabla 2. Estándares sobre valores de SAR

ANSI/IEEE	US	1.6 W/kg promedio sobre 1g de tejido 0.08 W/kg promedio para todo el cuerpo
NRPB	UK	<10 W/kg promedio sobre 10 g de tejido
CENELEC	Euro	2W/kg promedio sobre 10 g de tejido en 10 minutos 0.08 W/kg promedio sobre todo el cuerpo en 6 minutos

Para no excederse de los límites de SAR preestablecidos la NCRP ha propuesto los correspondientes límites para E, H y P (sólo indicamos las frecuencias de interés: telefonía celular y potencia) que muestra la Tabla 3. Para la frecuencia celular de 850 MHz aproximadamente tendríamos un límite de  $850/300$  igual a  $2.83 \text{ mW/cm}^2$  o  $2830 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$  ocupacionalmente. Aplicando un factor adicional de 5 para el público en general tendríamos un límite de exposición de  $566 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ . El producto de EH no debe de exceder el valor anterior.

Tabla 3. Límites de campos<sup>13</sup>

Frecuencia	E(V/m)	H (A/m)	P densidad (mW/cm <sup>2</sup> )
3GHz-300MHz			f / 300
300MHz-100MHz	61.4	0.163	1
0-100 Hz (power)	25 kV/m	60/f*	

\* Valor en mT.

<sup>13</sup> A Practical Guide to The Determination of Human Exposure to Radiofrequency Fields, NCRP Report No 119 (1993). National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda.

Para sistemas de telefonía PCS, cuya frecuencia de operación es aproximadamente un poco más del doble que la celular, los coeficientes de absorción para el ser humano son supuestamente menores y permiten un nivel más elevado de densidad de energía en el ambiente (largo de onda más pequeño con relación al tamaño del cuerpo humano). Para 60 ciclos el valor límite es 60 dividido por la frecuencia de 60 ciclos, lo que equivale a  $10^{-3}$  Tesla, equivalente a 10 G. En aire el campo magnético en amperios por metro multiplicado por 10 resulta en miligauss [ecuación (20)].

### Telefonía celular

Varios investigadores han medido la radiación electromagnética al pie de torres de telefonía celular. Una de estas investigaciones la documentó James B. Hartfield, Ingeniero Profesional Consultor<sup>14</sup>. En este informe se reportan mediciones y cálculos para dos torres emisoras con ERP de 1350 vatios de potencia efectiva y de 1800 vatios respectivamente. Los valores más altos medidos aproximadamente a 100 pies de las torres no exceden de  $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$  y los valores calculados coinciden con los medidos. Las potencias calculadas a distancias menores de 100 pies, incluyendo las bases de las torres, son sólo de una centésima a una décima parte de las indicadas anteriormente. El límite establecido para la frecuencia de telefonía celular por ANSI/IEEE para protección del público en general es de  $580\mu\text{W}/\text{cm}^2$  promediado en 30 minutos y para trabajadores (límite ocupacional) es de  $2900\mu\text{W}/\text{cm}^2$  promediado en 6 minutos. De acuerdo a esta investigación encontramos que **la radiación producida por torres celulares está en un factor del orden de cientos y de miles de veces por debajo de las normas, pero las normas ya contienen un factor de seguridad de 50 para el público en general.**

Estos bajos niveles de radiación electromagnética han llevado a la FCC a eliminar el requisito de vistas públicas basados en consideraciones ambientales. De acuerdo a información publicada el 23 de junio de 1995 por

---

<sup>14</sup> EMF Health Report. Cellular Towers, Exposure Levels and Public Health, James B Hartfield, Information Ventures, Inc., 1500 Locust St, Suite 1513, Philadelphia, PA 19102-4314

Ms. Regina M. Keeny, "Chief of the Wireless Telecommunications Bureau"<sup>15</sup> la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) eliminó la necesidad de vistas públicas para el otorgamiento de licencias y sacó a subasta entre el 5 de diciembre de 1994 y el 13 de marzo de 1995 la otorgación de licencias en bloque según autorizado por el Congreso Federal en 1993. La nueva Ley de Comunicaciones establece claramente que ningún estado, gobierno local o agencia puede regular el establecimiento de torres celulares a base de los efectos ambientales de radiofrecuencias. Esto queda establecido en la sección 704 párrafo 7-B-iv del Acta de Telecomunicaciones del 1996<sup>16</sup>.

