

# Informe sobre Campos electromagnéticos y la salud humana

**Instituto de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República**

**Autores :**  
**Ing. Claudia Cabal**  
**Ing. Gerardo Otero**  
**Ing. José Acuña**

**Julio Herrera y Reissig 565 – tel. 7110974**  
**CP 11300 – Montevideo, Uruguay**

---

# CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y SALUD HUMANA

<b>1</b>	<b>OBJETIVO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ALCANCE .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>REVISIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS .....</b>	<b>5</b>
<b>4.1</b>	<b>CAMPO ELÉCTRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>4.2</b>	<b>CAMPO MAGNÉTICO.....</b>	<b>7</b>
<b>4.3</b>	<b>CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS .....</b>	<b>9</b>
4.3.1	CAMPO LEJANO.....	10
4.3.2	CAMPO CERCANO .....	10
4.3.3	CLASIFICACIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS .....	10
<b>4.4</b>	<b>TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (TAE, O SAR EN INGLÉS).....</b>	<b>11</b>
<b>4.5</b>	<b>RESTRICCIONES BÁSICAS Y NIVELES DE REFERENCIA .....</b>	<b>11</b>
4.5.1	RESTRICCIONES BÁSICAS.....	11
4.5.2	NIVELES DE REFERENCIA.....	12
<b>5</b>	<b>EFFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LOS CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS. MECANISMOS DE ACOPLAMIENTO CON EL CUERPO.....</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>EFFECTOS BIOLÓGICOS Y SOBRE LA SALUD. ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS Y DE LABORATORIO .....</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>ORGANIZACIONES.....</b>	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y CÁNCER.....</b>	<b>15</b>
<b>8.1</b>	<b>BAJA FRECUENCIA .....</b>	<b>16</b>
<b>8.2</b>	<b>ALTA FRECUENCIA .....</b>	<b>17</b>

<b>9</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE IARC</b> .....	<b>19</b>
<b>10</b>	<b>DIRECTRICES DE ICNIRP – OBJETIVOS Y LÍMITES</b> .....	<b>20</b>
<b>10.1</b>	<b>BAJA FRECUENCIA</b> .....	<b>20</b>
<b>10.2</b>	<b>ALTA FRECUENCIA</b> .....	<b>22</b>
<b>11</b>	<b>RESUMEN Y SÍNTESIS</b> .....	<b>24</b>
<b>12</b>	<b>ANEXO I: MAGNITUDES Y UNIDADES</b> .....	<b>25</b>
<b>13</b>	<b>ANEXO II: RECOMENDACIONES DEL IEGMP</b> .....	<b>26</b>
<b>14</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>28</b>

## 1 Objetivo del Documento

El objetivo de este documento es introducir al lector en los principales conceptos relacionados con los campos electromagnéticos y sus posibles efectos sobre la salud humana, destacando los resultados de estudios, criterios y recomendaciones establecidos por las organizaciones internacionales que analizan esta temática: Organización Mundial de la Salud (OMS), Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y el grupo de expertos del Ministerio de Salud del Reino Unido (Independent Expert Group on Mobile Phones – IEGMP, Informe Stewart).

Los contenidos son extraídos de fuentes reconocidas y no responden a la elaboración propia de los autores. Los autores únicamente se han limitado a exponer en forma resumida y sintética los mismos, en pos de alcanzar el objetivo planteado. Se agregarán explicaciones y conceptos de forma de ayudar a comprender dichos contenidos.

En ninguna parte de este documento se afirmará que, por encima de los límites recomendados la radiación electromagnética tiene efectos adversos sobre la salud ni que, por debajo de dichos límites resulta inocua. Nos limitaremos a reproducir y en la medida posible explicar las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y de la ICNIRP. Lo que afirman estos organismos es que la evidencia científica hasta el momento sugiere que para valores por debajo de los límites recomendados, no está probada la existencia de relaciones causa-efecto que impliquen un riesgo de sufrir efectos adversos en la salud de la población.

## 2 Alcance

Las recomendaciones expuestas en este documento son las seguidas por los técnicos del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República cuando se solicita asesoramiento en la temática.

Al no existir una normativa nacional al respecto, eso no significa que estas recomendaciones, u otras, sean de cumplimiento obligatorio por parte de las empresas prestadoras de servicios que producen este tipo de radiaciones, aunque algunas empresas ya hayan adoptado en forma explícita el seguimiento de las recomendaciones de ICNIRP.

La documentación reseñada no es el resultado de una revisión exhaustiva de publicaciones, recomendaciones y/o normas a nivel internacional, sino de la realizada con el criterio de tomar las recomendaciones de las organizaciones, a nuestro entender, mas prestigiosas.

