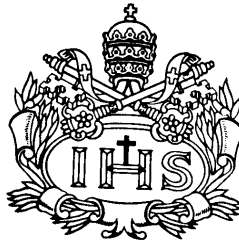




**PROYECTO DE MARCO REGULATORIO SOBRE LÍMITES DE LA EXPOSICIÓN HUMANA A
CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES
Comisión de Regulación de Telecomunicaciones – CRT
Informe Final**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA**

Santafé de Bogotá, Agosto 30 de 2000

INTRODUCCIÓN

A partir del estudio que se realizó de los efectos de la radiación electromagnética en la salud, producidos por los sistemas de telecomunicaciones inalámbricas, en este documento se especifican de una manera clara y concreta las principales nociones, conceptos y recomendaciones en el uso de equipos terminales de comunicaciones, como los teléfonos celulares. Es así como al principio de este reporte se presentan las definiciones de los términos utilizados a lo largo del desarrollo de este documento. En una segunda parte se explican los conceptos de la radiación electromagnética, tales como qué es una onda electromagnética, cómo se define el espectro electromagnético y cuáles son las regiones del campo radiado por una fuente. Una vez se han abordado estos principios conceptuales, se desarrolla la dosimetría de las radiaciones de radiofrecuencia y se explican algunos métodos que han sido utilizados para cuantificar el nivel de radiación sobre el cuerpo humano. A continuación, basados en el análisis de las recomendaciones propuestas en otros países se sugieren los límites dosimétricos de la tasa de absorción de energía específica (SAR). En la siguiente parte se sustentan la escogencia de estos límites a partir del estudio de los principales problemas que pueden ser causados por la radiación presentando para ello, los efectos biológicos que se han reportado en la literatura médica e igualmente los estudios epidemiológicos y clínicos. Finalmente, se hacen algunas recomendaciones sobre el uso de los equipos terminales de comunicaciones.

1 DEFINICIONES

Absorción: En la propagación de ondas de radio, la atenuación de estas ondas se debe a la disipación de energía, en otras palabras, la energía es transformada en otras formas, por ejemplo en calor por algún agente físico.

Absorción de energía específica (SA): Se define como la energía absorbida por unidad de masa de tejido biológico, expresada en Julios por kilogramo (J/Kg). La absorción de energía específica es la integral en el tiempo de la tasa de absorción de energía específica.

Ambiente Controlado: Área donde hay exposición de campos electromagnéticos que puede ser visitado por personas que son conscientes del riesgo potencial que podrían sufrir por radiación.

Ambientes no controlados : Lugar en donde las personas no conocen y no tienen control del nivel de su exposición a la radiación de RF.

Antena: Dispositivo para radiar o recibir energía de radiofrecuencia (RF).

Campo cercano: La región en la cual la distancia desde la antena que radía es menor que la longitud de onda de la onda electromagnética radiada. Es importante anotar que en el campo cercano la magnitud del campo magnético multiplicada por la impedancia en el espacio libre y la magnitud del campo eléctrico no son iguales.

Campo lejano: La región en donde la distancia desde una antena que radía excede la longitud de onda de la onda electromagnética. En el campo lejano las componentes (E y H) y la dirección de propagación de la onda EM son mutuamente perpendiculares y la forma del patrón de campo es independiente de la distancia tomada desde la fuente.

Constante dieléctrica: Constante que define la influencia de un medio isotrópico sobre las fuerzas de atracción o repulsión entre cuerpos electrificados. Es expresada en Faradios por metros (F/m) .

Densidad de potencia (S): Potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación, usualmente expresada en unidades de vatios por metro cuadrado (W/m^2). Por conveniencia también se expresa en milivatios por centímetro cuadrado (mW/cm^2) o microvatios por centímetro cuadrado ($\mu W/cm^2$).

Densidad de Energía (campo electromagnético): La energía electromagnética contenida en un volumen infinitesimal dividida por este volumen.

Densidad de Flujo Magnético (B): Magnitud del vector de campo igual a la fuerza que actúa en una carga en movimiento. La densidad de flujo magnético es expresada en unidades de tesla (T).

Dosimetría: Medida o valor determinado a partir de un cálculo de la intensidad del campo eléctrico interno o de la densidad de corriente inducida por la absorción de energía específica o de la distribución de la tasa de absorción de energía específica en humanos o animales expuestos a campos electromagnéticos.

Energía Electromagnética: La energía almacenada en un campo electromagnético. Expresada en Joule (J).

Exposición: Acción de exponer una persona a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos que originan procesos fisiológicos en el cuerpo o fenómenos de otra naturaleza.

Exposición ocupacional: Trabajadores quienes están expuestos a la radiación electromagnética experimentada en el transcurso de su actividad laboral regular.

Exposición parcial: Exposición que resulta cuando los campos de RF son sustancialmente no-uniformes sobre el cuerpo.

Frecuencia: El número de ciclos hechos por una onda electromagnética sinusoidal por unidad de tiempo. Se expresa comúnmente en Hertz (Hz).

Intensidad de Campo Eléctrico (E): Magnitud del vector de campo eléctrico igual a la fuerza que experimenta una carga de prueba positiva en un punto en el espacio dividida por la carga.

$$E = \frac{F}{q}$$

La intensidad de campo eléctrico está expresada en unidades de voltios por metro (V/m).

Intensidad de Campo Magnético (H): Vector de campo que es igual a la densidad de flujo magnético dividido por la permeabilidad del medio. La intensidad del campo magnético es expresada en unidades de amperios por metro (A/m).

Longitud de Onda: La distancia entre dos puntos sucesivos de una onda periódica en la dirección de propagación, en la cual la oscilación tiene la misma fase.

Máxima exposición permisible (MPE): Los valores picos o RMS de las intensidades de los campos eléctricos y magnéticos, de sus cuadrados o de las densidades de potencia de la onda plana asociada a estos campos los cuales producen, bien sea corrientes de contacto o inducidas y que a partir de este valor límite pueden causar efectos peligrosos sobre las personas.

Onda Continua: Una onda cuyas oscilaciones sucesivas son idénticas bajo condiciones de estado estable.

Onda plana: Onda electromagnética en la cual los vectores de campo eléctrico y magnético están unidos en un plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda. En este caso la intensidad del campo magnético multiplicada por la impedancia del espacio es igual a la intensidad del campo eléctrico.

Potencia Promedio (P_{avg}): La energía transferida en una tasa de tiempo promedio.

$$P_{avg} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

Donde

$P(t)$ es la potencia instantánea

t_1 es el tiempo inicial

t_2 es el tiempo final del intervalo sobre el cual $P(t)$ es promediado

Público en general: Todas las personas quienes por su trabajo no deben estar expuestos a radiación RF o de micro-ondas o igualmente aquellos que no trabajan en áreas en donde existe un control de la radiación (ambientes controlados). Se incluyen mujeres embarazadas, personas de edad y niños.