### Potencia de 60 Ciclos

La Tabla 3 indica los valores límites de  $E$  y  $H$  recomendados por NCRP. No son valores adoptados por el gobierno federal ni por comités establecedores de normas, pero utilizaremos éstos valores como guías en ausencia de normas específicas. La Tabla 3 también señala que:

$$E = 25 \text{ kV/m}, \quad H = 10 \text{ G} = 1 \text{ A/m} \quad (26)$$

Por lo tanto,  $P=EH=25 \text{ W/m}^2=2.5 \text{ mW/cm}^2$ . Este valor de potencia calculado se infiere de las recomendaciones límites de  $E$  y  $H$ . No está indicado en las recomendaciones, pues lo importante no es la densidad de potencia sino los componentes individuales que conducen a ésta determinación. Esto es así ya que las características, propagación y absorción de energías de potencia (60 ciclos) y radiofrecuencia son diferentes como ya hemos establecido.

---

<sup>15</sup> [http://www.fcc.gov/Bureaus/Wireless/News\\_Releases/nrw15027.txt](http://www.fcc.gov/Bureaus/Wireless/News_Releases/nrw15027.txt)

<sup>16</sup> "No State or local government or instrumentality thereof may regulate the placement, construction, and modification of personal wireless service facilities on the basis of the environmental effects of radio frequency emissions to the extent that such facilities comply with the Commission Regulations concerning such emissions."

Para tener una idea de los niveles de campos magnéticos encontrados en la práctica podemos indicar que en un estudio reportado por EPRI sobre 1000 residencias el campo magnético en el centro de un cuarto promedio está ligeramente bajo 2 miligauss. Un informe publicado en 1994 por Dr. Stephanie London y otros provee información sobre niveles de exposición de trabajadores en la industria eléctrica y otras no expuestas a campos eléctricos y magnéticos.

Tabla 4 Exposición a EMF de Trabajadores en Los Angeles CA.

Ocupación	Campo eléctrico (E)	Campo magnético (H)
Eléctrica	19.0 V/m	9.6 mG
No eléctrica	5.5 V/m	1.7 mG

La Tabla 5 muestra estudios realizados por la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE) contiguos las servidumbres de líneas eléctricas.<sup>17</sup>

Tabla 5. Campos electromagnéticos en límites servidumbres de paso líneas

Servidumbre de paso línea	Campo eléctrico (E)	Campo magnético (H)
Líneas 115 kV (100 pies servidumbre)	0.77 - 0.04	35 - 8.3
Líneas 230 kV (200 pies servidumbre)	0.33 - 0.16	6 - 18

En otro estudio realizado en el Barrio Martín González de Carolina en mayo de 1994 e informado en un memorando interno de la AEE con fecha de 9 de mayo de 1994 del Ing. Francisco E. López al Ing. David Cardona Reyes se menciona un campo magnético medido de 20 mG en la residencia más cercana a la línea número 51,000 (230kV).

<sup>17</sup> Campos electromagnéticos / Líneas de Transmisión AEE, División de Planificación, Departamento de Transmisión

Otro estudio más abarcador fue llevado a cabo por estudiantes del Worcester Polytechnic Institute en colaboración con la AEE e informado en marzo de 1993. En dicho estudio se ilustran niveles entre 0.4 a 6.5 mG medidos alrededor de un área de juegos ("playground") en la Urbanización Monte Claro de Bayamón cercanos a las líneas eléctricas de la AEE. Todos los valores citados están muy por debajo de los niveles recomendados por NCRP en la Tabla 3, los cuales corresponden a un militesla, que es equivalente a 10 gauss o 10,000 mG y 25 kV/m.

