

XIV SEMINARIO DE INGENIERIA BIOMEDICA

1er. semestre 2005

Núcleo de Ingeniería Biomédica (Facultad de Ingeniería y Facultad Medicina, Universidad de la República)
Montevideo, URUGUAY.

Efectos no térmicos de los campos electromagnéticos en la materia viva

José Oliveras (jose.oliveras@gmail.com)

Monografía vinculada a la conferencia de los ingenieros Gerardo Otero y José Acuña sobre “Efectos de los campos electromagnéticos en la materia viva” del 3 de mayo de 2005.

Resumen—En este trabajo se discutirán las diferentes formas de interacción entre las ondas electromagnéticas no ionizantes y la materia viva. Más precisamente se analizarán los efectos nocivos que estas puedan generar sobre la materia a causa de esta interacción. Dentro de estos efectos se centrará en los efectos no térmicos, los cuales son muy poco conocidos al día de hoy. Previo a esto se definirán conceptos básicos sobre los campos electromagnéticos, las magnitudes que los describen y las magnitudes dosimétricas. Estas últimas, dentro de este contexto, son utilizadas para saber si las personas que se exponen a estos campos lo hacen de manera segura o si los niveles de exposición exceden determinadas recomendaciones.

Palabras claves— Campos Electromagnéticos, frecuencia, radiofrecuencia, exposición, efectos, SAR (Specific Absorption Rate).

I. INTRODUCCION

Debido al vertiginoso avance de la tecnología en las últimas décadas, el área de las telecomunicaciones ha experimentado un desarrollo acelerado en sus aplicaciones. Gran parte de estas aplicaciones están tendiendo cada vez más a ser inalámbricas, como por ejemplo los sistemas celulares, las redes de datos, etc. Esto ha generado preocupación en la población, debido a la exposición cada vez mayor a los campos electromagnéticos (CEM) no ionizantes (NI) que son utilizados en estas tecnologías. En consecuencia se han generado tanto a nivel nacional como internacional, diferentes grupos especiales encargados de recopilar y analizar la información sobre este tema, de modo de poder conocer en mayor profundidad los efectos que los CEM tienen sobre la materia viva y los posibles riesgos que estas puedan generar.

Hace ya más de 100 años que el hombre viene desarrollando distintas tecnologías que directa o indirectamente emiten diferentes tipos de CEM, siendo una de las más viejas y de las que ha variado menos a lo largo del tiempo, al menos en su funcionamiento básico, la transmisión y distribución de energía eléctrica. Pero no fue sino hasta hace algunas décadas atrás que un desarrollo vertiginoso en la tecnología, más precisamente en el área de la electrónica permitió que las comunicaciones también se desarrollaran en similares proporciones.

Gran parte del desarrollo en materia de telecomunicaciones se está enfocando en la tecnología inalámbrica, siendo la aplicación más destacable la del sistema celular, donde la industria pronosticaba para este año alrededor 1600 millones de celulares a nivel mundial.

Debido a esto es necesario tener un conocimiento de los efectos que puedan causar los CEM en el rango donde estos son NI, de manera de poder desarrollar recomendaciones o normas que protejan a la población contra los efectos nocivos que puedan generar estos tipos de radiación. El rango de estudio se estableció desde las frecuencias extremadamente bajas FEB (Extremely Low Frequency, ELF) hasta los 300 GHz, siendo este un límite razonable teniendo en cuenta el estado actual de la tecnología en esta rama.

En 1974, la IRPA (International Radiation Protection Association) formó un grupo de trabajo encargado de tratar el tema de la radiación no ionizante (RNI). A partir de ahí se formaron diferentes organizaciones que se encargaron de desarrollar documentación que incluyera de manera integrada, las características físicas, medidas e instrumentación, fuentes y aplicaciones sobre los CEM. Dentro de estas organizaciones podemos nombrar como las principales a la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Comunidad Económica Europea (CEE) por medio del SSC (Scientific Steering Committee) y diferentes países como Canadá e Inglaterra los que conformaron grupos de expertos independientes, la Royal Society of Canada (RSC, 1999) y el Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP, The Stewart Report, 2000) respectivamente.