Radiación electromagnética: La propagación de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo a través del espacio a la velocidad de la luz.

Radiofrecuencia: Rango de frecuencias comprendido entre 3kHz y 300GHz.

Tasa de absorción de energía específica (SAR): Tasa a la cual la energía es absorbida por los tejidos. Se denota en vatios por kilogramo (W/kg). SAR es la medida adoptada por la dosimetría de la radiación en frecuencias superiores a 100 kHz (ver sección 4.1).

Transmisor portátil: Dispositivo que lleva el usuario sobre si mismo, el cual radía ondas electromagnéticas para propósitos de telecomunicaciones. Por ejemplo: cierto tipo de teléfonos inalámbricos y walkie-talkies.

2 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La variación total de la energía radiante (cuya longitud de onda va desde cero a infinito) se conoce como espectro electromagnético. Comúnmente se subdivide en al menos siete regiones más o menos diferenciables. Los motivos de dicha subdivisión en función de la longitud de onda (o frecuencia) son más históricos que físicos, por lo cual no existe una manera única de caracterizarlo. El espectro electromagnético útil (EM) que se utiliza en diferentes aplicaciones de la ingeniería, se extiende desde frecuencias extremadamente bajas, aproximadamente 60Hz de las líneas eléctricas hasta los 10^{20} Hz de la radiación cósmica y gama. Una parte del espectro es denominada de Radiofrecuencia (RF) y está conformada por ondas electromagnéticas que tienen frecuencias en el intervalo de 3kHz a 300 GHz [1, 17].

Este espectro se encuentra dividido en regiones limitadas, sea por la tecnología o por los fenómenos físicos que estén bajo consideración. De esta manera, a nivel físico el espectro tiene dos regiones: la *no- ionizante* y la *ionizante*, las cuales se diferencian por que en la primera los efectos de la radiación son demasiado débiles para romper los enlaces que mantienen unidas las moléculas en las células [23]. A continuación se presenta en la Tabla 1, la descripción del espectro, indicando los servicios que pertenecen a cada banda de frecuencias.

| Rango de frecuencias | Banda | Descripción | Tipo de servicios |
|-----------------------------|--------------|--------------------|---|
| 30-300kHz | LF | Baja frecuencia | Radio de onda larga y transmisores de LF |
| 300-3000kHz | MF | Frecuencias medias | Radio AM, radio navegación |
| 3-30 MHz | HF | Alta frecuencia | Radio CB, aficionados, comunicaciones de radio HF |

| | | | |
|-------------|-----|----------------------------------|---|
| 30-300 MHz | VHF | Muy altas frecuencias | Radio FM, TV VHF, servicios de emergencia, aficionados |
| 300-3000MHz | UHF | Ultra altas frecuencias | TV UHF, teléfonos celulares, aficionados |
| 3-30 GHz | SHF | Super altas frecuencias | Micro-ondas, comunicaciones satelitales, radar, micro-ondas punto a punto |
| 30-300 GHz | EHF | Extremadamente altas frecuencias | Radar, radio astronomía, enlaces micro-ondas cortos |

Tabla 1

3 CARACTERÍSTICAS DE LA ONDA ELECTROMAGNÉTICA

Las ondas producidas por un campo electromagnético viajan a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s) y se caracterizan por su longitud de onda [8, 17]. La longitud de onda (λ) se define físicamente por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

donde v es la velocidad de propagación de la luz en el medio recorrido y f es la frecuencia de la onda (Ver figura 1). En los medios biológicos que contienen una alta cantidad de agua, la longitud de onda es más corta que en el aire.

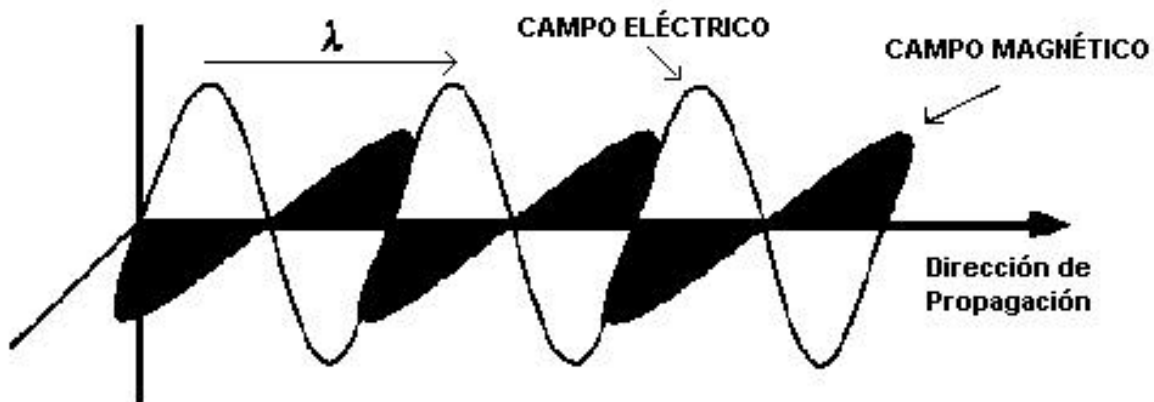


Figura 1

Las ondas electromagnéticas (EM) se componen como su nombre lo indica de un campo eléctrico y un campo magnético. Una onda EM puede ser polarizada de manera lineal, circular, elíptica o aleatoria. Una onda polarizada linealmente tiene un campo eléctrico cuya orientación es constante en todo su recorrido. La orientación del campo eléctrico en el

espacio, es una propiedad importante de las ondas EM porque determina la absorción de la onda en los cuerpos biológicos.

El campo y los patrones de onda alrededor de una fuente de radiación dependen estrechamente de la distancia existente entre la fuente y los objetos en el ambiente. Dependiendo de las propiedades dieléctricas de los objetos, la energía de la onda es reflejada, refractada, difractada, dispersada y absorbida por tales objetos. Dado que las longitudes de onda tratadas son pequeñas, la intensidad del campo local se incrementa.

En casi el 100% de los casos, una onda EM puede estudiarse como una onda plana que se propaga perpendicularmente al plano formado por los dos vectores de campo (E y H). Igualmente se caracteriza por que E y H son constantes y perpendiculares a la dirección de propagación, y varían en una proporción de $1/r$, donde r es la distancia a la fuente. La energía transportada por una onda EM se calcula a través de la densidad de potencia en un punto, realizando el producto vectorial de la intensidad del campo eléctrico y magnético:

$$S = E \times H$$

donde S es llamado el vector de Poyntings, el cual representa la densidad de potencia y la dirección de propagación de la energía. S varía en una proporción de $1/r^2$ donde r es la distancia a la fuente.