### 3 Organización del documento

#### El documento se ha estructurado de la siguiente manera:

- Inicialmente se presenta una revisión sucinta de los conceptos de campos eléctrico y magnético, ondas electromagnéticas y el espectro electromagnético.
- Se establecen seguidamente los efectos directos e indirectos de los campos electromagnéticos y los mecanismos conocidos de acoplamiento de los mismos con el organismo.
- Se definen y diferencian los efectos biológicos y los efectos sobre la salud, así como se explica en qué consisten los estudios epidemiológicos y los estudios de laboratorio.
- Se hace referencia a las organizaciones que analizan la temática considerada y que resultan ser las principales fuentes de los conceptos, análisis y recomendaciones presentadas en este documento.
- Se presentan los últimos criterios y recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Se presenta la clasificación de los campos electromagnéticos de acuerdo a la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC).
- Se especifican los objetivos de las directrices y los estándares elaborados por la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) y reconocidos por la Organización Mundial de la Salud.

### 4 Revisión de conceptos básicos

#### 4.1 Campo Eléctrico

El campo eléctrico  $\mathbf{E}$  es un campo que origina fuerzas que actúan sobre las cargas eléctricas y que a su vez se produce en presencia de cargas eléctricas. En tanto campo de fuerzas, se trata de una magnitud vectorial, es decir caracterizada por una intensidad y una dirección, las cuales, en un punto dado del espacio, pueden ser variables con el tiempo, como es el caso para las instalaciones eléctricas que operan con corriente alterna. En coordenadas cartesianas:

$$\mathbf{E}(x,y,z,t) = E_x(x,y,z,t) \mathbf{u}_x + E_y(x,y,z,t) \mathbf{u}_y + E_z(x,y,z,t) \mathbf{u}_z$$

siendo  $\mathbf{u}_x$ ,  $\mathbf{u}_y$ ,  $\mathbf{u}_z$ , los vectores unitarios asociados a los ejes x, y, z del sistema cartesiano elegido, y  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  las componentes del vector  $\mathbf{E}$  en ese sistema.

Toda carga eléctrica crea un campo de fuerzas en su entorno, el cual en ausencia de otras cargas tiene una intensidad proporcional al valor de la carga e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la misma. La relación física básica está dada por la Ley de Coulomb, que expresa que el valor  $F$  de la intensidad de la fuerza  $\mathbf{F}$  ejercida entre dos cargas eléctricas  $q_1$  y  $q_2$  situadas en el vacío y separadas entre sí por una distancia  $r$ , es:

$$F = (4\pi\epsilon_0)^{-1} (q_1 q_2) / r^2$$

Donde  $\epsilon_0$  es una constante física fundamental denominada permitividad del vacío. La dirección de  $\mathbf{F}$  es la dada por la recta determinada por la ubicación en el espacio de las cargas  $q_1$  y  $q_2$ , y el signo de  $\mathbf{F}$  es el que corresponde a los signos de  $q_1$  y  $q_2$ : es una fuerza de atracción entre  $q_1$  y  $q_2$  si son de signo opuesto y de repulsión si son del mismo signo.

En el vacío, cualquier carga eléctrica  $q$  dentro de un campo eléctrico  $\mathbf{E}$  –el cual ella misma contribuye a crear– es objeto a su vez de una fuerza  $\mathbf{F}$  ejercida por dicho campo eléctrico, cuya magnitud es proporcional al valor de la carga y a la intensidad del campo eléctrico en el punto en que está situada la carga:

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

El signo de esta fuerza también está dado por la misma fórmula, es decir se trata de una fuerza en el mismo sentido del campo  $\mathbf{E}$  si la carga es positiva y en sentido opuesto a  $\mathbf{E}$  si  $q$  es negativa.

En los materiales denominados conductores de la electricidad, se tiene cargas eléctricas libres de circular en el mismo. Cuando se somete un conductor a un campo eléctrico, dichas cargas libres se pondrán en movimiento debido a las fuerzas que ejerce sobre ellas el campo eléctrico, y si la geometría del conductor así lo permite –por ejemplo en forma de circuitos o anillos– se establecen entonces corrientes eléctricas en esos circuitos. La relación entre la densidad de corriente  $\mathbf{J}$  y el campo eléctrico  $\mathbf{E}$  está dada por la Ley de Ohm:

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

Donde  $\sigma$ , conductividad del material, es un parámetro que mide el grado de movilidad de las cargas libres dentro del mismo.