En la actualidad la organización más representativa en el tema de la radiación de CEM NI es la ICNIRP (International Commission for No-Ionizing Radiation Protection) establecida como la sucesora de la IRPA/INIRC. Esta comisión realizó una guía en 1998 llamada “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)” siendo esta la principal referencia a nivel mundial para poder determinar si los elementos radiantes cumplen con los valores establecidos para su aplicación en particular.

Este trabajo pretende describir las diferentes cantidades utilizadas para la medición de los CEM y los métodos de

medición de las mismos, discriminándolos por rangos de frecuencias; describir la información disponible sobre los efectos no térmicos en la materia viva de los CEM; y especificar los límites recomendados establecidos por la ICNIRP para la radiación de CEM NI, tanto para la población en general como para la que trabaja en sitios relacionados con la radiación de CEM.

II. CONCEPTOS BÁSICOS

A. Principios Físicos

Debido a que este trabajo pretende determinar los efectos no térmicos que pueden generar los CEM en la materia viva es imprescindible comenzar por definir los conceptos básicos que serán utilizados a lo largo del mismo o que serán esenciales para comprender otros conceptos.

Las ondas electromagnéticas (OEM) son la manera de describir la relación que existe entre el campo eléctrico \mathbf{E} ($V m^{-1}$) y el campo magnético \mathbf{B} (T) o la intensidad magnética \mathbf{H} ($A m^{-1}$) a medida que estos se propagan en un medio determinado. Al ser estos campos vectoriales se debe especificar por un lado, su modulo, dirección y sentido y por otro, debemos especificar la variación temporal que estos tienen debido a que a partir de esto se puede determinar la dirección de propagación y su velocidad, estableciendo así la relación $v = \lambda \cdot f$, donde v ($m s^{-1}$) es la velocidad de propagación de la onda, λ (m) es la longitud de onda y f (s^{-1} o Hz) es la oscilación temporal que tiene la misma. En nuestro caso particular tendremos como el principal medio de propagación el aire con una permeabilidad magnética $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H \cdot m^{-1}$ y una permitividad eléctrica $\epsilon_0 = 1.000590 F \cdot m^{-1}$.

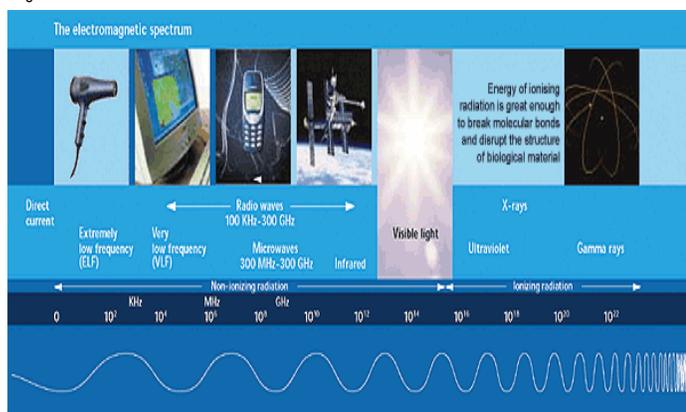


Fig. 1. El espectro electromagnético.

A efectos prácticos podemos asumir que en campo lejano, la relación entre los campos \mathbf{E} y \mathbf{H} es la de una **onda plana** como se puede ver en la figura 1, con las siguientes propiedades:

- Los frentes de onda tiene una geometría plana
- Los campos \mathbf{E} , \mathbf{H} y la dirección de propagación son perpendiculares uno a uno
- La fase de los campos \mathbf{E} y \mathbf{H} es la misma, y el

cociente E/H es constante en todo el espacio. Esta constante es relevante y se define como la impedancia característica del espacio libre $Z_0 = \frac{E}{H} = 377 \Omega$

- La densidad de potencia S , es decir, la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación se relaciona con los campos \mathbf{E} y \mathbf{H} de la siguiente manera:

$$S = \mathbf{E} \cdot \mathbf{H} = \frac{E^2}{377} = 377 \cdot H^2$$

En el caso de campo cercano la situación es un poco más compleja debido a que la relación entre los campos que conforman la OEM es bastante más compleja que una **onda plana**, pero en la gran mayoría de los casos el modelo propuesto es una buena aproximación dado que el campo cercano más allá que depende de las características de una onda en particular, siempre será una distancia muy pequeña respecto del elemento radiante.