El campo de radiación de una fuente que emite ondas EM, se divide en dos regiones: *campo lejano* y *campo cercano* [7, 17, 22]. La región del espacio donde la onda radiada se comporta como una onda plana se define como campo lejano y el límite a partir del cual se inicia esta región, medida como la distancia en metros a la fuente de radiación, está dado por el criterio de Rayleigh:

$$R_{far} > 2 \frac{D_{max}}{\lambda_{min}}$$

en donde λ_{min} es la longitud de onda mínima radiada por la fuente y D_{max} es la máxima dimensión física de la fuente. La región del espacio contenida entre la fuente y el campo

lejano es llamada campo cercano. En el campo cercano los campos eléctricos y magnéticos no necesariamente son perpendiculares y por lo tanto no se comportan como ondas planas. El campo cercano puede ser dividido en dos regiones: la región de campo cercano reactiva y la región de campo cercano radiada. En la zona reactiva se almacena la mayor parte de la energía radiada por la fuente, la cual, a distancias pequeñas, decrece comenzando a dominar el campo cercano radiado.

La mayoría de estructuras que emiten ondas EM son las antenas que son generalmente utilizadas para transmitir información [22], las cuales se pueden dividir de la siguiente manera:

- Antenas pequeñas: son aquellas cuyas dimensiones son menores a la longitud de onda (λ) de la señal radiada. Por ejemplo dipolos, yagi y antenas log-periódicas.
- Antenas grandes: son aquellas cuyas dimensiones son más grandes que la longitud de onda. Por ejemplo los reflectores parabólicos, arreglos y antenas Horn.
- Fuentes produciendo campos con pérdidas. Por ejemplo, calentadores dieléctricos de radio-frecuencia o componentes de radar.

4 DOSIMETRÍA

La dosimetría describe cuantitativamente la interacción del campo eléctrico y magnético con los tejidos biológicos [15, 20]. En la región de RF las medidas básicas son:

- Densidad de corriente. Un campo de RF induce potenciales eléctricos sobre objetos conductores. Cuando una persona entra en contacto con este tipo de objetos, fluye una corriente a través de su cuerpo. La cantidad de corriente depende tanto del objeto conductor como de la frecuencia de la onda EM, de la intensidad del campo y de la impedancia de los tejidos humanos. Esta se mide para frecuencias entre los 3kHz y los 100kHz.
- Corrientes inducidas. No necesariamente la persona debe estar en contacto con objetos conductores para que se produzcan las corrientes de RF. Por cercanía a campos de RF se puede generar corriente eléctrica en el cuerpo. Estas corrientes pueden producir choques (sacudidas eléctricas) y quemaduras. Este tipo de corrientes es medida en el intervalo de frecuencias comprendido entre los 100kHz y los 100 MHz.
- Tasa de absorción específica (SAR). Es la medida de la tasa de energía absorbida por un tejido biológico debido a la exposición a una fuente de transmisión de RF. Se mide en el intervalo de frecuencias que va desde los 100kHz hasta los 10GHz.
- Densidad de potencia. Esta describe el calentamiento de los tejidos para frecuencias superiores a los 10 GHz.

El objetivo central de este proyecto de consultoría es el establecimiento de los límites de la exposición humana a campos EM generados por dispositivos portátiles tales como los teléfonos celulares y otros equipos terminales, utilizados tanto por el público en general en ambientes no controlados como por los trabajadores en ambientes controlados. En el caso de interés de este proyecto, se considera que el dispositivo de telecomunicaciones, por ser

un equipo terminal, está dentro de una zona de 20 cm [6, 13, 22, 26] alrededor del cuerpo. Por tal razón, la medida de absorción de la energía EM se realiza por medio de la SAR.

4.1 TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SAR)

Esta medida se define como la derivada con respecto al tiempo de la variación de energía δW , absorbida o disipada por una masa incremental δm con una densidad dada por ρ , contenida en un volumen δV ; esto es,

$$SAR = \frac{d\left(\frac{dW}{dm}\right)}{dt} = \frac{d\left(\frac{dW}{\rho dV}\right)}{dt}$$

La SAR está expresada en unidades de vatios por kilogramo (W/kg) [6, 13, 22, 21, 26] .

Sobre los tejidos biológicos, la SAR es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico y está dada por la siguiente ecuación:

$$SAR = (E_{LOCAL})^2 \cdot \frac{s_{eff}}{\rho}$$

En donde E_{LOCAL} es el valor RMS del campo eléctrico en el organismo en el punto de interés expresado en V/m, s_{eff} es la conductividad efectiva en Siemens/m y ρ es la densidad de la masa local en kg/m^3 .

La SAR depende principalmente de los siguientes factores:

- Los parámetros del campo incidente, tales como la frecuencia, la intensidad, la polarización, la posición del objeto con respecto a la fuente.
- Las características del objeto expuesto. Su tamaño, la geometría externa e interna y las propiedades dieléctricas del material.
- Efectos generados por reflexiones causados por algún otro objeto presente en el campo cercano.

En el caso en el cual el eje principal que se puede trazar sobre el cuerpo humano (de los pies a la cabeza), es paralelo al vector de campo eléctrico, y si este cuerpo está sometido a una exposición de ondas EM planas, se considera que la SAR alcanza su valor máximo. Basados en las características de absorción del cuerpo humano, el intervalo de frecuencias de RF puede ser dividido en 4 regiones [17]:

- La región de sub-resonancia (menos de 30 MHz), en donde la energía absorbida se incrementa rápidamente con la frecuencia.
- La región de resonancia, comprendida en un intervalo de frecuencias desde los 30 MHz hasta los 300 MHz para el cuerpo humano completo. Es posible que el cuerpo entre parcialmente en resonancia para frecuencias mayores.
- La región Intervalo. Banda de frecuencias donde el cuerpo puede absorber energía de manera localizada, esta absorción decrece con la frecuencia. Se extiende desde los 400 MHz hasta los 2 GHz.
- Intervalo de absorción superficial en donde la absorción se incrementa superficialmente y el aumento de temperatura es localizado en la superficie del cuerpo ocurre para frecuencias superiores a 10 GHz.

Actualmente la SAR es estimada utilizando tres métodos diferentes [20]:

- Micro-antenas. Antenas muy pequeñas son utilizadas para determinar la intensidad del campo eléctrico en el tejido y teniendo en cuenta que se conoce previamente el valor de la conductividad efectiva se calcula la SAR de la siguiente forma:

$$SAR = \frac{\mathbf{s}|E|^2}{\mathbf{r}}$$

En donde \mathbf{r} es la densidad de masa (kg/m^3), \mathbf{s} es la conductividad efectiva del tejido (S/m) y E es la magnitud del campo eléctrico (V/m).