**No obstante, recalcamos que en realidad no hay al presente dosificación para exposición a energía de 60 ciclos a pesar de que varios estados de los Estados Unidos han respondido al clamor de grupos para aprobar legislación restringiendo la exposición a campos electromagnéticos. Cabe mencionar que los niveles de intensidades electromagnéticas citados están muy por debajo de los adoptados por esos varios estados.**

Los estudios realizados hasta la fecha muestran pruebas inequívocas de que a los niveles de exposición de dichos estudios no se ha podido establecer correlaciones. En un estudio en California y conocido como el Estudio California dirigido por Dr. Jack Sahl de Southern California Edison Company (SCE) en el cual se tomó una muestra de 36,000 trabajadores de la industria eléctrica se indicó que no existía evidencia de asociación entre campos magnéticos y cualquier tipo de cáncer. Debido a que había muy pocos casos de leucemia y linfomas el estudio no pudo detectar ni siquiera riesgos pequeños.

El estudio más abarcador sobre la relación de EMF y leucemia en niños realizado por el prestigioso US National Cancer Institute se publicó recientemente en julio de 1997<sup>18</sup>. Este estudio no reveló relación alguna entre los campos magnéticos medidos y leucemia en niños. Para un promedio de sobre 2 mG en el dormitorio de los niños el estudio no encontró tendencia estadística alguna.

---

<sup>18</sup> MS Linet et al., 1997, "Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children", *New Eng J Med* 337:1-7, (Reportado por el Nuevo Día 3 de julio de 1997, pág. 29)

No obstante los investigadores continúan laborando extensamente tratando de determinar si hay mecanismos biofísicos por los cuales los campos EMF pueden causar efectos biológicos informados en algunos experimentos que no dan los mismos resultados al repetirse. EPRI tiene un abarcador programa de investigación.

La entidad para el desarrollo de normas que agrupa a las naciones europeas se conoce como CENELEC. CENELEC está muy activo en los estudios de EMF y en el desarrollo de Normas para EMF. Seguiremos de cerca los desarrollos en Estados Unidos y Europa sobre este tema de interés a la industria eléctrica y de comunicaciones y, si Dios permite, informaremos oportunamente.

### Conclusiones

El universo es un mar de radiaciones electromagnéticas. El hombre vive inmerso en ese mar. La magnitud o dosis de estas radiaciones recibidas por el hombre determinan los efectos biológicos en su cuerpo físico. Las radiaciones electromagnéticas con frecuencias o energías mayores que la luz visible producen o inducen ionizaciones, las cuales, en exceso de ciertas dosis, destruyen células y tejidos biológicos. Las radiaciones electromagnéticas con frecuencias menores a la luz visible, en exceso de ciertas dosis, pueden producir calentamientos en los órganos internos. Las frecuencias de comunicaciones inalámbricas y de potencia están muy por debajo de las frecuencias de la luz visible.

Instituciones profesionales y científicas han establecido límites de exposición o dosis para limitar o prevenir efectos biológicos indeseables en los seres humanos. En telefonía celular y PCS, los valores de exposición cerca de las torres de antenas son comúnmente del orden de miles a cientos de miles de veces más bajos que los permitidos por las normas de exposición máxima establecidas, por lo cual no representan impacto significativo al ambiente. Como resultado de esto, la legislación federal vigente les prohíbe a los estados federados, gobiernos locales y sus instrumentalidades regular el establecimiento de sistemas de comunicaciones celulares o PCS basados en consideraciones ambientales. Esta ha sido también la razón fundamental en la determinación de la FCC de eliminar el proceso dilatorio de vistas públicas en

el otorgamiento de licencias.

En el caso de líneas eléctricas de potencia no existe radiación de energías electromagnéticas al espacio como en el caso de las comunicaciones inalámbricas. Los campos electromagnéticos están atados a las líneas o equipos eléctricos en operación o funcionamiento. Los campos electromagnéticos medidos en los límites de servidumbres de las líneas eléctricas están en el orden de miles de veces más bajos que los valores sugeridos o propuestos por instituciones competentes, por lo cual no representan impacto significativo al ambiente. Estudios epidemiológicos publicados recientemente y realizados por el US Cancer Institute confirman estas aseveraciones.

No obstante, aún continúan realizándose extensas investigaciones en este campo de la salud radiológica, los cuales podrán servir para dar mayor profundidad, seguridad y bienestar al público en general.