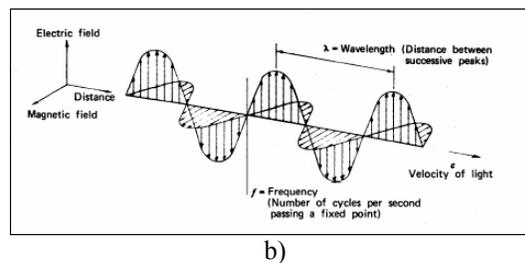
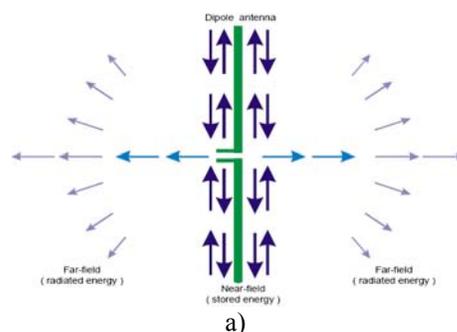


Fig. 2. a) Diagrama de campo cercano y campo lejano; b) Relación entre los campos \mathbf{E} y \mathbf{H} en una onda plana con polarización lineal.

B. Interacción con la materia viva

Existen tres formas básicas establecidas en que los CEM interactúan directamente con la materia viva:

- 1) Acoplamiento a campos eléctricos de baja frecuencia, que resulta en el flujo de cargas eléctricas (corriente eléctrica), en la polarización de cargas ligadas (formación de dipolos) y en la reorientación de dipolos ya existentes en la materia. Estos efectos dependen de las características eléctricas del cuerpo, es decir, de la conductividad eléctrica (σ) en $S \cdot m^{-1}$ y de la permitividad eléctrica (ϵ) en $F \cdot m^{-1}$ relacionada con la polarización eléctrica.
- 2) Acoplamiento a campos magnéticos de baja

frecuencia que resulta en la inducción de campos eléctricos y circulación de corrientes eléctricas

- 3) Absorción de energía de campos electromagnéticos que a frecuencias mayores a los 100 KHz pueden significar un alto nivel de absorción de energía e incrementos de temperatura.

También existen dos mecanismos por los cuales hay interacción indirecta con la materia:

- 1) Corrientes de contacto que resultan del contacto con otro objeto que se encuentra a un potencial eléctrico diferente.
- 2) Acoplamientos de CEM con dispositivos médicos implantados o transportados por un a persona.

III. CANTIDADES, UNIDADES Y MÉTODOS DE MEDICIÓN

Como ya se mencionó, la exposición a CEM variables en el tiempo resulta en corrientes eléctricas en el interior del cuerpo de la persona y en la absorción de energía en tejidos dependiendo del método de acoplamiento y la frecuencia del CEM. El campo **E** y la densidad de corriente **J** ($A \cdot m^{-2}$) están relacionados por medio de la ley de Ohm:

$$\mathbf{J} = \sigma \cdot \mathbf{E}$$

Las cantidades dosimétricas utilizadas por la INCIRP [1] teniendo en cuenta los diferentes rangos de frecuencia son las siguientes:

- Densidad de corriente, **J**, en el rango de frecuencias hasta los 10 MHz.
- Corriente, **I(A)**, hasta el entorno de los 110 MHz
- **SAR** (Specific Absorption Rate), para el rango de frecuencias que va de los 100 KHz hasta los 10 GHz.
- **SA** (Specific Energy Absorption), para CEM pulsados en el rango de frecuencia que va de los 300 MHz hasta los 10 GHz.
- Densidad de potencia, **S** en el rango que va de los 10 GHz hasta los 300GHz.

Se pueden observar las cantidades dosimétricas con sus respectivas unidades en la Tabla 1.