- Pruebas térmicas en miniatura. En este caso se toma como base que la radiación RF causa calentamiento en el tejido. Para determinar el valor de la SAR se realizan pruebas de temperaturas. En un medio espacialmente homogéneo la SAR se calcula utilizando la siguiente relación:

$$SAR = c \frac{dT}{dt}$$

En donde c es el calor específico medido a presión constante en J/(kg.K) y dT es el incremento en la temperatura en un intervalo de tiempo δt .

- Modelado numérico. Se conoce como el método FDTD (*finite-difference time-domain*) [9]. En este método, dados como parámetros un organismo y una región geométrica irradiada bien caracterizada, se pueden realizar simulaciones por computadora para modelar y calcular la SAR. El método FDTD es utilizado para calcular las corrientes y las SAR inducida dentro de la cabeza humana debida a los campos electromagnéticos producidos por un teléfono celular. Por razones de costo computacional y para simplificar los cálculos no se incluyen otras partes del cuerpo. La cabeza humana ha sido simulada, por ejemplo, con un modelo de 57.263 bloques celulares, cada uno con constante dieléctrica no homogénea y con una constante de conductividad. La máxima SAR inducida que se encontró corresponde a un valor de 1.48 W/Kg.

Por otro lado la comunidad científica se ha interesado en la construcción de modelos, a partir de los cuales se puede determinar la incidencia real de una onda electromagnética en partes del cuerpo tales como la cabeza.

Uno de estos trabajos introdujo un modelo fantasma que se encarga de simular de la manera más real las características físicas y anatómicas de la cabeza y sobre el cual se realizaron las medidas de la SAR [2, 3]. Las pruebas hechas buscaron localizar el sitio en el cual tiene lugar el pico de la SAR en la cabeza de un usuario de un teléfono celular. Para estos análisis los científicos tomaron como consideración obvia que la piel que recubre el cráneo,

los huesos de las regiones parietales, occipitales y temporales del mismo, la masa cerebral de las mismas regiones, los órganos acústicos y la porción baja de la cara desde la oreja a la boca son las regiones más expuestas a la radiación. Para cada una de estas regiones anatómicas se analizaron y se determinaron su conductividad efectiva e igualmente su constante dieléctrica relativa que fue reproducida utilizando materiales sintéticos.

Algunos otros mecanismos para intentar detectar los efectos de la radiación sobre la materia biológica se encuentran en estudio y en proceso de evaluación. A continuación se mencionan algunos de ellos [10, 20]:

- Para que una onda electromagnética pueda modificar la materia biológica debe contener suficiente energía a fin de alterar su estructura. Por otra parte cada partícula dentro de la materia posee una energía cinética térmica promedio del orden de kT , donde k es la constante de Boltzmann y T es la temperatura absoluta expresada en grados Kelvin. Para que suceda un cambio en el interior del organismo, la onda electromagnética debe transferir energía en una cantidad superior a kT ; si se toma como temperatura de referencia 37°C esta energía transferida por la onda EM debe ser mayor a 4.3×10^{-21} J.
- Otro esquema de evaluación de los efectos está ligado a la noción de enlace químico. En este caso se debe demostrar que la energía inducida por la onda electromagnética debe ser mayor que la energía del enlace para que se produzca alguna alteración en la materia.
- Otra forma de determinar cambios en el material biológico se puede estudiar verificando la alteración introducida por la translación de una partícula cargada. En materia condensada, tal translación será regida por una serie de colisiones.

5 LÍMITES DE LA SAR

Límites de la SAR para trabajadores expuestos a RF y micro-ondas/ambientes controlados

| CONDICIONES | Límite SAR (W/kg) |
|--|-------------------|
| SAR promedio calculada sobre la masa del cuerpo completo | 0.4 |
| SAR local para cabeza, cuello y tronco, promediada sobre un gramo de tejido* | 10 |
| SAR en las extremidades, promediada sobre 10 gramos de tejido* | 20 |

*Definidos dentro de un volumen con la forma de un cubo de tejido

Límites de la SAR para público en general, expuesto a RF y micro-ondas/ambientes no controlados

| CONDICIONES | Límite SAR (W/kg) |
|--|-------------------|
| SAR promedio calculada sobre la masa del cuerpo completo | 0.08 |
| SAR local para cabeza, cuello y tronco, promediada sobre un gramo de tejido* | 2.0 |
| SAR en las extremidades, promediada sobre 10 gramos de tejido* | 4 |

*Definidos dentro de un volumen con la forma de un cubo de tejido

Los límites de exposición mencionados fueron establecidos gracias a la revisión de los resultados obtenidos en experimentos sobre organismos biológicos en los que se incluyen seres humanos, animales y sistemas celulares. En el intervalo de frecuencia desde 100kHz a 10 GHz se tomó como base para el nivel de la SAR necesario para aumentar en 1° C la temperatura del cuerpo expuesto a la radiación [26]. Bajo condiciones ambientales moderadas se encontró que en un tiempo de 30 minutos la SAR requerida para conseguir este aumento, era de 4 W/kg. Los límites recomendados para trabajadores expuestos a la radiación tomaron un factor de seguridad de 10 con el cual se considera que se proporciona una protección adecuada (0.4W/kg). Un factor adicional de seguridad de 5 ha sido introducido para la exposición del público en general, obteniendo una SAR límite promediada sobre la masa del cuerpo completo de 0.08 W/kg. Los factores mencionados se han tomado, teniendo en cuenta que la exposición del público en general puede ser de 24 horas al día, 7 días de la semana en ambientes no controlados, comparada con la de un trabajador para el cual la exposición es de 8 horas al día, 5 días a la semana en un ambiente controlado [22]. Además se considera que ciertos miembros del público en general son más susceptibles a los peligros de la radiación RF.

5.1 SITUACIÓN INTERNACIONAL

En el estudio realizado en el marco de la presente consultoría se encontraron principalmente recomendaciones hechas para regular la SAR en los Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Japón [1, 5].

- Estados Unidos: La FCC (Federal Communications Commission) ha adoptado en los Estados Unidos las recomendaciones sobre los límites de exposición a intensidad de campos [6], densidad de potencia para transmisores y la tasa de absorción de energía (SAR) para equipos de comunicaciones que operen en el intervalo de frecuencias desde los 3 kHz a los 300 GHz dados por la ANSI (American National Standards Institute) y la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) [13, 14]. Los límites de la SAR para equipos terminales son efectivos desde Agosto de 1996.