En los materiales denominados aislantes las cargas no pueden circular con la misma facilidad que en los materiales conductores, y el valor de  $\sigma$  es típicamente muchos órdenes de magnitud menor que en los conductores. Cuando un aislante se somete a un campo eléctrico, aunque no puedan establecerse corrientes, o las mismas sean de un valor insignificante, las cargas igual están sujetas a la fuerza ejercida sobre ellas por el campo, lo que tiene por efecto una modificación de la distribución espacial de las mismas (polarización eléctrica). Un efecto similar también se puede tener en un material conductor si por la disposición geométrica del mismo no se permite la circulación de corrientes en el mismo.

Toda instalación eléctrica energizada, es decir mantenida a una tensión o voltaje no nulo, tiene un campo eléctrico asociado. En tensión alterna el campo eléctrico

es variable con el tiempo, a la misma frecuencia de la tensión aplicada. Para campos eléctricos variables, la intensidad que se toma a los efectos prácticos de evaluación de sus efectos es el valor eficaz o rms (root mean square = raíz cuadrada del valor medio del cuadrado de la intensidad), en lugar del valor instantáneo.

La intensidad  $E$  del campo eléctrico  $\mathbf{E}$  se mide en Volts por metro (V/m), o múltiplos como kiloVolts por metro (1 kV/m =  $10^3$  V/m). Cuanto mayor sea la tensión del conductor mayor será la intensidad de dicho campo eléctrico a una determinada distancia. Dicha intensidad disminuye rápidamente con la distancia, aunque para las distribuciones de cargas que resultan de las complejas geometrías de las instalaciones eléctricas típicas no puede en general afirmarse que la disminución sea con el cuadrado de la distancia. Sin aumentar la distancia a una instalación, la intensidad del campo eléctrico también puede ser disminuida eficazmente mediante el empleo de diversas técnicas de apantallamiento, empleando combinaciones de materiales conductores y aislantes de la electricidad.

Los mayores campos eléctricos suelen encontrarse debajo de las líneas de transmisión en Alta Tensión y Extra Alta Tensión. Cuando los conductores están enterrados en el suelo (cables subterráneos), aún cuando se trate de instalaciones en Alta Tensión, los campos eléctricos generados casi no pueden detectarse en la superficie.

En mayor o menor medida, la mayoría de los materiales empleados en la construcción son aislantes, lo que junto con las prácticas usuales de puesta a tierra en las instalaciones eléctricas, hacen que en el interior de viviendas y oficinas, la intensidad de los campos eléctricos sea muy baja.

Asimismo, existe un campo eléctrico natural establecido entre la ionosfera y la superficie terrestre, cuyos valores pueden variar desde los 400 V/m en días de buen tiempo hasta los 20 kV/m en días de tormenta.

## 4.2 Campo Magnético

El campo magnético  $\mathbf{B}$  es también un campo de fuerzas que aplican a cargas eléctricas. A diferencia del campo eléctrico que aparece con la sola presencia de cargas eléctricas, para originarse un campo magnético se requiere el movimiento de al menos alguna carga eléctrica. En tanto campo de fuerzas, se trata de una magnitud vectorial, caracterizada por una intensidad y una dirección, las cuales, en un punto dado del espacio, pueden ser variables con el tiempo.

$$\mathbf{B}(x,y,z,t) = B_x(x,y,z,t) \mathbf{u}_x + B_y(x,y,z,t) \mathbf{u}_y + B_z(x,y,z,t) \mathbf{u}_z$$

siendo  $\mathbf{u}_x$ ,  $\mathbf{u}_y$ ,  $\mathbf{u}_z$ , los vectores unitarios asociados a los ejes x, y, z del sistema cartesiano elegido, y  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  las componentes del vector  $\mathbf{B}$  en ese sistema.

A su vez, una carga eléctrica  $q$  sometida a un campo magnético  $\mathbf{B}$  sólo experimenta una fuerza  $\mathbf{F}$  originada por dicho campo si la carga está en movimiento con velocidad  $\mathbf{v}$ , y la fuerza es proporcional a la intensidad del campo magnético y a la velocidad de la carga (en realidad a la componente de la

velocidad transversal a la dirección del campo magnético), según se expresa por el producto vectorial:

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

El campo magnético aparece típicamente en el entorno de conductores donde circulan corrientes eléctricas, que son entonces las principales fuentes de campos magnéticos. A una distancia dada de un conductor, la intensidad del campo será mayor cuanto mayor sea la intensidad de la corriente en dicho conductor. Si las corrientes varían con el tiempo, como en el caso de corrientes alternas, los campos magnéticos creados también son alternos, de misma frecuencia.