Magnitud	Símbolo	Unidad
Resistividad eléctrica	ρ	Ohms metro ($\Omega \cdot m$)
Conductividad	σ	siemens por metro ($S \cdot m^{-1}$)
Corriente	I	ampere (A)
Densidad de corriente	J	ampere por metro cuadrado ($A \cdot m^{-2}$)
Frecuencia	<i>f</i>	hertz (Hz)
Intensidad de campo eléctrico	E	volt por metro ($V \cdot m^{-1}$)
Intensidad de campo magnético	H	ampere por metro ($A \cdot m^{-1}$)
Densidad de campo magnético	B	tesla (T)
Permeabilidad magnética	μ	henry por metro ($H \cdot m^{-1}$)
Permitividad	ϵ	faradio por metro ($F \cdot m^{-1}$)
Densidad de potencia	S	watt por metro cuadrado ($W \cdot m^{-2}$)
Absorción de energía específica	SA	joule por kilogramo ($J \cdot Kg^{-1}$)
Índice de absorción de energía específica	SAR	watt por kilogramo ($W \cdot Kg^{-1}$)

Tabla 1. Cantidades eléctricas, magnéticas, electromagnéticas y dosimétricas y su correspondiente unidad en Sistema Internacional

La cantidad dosimétrica en que se basan la mayor parte de los trabajos en la materia es el **SAR** ($W \cdot Kg^{-1}$) ya que el rango de frecuencias en el que esta cantidad es una medida significativa es bastante amplio, por lo que contempla la mayor parte de las aplicaciones que utilizan radiación electromagnética en la actualidad. El SAR se define como la tasa en que la energía de la radiación de los CEM es absorbida en los tejidos.

En los tejidos el SAR es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico. Debido a esto es necesario conocer la intensidad de **E** en los tejidos del cuerpo humano, por lo que se hace extremadamente complejo realizar mediciones de campo. Por esta razón las alternativas encontradas son la medición del **SAR** en fantasmas humanos en laboratorios o realizar cálculos computacionales mediante herramientas de software específicamente desarrolladas.

Los valores del **SAR** pueden depender de diferentes factores como ser:

- Los parámetros del campo incidente, es decir, su frecuencia, su polarización, y la configuración fuente-objeto (campo lejano o campo cercano)
- Las características del cuerpo expuesto, como por ejemplo su tamaño, su geometría interna y externa o las propiedades dieléctricas de varios de sus tejidos
- Efectos de tierra, de reflexión o refracción y de otros objetos que puedan interactuar entre la configuración fuente-objeto

La formula analítica para definir el SAR es la siguiente:

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

Las especificaciones para la medición del SAR que están estandarizadas son las que pertenecen a la CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization, standard EN 50360) y a la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers, Standard IEEE P1528)

El método consiste en medir por medio de una punta de prueba el campo **E** en el interior de la cabeza de un fantoma llamada maniquí específico antropomorfo (**SAM**, Specific Anthropomorphic mannequin), el cual representa la cabeza de un hombre adulto basada en una muestra del personal del servicio militar de los EE.UU.



Fig. 3. Representación de la cabeza de un hombre adulto mediante el SAM

El SAM es llenado con un líquido que se correlaciona con las propiedades dieléctricas de los tejidos de la cabeza humana. Las propiedades dieléctricas fueron calculadas teniendo en cuenta las propiedades del tejido cerebral y de los efectos de adaptación de los tejidos más superficiales de la cabeza como ser el cráneo y la piel, para proveer una sobreestimación conservativa de los valores.

Para medir el campo eléctrico dentro del SAM se utiliza un brazo robótico con una punta de prueba especial en el extremo para la medida. La medida se realiza estableciendo un punto de referencia en el fantoma para luego realizar un “escaneo” en áreas específicas dentro y fuera del mismo mientras un teléfono celular esta funcionando a su máximo nivel de potencia.