- Unión Europea: Medidas regulatorias han sido igualmente implantadas en la UE. El Consejo de la UE publicó en el Diario Oficial de la CE las recomendaciones de los límites a la exposición del público en general [21]. Estas recomendaciones están basadas en un documento emitido por la ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) [26]. La UE recomendó restricciones básicas y niveles de referencia para asegurar la protección del público en general, solamente considerando los efectos térmicos.
- Japón: El MPT (Ministry of Posts and Telecommunications) en Japón publicó en Mayo de 1998 recomendaciones para los transmisores de radiocomunicaciones con el objetivo de limitar la tasa de absorción específica (SAR). Las recomendaciones de medidas de la SAR son voluntarias pero podrían volverse regulaciones obligatorias cuando las medidas de la dosimetría de la SAR sean establecidas en un estándar internacional [2].
- Canadá: En Julio de 1998 la Oficina de Protección a la Radiación y Salud de Canadá preparó el Código 6 de seguridad que especifica los requerimientos para el uso seguro de dispositivos de telecomunicaciones inalámbricas [22, 23].

Los límites de la SAR sugeridos en este documento se acogieron a las recomendaciones de la Unión Europea y la ICNIRP. La diferencia entre la ANSI/IEEE y la ICNIRP está dada por el valor de la SAR en cabeza, cuello y tronco, promediada sobre un gramo de tejido. En el primer caso este valor es de 1.6 W/kg y en el segundo es de 2.0 W/kg. Como no existe evidencia médica que justifique la escogencia de un valor menor se acogió el estándar europeo.

6 EFECTOS BIOLÓGICOS Y ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN RF

Se considera que un efecto biológico es causado sobre un cuerpo cuando un cambio puede ser medido sobre él, luego de haberlo sometido a un estímulo. Un efecto biológico es peligroso cuando éste causa daños perceptibles sobre la salud del individuo o de su descendencia.

La literatura científica que trata esta temática es bastante amplia debido a que se han estudiado efectos diversos en el organismo [19]. Los efectos sobre el cuerpo humano, ejercidos por la radiación de radio frecuencia están clasificados en dos grupos, de acuerdo a la generación o no de cambios en la temperatura.

Los primeros son definidos como térmicos y los cambios en la salud pueden estar ligados principalmente a cambios abruptos locales o generales de la temperatura corporal.

Puede afirmarse que no hay evidencia de que los efectos térmicos ocurran con los niveles de exposición máximos sugeridos en la literatura. Según el National Radiological Protection Board (NRPB), el límite de exposición de la cabeza recomendado es de 0,1 vatios de poder absorbido por cada 10 gramos de tejido expuesto (teniendo en cuenta un tiempo promedio de exposición de 6 minutos). Los cálculos demuestran que esto podría elevar la temperatura en menos de 1 °C luego de exposición prolongada (este valor es considerado como la fluctuación normal en la temperatura corporal diariamente). No se tiene evidencia de que los efectos térmicos puedan ocurrir con exposiciones corporales totales por debajo de una SAR de 0,08W/kg.

Todo material biológico tiene propiedades dieléctricas que les permiten acumular y disipar energía inducida por un campo electromagnético externo. Sin embargo, dos áreas del

cuerpo especialmente sensibles a este efecto son los ojos y los testículos debido a que no tienen una forma rápida de poder disipar el calor absorbido. Un estudio realizado en conejos mostró que utilizando una alta potencia de radiación se podía causar cataratas.

Existen efectos que puede causar la radiación considerados de tipo no-térmicos, que son aquellos que ocurren cuando la intensidad de la radiación de radiofrecuencia es suficientemente baja, debido a que la energía generada no es capaz de lograr ningún incremento significativo sobre la temperatura de una célula, tejido u organismo, aunque si puede realizar algún cambio físico o bioquímico. Se incluyen en este nivel influencias potenciales sobre los tejidos excitables eléctricamente, tales como el sistema nervioso y sobre el ADN porque puede llegar a inducir una inestabilidad genómica.

Algunos otros tipos de efectos causados por la radiación y que han sido estudiados por los científicos son citados a continuación [19].

6.1 EFECTOS BIOLÓGICOS

En la literatura se encuentran efectos biológicos bien documentados, entre los que se incluyen alteraciones en la proliferación celular, en la activación de la Ornitina Decarboxilasa (ODC) (esta es una enzima encargada de permitir el proceso de síntesis de poliaminas y está íntimamente relacionada con la regulación del ácido nucleico y la síntesis de proteínas), en la regulación del Calcio (el cual es un elemento necesario para la activación de las células nerviosas, la contracción muscular cardíaca, intestinal, del músculo estriado, los fenómenos de coagulación, etc.), en la permeabilidad de la barrera hemato-encefálica, en la producción de melatonina, etc. Todos estos efectos podrían potencialmente causar efectos sobre la salud. Sin embargo no existe suficiente evidencia científica que confirme o descarte esta posibilidad, y peor aún, el no entendimiento de la relación causa efecto de la radiación electromagnética sobre estos cambios fisiológicos dificulta establecer los límites de seguridad para las exposiciones no térmicas.

Algunos estudios son considerados controvertidos, por ejemplo los realizados en la proliferación celular. La conclusión en este caso parece ser que no hay alteración en la misma. Con relación a la liberación de la ODC parece estar demostrado un incremento en su actividad, siendo interesante destacar que en cáncer casi todos los factores capaces de producirlo conllevan una actividad aumentada de la ODC, pero no todos los estímulos capaces de incrementar su actividad promueven el cáncer.

Otro estudio reporta una aparente alteración en la liberación de melatonina. Esta hormona producida por la glándula pineal es la encargada de modular el desarrollo de los caracteres sexuales de maduración masculinos y el ritmo circadiano.

Los efectos electromagnéticos sobre el Calcio en los tejidos biológicos, no han sido claramente establecidos. Unos grupos de investigación han demostrado efectos positivos sobre el eflujo del Calcio (este es un parámetro que representa la salida del Calcio de la célula), y algunos otros efectos negativos. Igualmente, se han encontrado variaciones en la dirección del eflujo, algún aumento o inhibición del mismo.

El eflujo del Calcio no depende de la integridad del metabolismo celular. En cambio la captación de Calcio por la célula sí depende de la energía intracelular, de la integridad de la membrana celular y de los transportadores activos de la misma. La concentración intracelular de Calcio es responsable de activar la formación de puentes transversales de actina miosina y dar comienzo al proceso de contracción muscular.

En el sistema nervioso, la generación y conducción del potencial de acción neuronal depende de cambios en la permeabilidad de la membrana al Na^+ y al K^+ , que se cree son sensibles al voltaje. Los iones de Calcio llegan al terminal axónico luego de que se genera el impulso nervioso, ayudando a la liberación de neurotransmisores tales como la acetilcolina, dopamina, adrenalina, noradrenalina y serotonina.

Se considera que existe un aparente aumento en la permeabilidad de la barrera hematoencefálica y por otra parte se encuentran estudios que lo controvierten. Los cambios en el comportamiento posiblemente estarían relacionados con el efecto de la radiación electromagnética sobre el sistema opioide endógeno, ya que está demostrado que un bajo nivel de radiación de microondas, por ejemplo de 0,6W/kg puede causar liberación de opioides endógenos.

Los efectos de la radiación sobre el sistema neurofisiológico que se denominan indicadores de estrés están mediados por la liberación de hormonas del tipo corticoesteroides. La clásica respuesta al estrés está dada por la activación del eje Hipotalámico-Hipofisario-Adrenal (eje H-H-A) y la liberación de corticoesteroides, secundaria a la estimulación de la hipófisis por el Factor Liberador de Corticotropina (CFR) a su vez liberado por el hipotálamo, con la consecuente liberación de la Hormona Adrenocorticotropica (ACTH) y por la hipófisis, que a su vez estimula la corteza suprarrenal, para la liberación del cortisol al torrente sanguíneo. La hipófisis también libera Beta endorfinas al torrente sanguíneo con un mensaje de estrés a diferentes órganos blanco. Por otra parte las catecolaminas son capaces de estimular directamente la hipófisis para aumentar la secreción de ACTH. La radiación electromagnética es capaz de estimular directamente la liberación de corticoesteroides por activación del eje H-H-A o por liberación de catecolaminas por estimulación directa de la glándula adrenal. Una intensa exposición a radiación electromagnética puede causar liberación de corticoides al torrente sanguíneo, probablemente por estimulación térmica de la hipófisis a exposiciones a una SAR mayores a 10 W/kg. No sucede para una SAR de 6,25 W/Kg.

La ansiedad es reducida con una dosis alta de benzodiazepinas (clorodiazepoxido 32 mg/kg); este efecto ansiolítico es antagonizado por una dosis intensa de 36 W/Kg. Por otro lado pulsos poco intensos (por ejemplo con una SAR de 0,2W/Kg) de radiación de microondas pueden causar potenciación del efecto ansiolítico de las benzodiazepinas, aparentemente por un selectivo incremento de los receptores de las mismas en la corteza cerebral [18].

Aparentemente cualquier cambio en la temperatura sobre una región específica del cerebro puede ser causa suficiente para disparar una respuesta de estrés, la cual va generar la liberación de ACTH teniendo como umbral 0.1 mW/cm^2 .

Los cambios morfológicos sufridos en ratas y gatos expuestos todo su organismo a rangos de 10 a 50 mW/cm^2 , es decir una SAR de 2 W/kg sobre la masa del cuerpo completo, están dados por edema, hemorragias, vacuolización. A exposiciones mayores se presenta degeneración de mielina, proliferación de glia, vacuolización citoplasmática de las neuronas. Se concluye por ello que a exposiciones mayores de 2 W/Kg de SAR calculada sobre la masa del cuerpo completo existen cambios en la morfología neuronal.

6.2 ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS

Hay un número importante de trabajos de investigación epidemiológicos de exposición, de evaluación del potencial genotóxico y de la exposición a largo término de animales [11,12].

Dentro de los epidemiológicos, deben mencionarse los realizados con los trabajadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts, quienes estaban dedicados a la investigación y desarrollo en la aplicación de Radares (1940-1946). Se tomó como base una cohorte de 1456 sujetos expuestos, con un grupo control de médicos especialistas; ellos tenían iguales condiciones socioeconómicas y posibilidad de exposición a radiación electromagnética laboral; otro estudio fue el realizado con los trabajadores de servicios extranjeros en Moscú; en este caso se tomó una población de 1800 trabajadores de la embajada Americana en Moscú y los resultados fueron comparados con 2500 trabajadores de otras embajadas expuestos a radiación de microondas de baja intensidad; igualmente se trató el caso del Personal de la Armada Americana. Este análisis se hizo con personal expuesto durante la Guerra de Corea, otro estudio fue hecho utilizando operadores de radio, trabajadores eléctricos en Noruega, Policías Militares Polacos operadores de radares y otros. Todos estos estudios tienen deficiencias en la medición de la exposición, a causa de que el trabajo o la

ocupación fueron usados como medida de exposición. Ninguno sugiere un riesgo incrementado al cáncer por la exposición a radiación. El nivel de evidencia es débil. Hay un estudio de casos y controles, que busca establecer la relación entre tumores cerebrales y la exposición a radiación de teléfonos celulares.

Con relación al potencial genotóxico (es el daño del material genético que puede estar representado por una mutación, una traslocación o una delección), existen reportes sobre trabajos de investigación en la mayoría de los cuales no se ha encontrado significativa genotoxicidad. La posibilidad de generar cáncer está siempre latente, sin necesidad de tener implícito el daño genotóxico; esto se denominada el efecto epigenético (este efecto puede presentarse con expresión o supresión de oncogenes, sin necesidad de causar daño del material genético). No hay estudios que demuestren este potencial oncogénico epigenético de la radiación de radio frecuencia.

La controversia acerca de los efectos sobre la salud permanece abierta; por ejemplo un reporte reciente del NCR/NAS (National Research Council / National Academy of Sciences) concluye que no hay evidencia que muestre que la exposición a campos electromagnéticos constituye un peligro real para la salud humana. Sin embargo la controversia está abierta sobre los riesgos reales de contraer cáncer o de presentar algún otro tipo de efecto sobre la salud.

En relación a la exposición a largo termino, no hay suficiente evidencia que soporte un impacto positivo sobre la salud en animales. Sin embargo un estudio publicado en 1997 (por un grupo de investigación australiano encabezado por Repacholi) demostró mayor incidencia de Linfomas en ratones crónicamente expuestos a radiaciones electromagnéticas durante un periodo de 18 meses (con un SAR de 0,13 a 1,4 W/kg, durante 30 minutos diarios).

6.3 ESTUDIOS CLÍNICOS

Algunas investigaciones sobre otros aspectos en salud presentan estudios neurofisiológicos (potenciales evocados) tomados durante la exposición a radiación, estudios cognoscitivos (evaluación de conocimiento, percepción, memoria y juicio) [25], estudios subjetivos de síntomas, de interacción con marcapasos y con equipos de ventilación (respiradores) [24], exposición a radiación y cuantificación de la exposición de acuerdo al material del equipo de telecomunicaciones inalámbricas. Otros estudios hacen referencia a la liberación de endorfinas, catecolaminas, cortisol, expresión de receptores de benzodiazepinas.

Es probable que la exposición sea de suficiente intensidad para causar efectos biológicos, que no alcanzan a ser asociados con efectos adversos de salud.

Otro temor es el riesgo de cáncer. Los estudios disponibles no son ni consistentes, ni uniformes en sus conclusiones. Aunque algunos investigadores han sugerido que la radiación electromagnética puede dañar el DNA, en general la mayoría de los estudios concluyen negativamente.