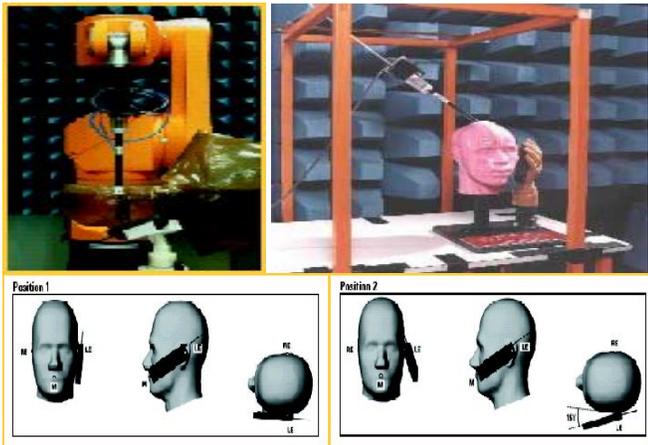


Fig. 4. Brazos robóticos para la medición del campo eléctrico y las posiciones del teléfono celular especificadas por el estándar [2].

A partir de las medidas realizadas se genera un mapa en tres dimensiones, indicando el máximo valor medido de **SAR** durante el test. De esta manera se puede especificar, por ejemplo, el nivel de SAR que posee un determinado celular con el fin de que cumpla con las especificaciones establecidas en las recomendaciones o determinar el SAR en un individuo frente a un tipo de radiación electromagnética específica.

IV. EFECTOS EN LA MATERIA VIVA

A la hora de determinar los efectos de los CEM en la materia viva y particularmente en humanos podemos distinguir dos efectos diferentes [3]:

- *Efectos adversos a la salud* estos efectos generan deficiencias crónicas detectables en la persona expuesta o sus descendientes
- *Efectos biológicos* estos efectos son respuestas medibles en la persona expuesta a determinados estímulos que pueden o no resultar en efectos adversos a la salud.

Estos efectos pueden ser generados tanto por la interacción directa o indirecta, las cuales fueron mencionadas anteriormente.

A su vez estos efectos pueden ser clasificados en una nueva clase [4]:

- *Efectos térmicos* usualmente ocurren cuando suficiente energía es absorbida como para poder causar un incremento medible en la muestra en cuestión (medida mayor a $0.1^{\circ}C$).
- *Efectos atérmicos* ocurren cuando suficiente energía es absorbida por la muestra pero no es posible detectar un incremento ya sea por la regulación interna de la misma o por un control externo.
- *Efectos no térmicos* son aquellos que ocurren cuando la energía depositada en la muestra es menor que la asociada a fluctuaciones de temperatura del sistema biológico en estudio.

Hay suficiente evidencia al día de hoy sobre los efectos térmicos causados en la materia viva pudiendo determinar claramente niveles de protección para la radiación de CEM.

V. EFECTOS NO TÉRMICOS

Debido a que el estudio de los efectos no térmicos sobre la materia viva es un área de investigación relativamente nueva, no existe evidencia contundente sobre el tema. Los criterios que el panel de expertos de la RSC propone para su investigación son los siguientes:

- ¿Hay evidencia de que los efectos no térmicos, si es que hay alguno, puedan ser mayores para los niños u otros subgrupos de la población?
- ¿Debería ser el fenómeno de los efectos no térmicos realmente considerados en las recomendaciones de seguridad?
- ¿Que investigaciones son necesarias para entender mejor el riesgo potencial de los efectos no térmicos?

Se encuentra una coincidencia en todos los trabajos realizados en la materia en que más allá de la falta de evidencia comentada anteriormente, la manera de evaluar la misma es por medio de “papers” arbitrados y publicados, excluyendo toda evidencia anecdótica o trabajos no publicados, habiendo de estos últimos una gran cantidad.