Algunos estudios clínicos han examinado la repercusión de la radiación electromagnética y la función del cerebro, en manifestaciones sobre convulsiones, desordenes del sueño y un denominado síndrome RFR, sin lograr demostrar efectos adversos sobre la salud.

Los niños, los ancianos y las embarazadas son poblaciones especialmente susceptibles a los estímulos ambientales, sin ningún estudio de investigación de los efectos de la exposición a radiación electromagnética. Estudios continuados de exposición a radiación de poblaciones humanas, son necesarios para establecer los potenciales efectos de este tipo de radiación a largo plazo [4].

En la Tabla 2 se presentan algunos de los efectos potenciales en salud producidos por la radiación de RF.

| Procesos y compuestos del cuerpo humano | Función | Conclusiones |
|--|--|---|
| Eflujo de Calcio | Básico en las funciones de las neuronas y otras células. | Su relación con la exposición a la radiación de RF no es clara y ningún riesgo para la salud ha sido clarificado. |
| Ornitina Decarboxilasa (ODC) | Su inhibición altera el crecimiento de las células normales o puede cambiar la evolución de un tumor. | Se ha encontrado que los campos pulsados modulados de RF pueden aumentar los niveles y la actividad de la ODC. Sin embargo es poco probable que estos pequeños cambios tengan efectos en promover los tumores. |
| Melatonina | Esta hormona es producida por la glándula pineal y se encarga de controlar el ritmo diario. | No muchos estudios han sido realizados en este tema y estos no sugieren que exista alteración alguna en la función de la pineal o en la producción de la melatonina. |
| Movimiento de sustancias a través de la membrana celular | Las membranas que protegen la célula son extremadamente importantes para su correcto funcionamiento, teniendo funciones diversas como receptoras, de detección, de activación de cambios o de transporte de iones. | Se tiene evidencia que la radiación de RF puede tener efectos sobre las proteínas en las membranas y puede alterar el movimiento de iones. Sin embargo, estos efectos se detectan solo con niveles de radiación que producen un calentamiento excesivo. Los efectos en la salud humana son inciertos. |
| Neurotransmisores | Cambios en los niveles de las sustancias que circulan en los terminales nerviosos pueden alterar la función cerebral. | No hay resultados concretos sobre los efectos de la radiación de RF en los neurotransmisores a las potencias que utilizan los servicios de comunicaciones inalámbricas. |
| Barrera hemato-encefálica | Esta previene que alguna molécula no deseada llegue al fluido cerebro espinal. | La información disponible en este caso es inconsistente y algunas veces resulta contradictoria. |
| Cáncer y genes | Enfermedad caracterizada por una regulación anormal en el crecimiento y proliferación celular. El ADN es quien controla el crecimiento y la función de las células. Algunas sustancias o algún otro tipo de agente pueden causar daño sobre el ADN esto se llama daño genotóxico. La posibilidad de generar cáncer está siempre latente, sin necesidad de tener implícito el daño genotóxico; esto se denominada el efecto epigenético | Con relación al potencial genotóxico existen reportes sobre trabajos de investigación en la mayoría de los cuales no se ha encontrado significativa genotoxicidad. No hay estudios que demuestren este potencial oncogénico epigenético de la radiación de radio frecuencia. |

Tabla 2

7 RECOMENDACIONES

La medida de la radiación que afecta los tejidos biológicos se dividió en cuatro regiones como se mencionó en el capítulo de Dosimetría. En particular, en este proyecto se propusieron los límites de máxima absorción de energía producida por los dispositivos de comunicaciones inalámbricos portátiles que prestan servicio en un intervalo de frecuencias comprendido entre los 100 kHz y los 10 GHz, entre los que se encuentran telefonía celular, PCS, trunking y satelitales. Los límites de la SAR recomendados en este documento se acogieron a las recomendaciones de la Unión Europea y la ICNIRP. Estos límites de exposición fueron establecidos tomando como base el nivel de la SAR necesario para aumentar en 1° C la temperatura del cuerpo expuesto a la radiación. Los límites recomendados tanto para trabajadores expuestos a la radiación como para público en general han tomado una serie de factores de seguridad con los cuales se considera que se proporciona una protección adecuada. Los límites propuestos por la ANSI/IEEE son igualmente válidos y son más rigurosos que los de la ICNIRP en el valor de la SAR en cabeza, cuello y tronco, promediada sobre un gramo de tejido. Pero como no se encontró evidencia médica que justifique la escogencia de ese valor menor se decidió recomendar el estándar europeo.

Se recomienda realizar una investigación a fin de establecer los límites para las corrientes de contacto e inducidas y para la densidad de potencia según los intervalos de frecuencia donde se presentan estos efectos. Así mismo, se considera igualmente importante realizar un estudio con la finalidad de regular la radiación emitida por las microceldas, las celdas y las estaciones base.

Los equipos terminales de comunicaciones inalámbricas pueden causar interferencia electromagnética en instrumentos médicos siendo necesario realizar estudios sobre esta interferencia, sus efectos y los métodos que podrían ser propuestos para eliminarla o

mitigarla. Un caso al cual se le debe prestar especial atención son los hospitales. Es necesario indicar al público en general que estos equipos pueden alterar el buen funcionamiento de ciertos instrumentos médicos, razón por la cual se recomienda establecer indicaciones claras en las entradas de los hospitales para que estos dispositivos sean apagados en las zonas de mayor riesgo (por ejemplo en las salas de cuidados intensivos).

Las publicaciones científicas médicas recientes no presentan evidencias que la exposición a la radiofrecuencia acorte la vida humana, ni que produzca cáncer o lo favorezca. Por ello se recomienda estar atento a los nuevos resultados que se presenten en estas publicaciones para verdaderamente trazar un cuadro más completo sobre los riesgos sanitarios, en especial el posible incremento del cáncer causado por exposición a bajos niveles de radiación. Igualmente, se recomienda hacer una revisión permanente de los nuevos estudios médicos que traten los efectos sobre el funcionamiento cerebral, las consecuencias a la exposición a señales pulsadas, los posibles impactos sobre la estructura celular debido a la radiación de radiofrecuencia y los estudios epidemiológicos que se hagan a largo plazo, en los que se incluyan resultados sobre las poblaciones de mayor riesgo como son los niños, los ancianos, las mujeres embarazadas y los inmunocomprometidos.

Los dispositivos de comunicaciones inalámbricas de mayor riesgo desde un punto de vista de radiación son los teléfonos celulares. La exposición se reduce normalmente con la distancia a la fuente de radiación, en el caso del teléfono celular este siempre se ubica al lado de la cabeza generando un incremento en las posibilidades de causar efectos. Por ello, se recomienda que los valores de la SAR para los teléfonos celulares sea accesible a los consumidores:

- En el punto de venta con información sobre la caja.
- Presentando tablas comparativas donde se especifique la información de los diferentes modelos.
- Un sitio Web nacional donde los fabricantes listen sus productos y los valores de las SAR medidos para sus diferentes productos.