Por otro lado la ICNIRP propone dividir el espectro radioeléctrico en dos zonas bien diferenciadas, siendo la primera desde FEB hasta CEM del orden de los 100 KHZ y la otra zona desde los 100 KHZ hasta los 300 GHz, discriminando dentro de cada zona entre efectos directos y efectos indirectos. Para el estudio de los efectos directos la información se organiza de la siguiente manera:

- 1) Estudios epidemiológicos
 - Efectos en la reproducción
 - Estudios sobre cáncer en lugares residenciales
 - Estudios ocupacionales
- 2) Estudios en laboratorio
 - Estudios con voluntarios

- Estudios con células y con animales

VI. EVIDENCIA SOBRE LOS EFECTOS NO TÉRMICOS

Una de las líneas de investigación clave identificada por un programa de la OMS (Rapacholi, 1997), es la de “determinar los umbrales de campos de radio frecuencia (RF) que alteren el ciclo dinámico de las células y la proliferación de las células normales y las transformadas”. La influencia de la exposición a campos de RF en la proliferación *in Vitro* ha sido estudiada por un número de investigadores con variados resultados.

Cleary y *col.* han conducido numerosos estudios de proliferación de células y ciclos dinámicos de las mismas con exposición a campos continuos de RF tanto a 2450 MHz como a 27 MHz. Ellos reportaron un incremento de la proliferación en la línea de las células gliomatosas (LN71) en los días 1, 3, 5, después de una exposición de 2 horas. Esta exposición fue diseñada mediante un riguroso sistema de control de temperatura (las mediciones en cambios en temperaturas eran menores al 0,1 ° C), incluso en presencia de campos de RF potentes. Este grupo de investigación también reportó alteraciones en el ciclo dinámico en células del ovario en hamsters chinos (Cleary y *col.*)

Alguna información adicional está disponible sobre estos efectos por Antonopolous y *col.* (1997), Donnelan y *col.* (1997) y French y *col.* (1997). Sin embargo no queda del todo claro de los datos disponibles si, o bajo que condiciones, la exposición a campos de RF alteran la proliferación de las células.

También diferentes estudios es conflicto, argumentan la posibilidad de efectos a la exposición de campos de RF en las membranas celulares. Sin embargo estos estudios no están lo suficientemente establecidos como para determinar criterios básicos sobre los efectos en la salud (Repacholi, 1996)

Luego de examinar otros trabajos sobre diferentes efectos no térmicos en la materia viva el grupo de expertos de la RSC finalizan el capítulo dedicado a este tema, diciendo que en resumen efectos biológicos no térmicos probablemente ocurren, y que la relación de esos efectos con las características de las radiaciones de RF no se entiende actualmente. Una vez que esta relación sea entendida esto podrá proveer mayor conocimiento sobre los mecanismos subyacentes por los cuales los campos de RF producen tales efectos.

Más recientemente la RSC publicó un trabajo llamado “Recent advances in research on radiofrequency fields and health: 2001-2003”, donde comenta los estudios más recientes realizados en la materia. Los estudios fueron realizados sobre los siguientes temas:

- Ornitina de cabosilasa
- Calcio intracelular
- Proliferación de las células
- Barrera hematoencefálica

- Melatonina
- Sistema inmunitario
- Disfunciones cardiovasculares
- Genotoxicidad
- Carcinogenicidad
- Estudios epidemiológicos
- Efectos neurológicos y de comportamiento
- Función testicular y teratogenicidad

En este informe se comentan una enorme cantidad de estudios, encontrando nuevamente conclusiones contradictorias. Más allá de esto último es oportuno mencionar que más allá que la evidencia sigue sin ser contundente, se encuentra una mayor cantidad de estudios donde las conclusiones reconocen efectos no térmicos en la materia viva si se compara con en análisis realizado unos años antes por el mismo grupo de expertos.

Por otro, lado analizando el esquema de investigación de la ICNIRP que se enfoca en un rango más amplio de frecuencias que el anteriormente expuesto, se puede decir que, para el rango inferior de frecuencias que esta propone, a excepción de tumores de mama, hay muy poca evidencia de laboratorio para asegurar que campos magnéticos generados por líneas de potencia sean promotores de tumores. Aunque sugiere la necesidad de realizar más estudios para clarificar los posibles efectos de los campos de RF sobre las células y la regulación endocrina, siendo ambos posibles promotores del desarrollo de tumores.

Informa sobre un posible incremento en el riesgo de leucemia en niños que viven cercanos a líneas de transmisión de energía eléctrica. Los estudios, sin embargo no indican niveles similares para el desarrollo de otro tipo de cáncer en niños ni adultos. Concluye respecto a este tema que la evidencia epidemiológica no es suficiente como para establecer una recomendación.

Culmina diciendo que la información es insuficiente para proveer recomendaciones básicas para la exposición a campos de RF.

Con respecto al rango de frecuencias de los 100 KHz hasta los 300 GHz, informa sobre la abundante evidencia de efectos térmicos a determinados niveles de SAR y a determinados tipos de CEM. Sin embargo para los efectos no térmicos concluye que hay deficiencias en la evidencia epidemiológica, como ser, pobres estimaciones de exposición, que los estudios analizados no han develado evidencia definitiva de que valores típicos de exposición lleven a resultados adversos en la reproducción de especies o que haya un incremento en el riesgo a desarrollar cáncer en los individuos expuestos. Culmina diciendo que esto es consistente con los resultados de investigación de laboratorio en células y animales, los que han demostrado que no hay ni efectos teratogénicos ni carcinogénicos a la exposición de niveles no térmicos de CEM de alta frecuencia.

Para finalizar, el trabajo de la IEGMP (The Stewart report)

[5], luego de analizar exhaustivamente la evidencia sobre los efectos no térmicos de los CEM en RF, encuentra evidencia contradictoria, concluyendo que puede haber efectos no térmicos sobre determinados elementos de la materia viva, sin que sea concluyente, decide realizar una lista de recomendación prioritarias en determinadas áreas de investigación sobre estos temas en las que se encuentran:

- Estudios sobre la función cerebral
- Consecuencias sobre la exposición a señales pulsadas
- Mejoras en la dosimetría
- El posible impacto en la salud debido a cambios celulares y subcelulares inducidos por la radiación de RF
- Estudios psicológicos y sociológicos relacionados a la utilización de teléfonos celulares
- Estudios epidemiológicos y estudios con voluntarios, incluyendo estudios con niños y individuos que puedan ser especialmente susceptibles a la radiación de RF.

VII. LÍMITES DE EXPOSICIÓN

La mayoría de los países que decidieron desarrollar normas con respecto a la exposición de los CEM, tomaron como referencia directa o indirecta, las recomendaciones de la ICNIRP

Esta comisión decidió dividir las recomendaciones en dos grandes grupos:

- *Restricciones básicas* estas restricciones están basadas en efectos a la salud bien establecidos.
- *Niveles de referencia* estos valores se proveen para comparar con magnitudes físicas. Cumplir con los niveles de referencia asegura cumplir con las restricciones básicas. Que se excedan los niveles de referencia no implica necesariamente exceder las restricciones básicas, más allá que se recomienda un análisis más profundo de manera de asegurar que no se excedan las mismas.

Por otro lado la ICNIRP, para describir los niveles de exposición, divide la población en dos grupos:

- *La población ocupacionalmente expuesta* dentro de este grupo se encuentran los adultos que se encuentran generalmente expuestos bajo condiciones conocidas, siendo concientes de los posibles riesgos que puede presentar dicha exposición
- *La población general* esta población comprende individuos de todas las edades y de variadas situaciones de salud, incluyendo también grupos particularmente susceptibles a la exposición de CEM.

Debido a que esta última categoría puede ni siquiera ser conciente de la exposición a la que es sometida, la ICNIRP propone niveles de exposición más restrictivos para esta

categoría con respecto a la población ocupacionalmente expuesta.

La información sobre los niveles de exposición, tanto para las restricciones básicas como para los niveles de referencia, se presenta en forma de tablas, discriminados por frecuencia, asociándole a cada rango la magnitud dosimétrica correspondiente. Tablas diferentes son utilizadas para cada categoría de población

La otra manera de describir los niveles de referencia que utiliza esta guía es utilizando gráficas tanto de **E** y **B** versus la frecuencia como se puede ver en la figura