Se recomienda hacer un estudio de factibilidad que determine la posibilidad de implementar a nivel nacional los mecanismos para que se realicen las verificaciones sobre los valores realmente radiados por los dispositivos terminales, para constatar que se estén cumpliendo los límites recomendados de la SAR.

Desde un punto de vista general se deben hacer recomendaciones a los usuarios sobre algunas precauciones que pueden tomarse en la utilización de los equipos terminales de comunicaciones:

- En el caso del teléfono celular se puede utilizar un aparato que tenga un auricular adicional. Por ejemplo un dispositivo manos libres.
- No motivar a los niños a utilizar un teléfono celular, debido a que esta población puede ser más susceptible a tener efectos en el desarrollo del sistema nervioso central.
- Ubicar la antena del equipo de comunicaciones inalámbrico a una distancia mayor a 20 cm del cuerpo, esto se puede lograr utilizando una antena que se encuentre ubicada sobre el techo del vehículo.
- Si la señal recibida es débil se recomienda dejar de utilizar el dispositivo de comunicaciones. En un teléfono celular específicamente esa deficiencia obliga al teléfono a trabajar a una mayor potencia, aumentando por ello las emisiones de radiofrecuencia.
- Tener precaución con los dispositivos adicionales que se supone bloquean la radiación. Algunos elementos que bloquean la radiación pueden estar en algunos casos causando un bloqueo en la transmisión, generando un mal comportamiento del equipo terminal y aumentando los factores de riesgo.
- Alertar sobre la interferencia que puede causar el equipo terminal de comunicación sobre los marcapasos.
- Indicar a los usuarios que un equipo de comunicaciones inalámbrico puede detonar un elemento electro-explosivo.

REFERENCIAS

1. AUSTRALIAN COMMUNICATIONS AUTHORITY- ACA. Radiofrequency Electromagnetic energy. Mandatory human exposure standards and compliance framework. Febrero 1999.
2. AUSTRALIAN COMMUNICATIONS AUTHORITY- ACA. Radiocommunications (Electromagnetic Radiation Human Exposure) Standard 1999.
3. BALZANO Q., GARAY O., MANNING Th. Electromagnetic Energy Exposure of Simulated Users of portable Cellular Telephones. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 44. No 3. Agosto 1995.
4. BERNARDI P., CAVAGNARO M., PISA S. Evaluation of the SAR Distribution in the Human Head for Cellular Phone Used in a Partially Closed Environment. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 38, No. 3, August 1996.
5. BREN S., Reviewing the RF Safety Issue in Cellular Telephones. IEEE Engineering in Medicine and Biology. May/June 1996.
6. FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (FCC). Code of Federal Regulation (CFR), Title 47, Section 2.1093 página 565, 'Radiofrequency radiation exposure evaluation: portable device'.
7. FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (FCC). Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. OET Bulletin 65. Agosto 1997.
8. FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (FCC). Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields. OET Bulletin 56. Agosto 1999.
9. CHEN H., WANG H. Current and SAR Induced in a Human Head Model by the Electromagnetic Fields Irradiated from a Cellular Phone. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 42. No 12. Diciembre 1994.
10. FOSTER K., MOULDER J. Are mobile phones safe? IEEE Spectrum. Agosto 2000.
11. FOSTER, K. ERDREICH L., MOULDER J. Weak Electromagnetic Fields and Cancer in the Context of Risk Assessment. Proceedings of the IEEE. Vol. 85. No. 5. Mayo 1997.
12. FIST S. Cell Phones Cancer Connection. The Australian newspaper. April 29. 1997.

13. IEEE Std C95.1-1991 – 1999 Edition. IEEE Standard for Safety Level With Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York,1992.
14. IEEE Std C95.3.1992. IEEE Standard for "Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields - RF and Microwave".
15. INDEPENDENT EXPERT GROUP ON MOBILE PHONES- IEGMP. Mobile Phones and Health. Mayo 2000.
16. IRNICH, TOBISCH. Effect of mobile phone on life-saving and life sustaining systems. Biomed Tech (Berl). 43(6). Junio 1998.
17. IRPA9, International Radiation Protection Association, "RF and Microwave Measurement", Ninth International Congress of the International Radiation Protection Association, Vienna, Austria, April 17, R-07, 1996.
18. PREECE, IWI, SMITH. Effect of a 925 MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. Int. J. Radiat. Biol. 75(4). Abril 1999.
19. Radiofrequency Radiation Standards Biological effects, Dosimetry, Epidemiology, and Public Health Policy. Editado por KLAUENBERG B., GRANDOLFO M., ERWIN D. NATO ASI Series. Plenum Press. 1995.
20. MOULDER J., ERDREICH R., MALYAPA R., MERRITT J., PICKARD W. Cell Phones and Cancer: What Is the Evidence for a Connection? Radiation Research 151. 1999.
21. OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Council RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). Julio 1999. Bruselas. Bélgica.
22. Radiation Protection Bureau of Health Canada " Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz," Safety Code 6 , 1999.
23. The Royal Society of Canada. A review of the Potential Health Risks of Radiofrequency Fields from Wireless Telecommunication Devices. Marzo 1999.
24. TRIGANO, AZOLUAY, ROCHDI. Electromagnetic interference of external pace markers by walkie-talkies and digital cellular phones: experimental study. Pacing Clin Electrophysiol. 22 (4Pt 1). Abril 1999.
25. URBAN, LUKAS, ROTH. Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A pilote study. Cent Eur. J Public Health. Prague. 6(4). Noviembre 1998.

26. ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics. Vol. 74. No 4. April 1998.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| <u>1</u> <u>DEFINICIONES</u> | 3 |
| <u>2</u> <u>ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO</u> | 8 |
| <u>3</u> <u>CARACTERÍSTICAS DE LA ONDA ELECTROMAGNÉTICA</u> | 10 |
| <u>4</u> <u>DOSIMETRÍA</u> | 13 |
| 4.1 <u>TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SAR)</u> | 14 |
| <u>5</u> <u>LÍMITES DE LA SAR</u> | 18 |
| 5.1 <u>SITUACIÓN INTERNACIONAL</u> | 19 |
| <u>6</u> <u>EFFECTOS BIOLÓGICOS Y ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN RF</u> | 21 |
| 6.1 <u>EFFECTOS BIOLÓGICOS</u> | 22 |
| 6.2 <u>ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS</u> | 25 |
| 6.3 <u>ESTUDIOS CLÍNICOS</u> | 27 |
| <u>7</u> <u>RECOMENDACIONES</u> | 29 |
| REFERENCIAS | 31 |
| ANEXOS | 34 |