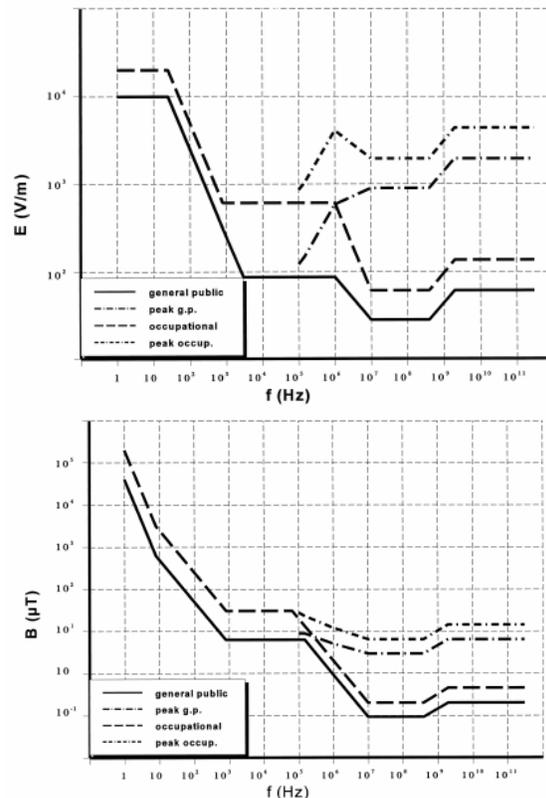


Fig. 5. Niveles de referencia para la exposición a los campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo.

Una observación interesante es que el nivel más bajo recomendado se encuentra en el rango donde la longitud de la onda de estos campos es del orden de la altura de los seres humanos. Se puede observar en las gráficas de la figura 5 que estos valores van de los 10 MHz ($\lambda \approx 300$ m) hasta aproximadamente los 600 MHz ($\lambda \approx 0.5$ m). Esto es debido a que si pensamos que el cuerpo humano “juega el rol de antena”, las mejores adaptaciones se dan cuando el largo de la antena es del orden de la longitud de onda para la cual es diseñada. Finalmente podemos observar los diferentes trazos en las gráficas, de los cuales podemos destacar el trazo continuo y el trazo a rayas, siendo el primero para los niveles de protección de la población normal y el segundo para la población ocupacionalmente expuesta.

VIII. CONCLUSIÓN

Es notoria la creciente preocupación sobre los efectos de los CEM debido al auge que se experimenta a nivel mundial en materia de telecomunicaciones, más aun si se considera la universalización de determinados servicios como la telefonía celular. Esta tecnología está siendo utilizada cada vez más por jóvenes y niños, por lo que se hace aún más importante el conocimiento cabal de los posibles riesgos que puedan implicar, ya que se puede proyectar una exposición a este tipo de CEM a largo plazo.

Las principales organizaciones encargadas del estudio de estos temas no ha encontrado evidencia contundente sobre los efectos no térmicos de la exposición a este tipo de CEM, pero como recomienda la IEGMP, se deberán realizar estudios variados en la materia ya que con el avance de estas tecnología y la demanda masiva que se ha generado se puede estar poniendo en riesgo la salud de la población. Es conocido el flagelo que es actualmente el consumo de cigarrillos, siendo, a mediados de siglo, recomendado por los propios médicos con determinados fines terapéuticos.

Por otro lado se encuentran publicaciones varias y reportes anecdóticos sobre los efectos no térmicos de los CEM en RF y en otras porciones del espectro electromagnético, que más allá de que no cumplan con la rigurosidad científica necesaria para que sean tenidos en cuenta en este tipo de trabajos, merecen al menos una mención. El escepticismo es parte de la doctrina científica y en estos casos es necesario remarcarla, debido a que las organizaciones mencionadas a lo largo del trabajo pudieran estar restringidas en sus conclusiones debido al implícito compromiso de objetividad que se debe tener al formar parte de las mismas.

REFERENCIAS

- [1] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposures to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", p. 496, April 1994, Volume 74, Number 4.
- [2] Imágenes tomadas de www.sarvalues.com y "What is SAR?" (Kozaily Zahi, Réseaux de Radiocommunications Avec des Mviles)
- [3] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposures to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", p. 494, April 1994, Volume 74, Number 4.
- [4] Royal Society of Canada (1999)
- [5] Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP, The Stewart Report, 2000).