En el caso más sencillo e ideal de distribución de corriente (corriente en un conductor rectilíneo de longitud infinita) se puede demostrar que la intensidad del campo magnético es inversamente proporcional a la distancia al conductor. En las instalaciones reales, donde los circuitos eléctricos presentan una disposición geométrica compleja, aunque no es fácil establecer leyes de variación de la intensidad del campo con la distancia, siempre se tiene una marcada disminución de la intensidad del campo magnético con la distancia a las fuentes del mismo.

La intensidad de un campo magnético puede expresarse a partir de dos magnitudes diferentes: el campo de excitación magnética o campo  $\mathbf{H}$ , que mide la intensidad de la distribución de corrientes que origina el campo, y el campo de densidad de flujo magnético o campo  $\mathbf{B}$ , que mide el campo resultante. En el vacío, en el aire, en los conductores eléctricos usuales, en la mayoría de los aislantes eléctricos así como en muchos otros materiales, incluyendo los tejidos biológicos, dichos campos  $\mathbf{B}$  y  $\mathbf{H}$  son equivalentes, tienen la misma dirección y sus amplitudes son proporcionales, aunque se expresan en distintas unidades. Se tiene la relación:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

Donde  $\mu = \mu_0$  es una constante física denominada permeabilidad magnética del vacío y cuyo valor depende del sistema de unidades adoptado para medir  $\mathbf{B}$  y  $\mathbf{H}$ . En los otros materiales mencionados (aire, conductores, aislantes, etc.) se tiene  $\mu = \mu_0 \mu_r$ , pero con  $\mu_r$  igual o prácticamente igual a 1. La intensidad  $H$  del campo  $\mathbf{H}$  se mide en Ampere/metro (A/m). La intensidad  $B$  del campo  $\mathbf{B}$  se expresa empleando indistintamente dos unidades: el Tesla (T) que es la unidad del Sistema Internacional (SI), o el Gauss (G) que es una unidad anterior al SI, pero todavía muy empleada. La equivalencia entre ambas es  $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$ . Con  $B$  expresado en T y  $H$  en A/m, el valor de  $\mu_0$  es  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ .

En los materiales denominados “magnéticos” (básicamente el hierro y sus aleaciones) la relación entre los campos  $B$  y  $H$  es más compleja. En muchos casos ambos campos también son proporcionales, aunque con una constante de proporcionalidad diferente. Dicha relación se expresa también como  $\mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H}$ , pero donde  $\mu_r$ , que es un parámetro sin dimensiones y característico del material, su permeabilidad magnética relativa, puede tener valores altos: típicamente del orden de varios cientos a varios miles. Pero en general en los materiales magnéticos los vectores  $\mathbf{B}$  y  $\mathbf{H}$  pueden ser no colineales, es decir que el comportamiento frente al campo magnético depende de la dirección del mismo



(anisotropía magnética). Por otra parte la relación entre las intensidades  $B$  y  $H$  puede ser no lineal. En consecuencia la relación más general entre ambos campos es de tipo matricial,  $\mathbf{B} = \mu_0 [\mu] \mathbf{H}$ , donde  $[\mu]$  es una matriz 3x3 que refleja los efectos indicados.

Como parámetro de medida de la intensidad de un campo magnético alterno,  $B$  o  $H$ , se suele tomar el valor eficaz o rms. Esta es la práctica usual cuando se mide el campo en el vacío, en el aire y en los materiales no magnéticos. Para expresar la intensidad de un campo magnético alterno dentro de los materiales magnéticos se suele adoptar su amplitud o valor “cresta” en vez de su valor eficaz. Esto es así debido a que esos materiales en general presentan respuestas no lineales a la intensidad del campo, que dependen de la amplitud del mismo y no de su valor eficaz.

A diferencia de lo que sucede con el campo eléctrico, no existen materiales que cumplan el rol de “aislantes” del campo magnético, ni tampoco procedimientos pasivos de apantallamiento de efectividad comparable, tanto del punto de vista técnico como económico. Por lo tanto, la principal medida práctica de mitigación del campo magnético consiste en incrementar la distancia a las fuentes del mismo.

Las dos unidades de medida de la intensidad del campo  $B$  resultan muy grandes para los campos magnéticos encontrados comúnmente en el entorno de instalaciones eléctricas. En la práctica los valores suelen expresarse en submúltiplos como el miliGauss ( $1 \text{ mG} = 10^{-3} \text{ Gauss}$ ) o el microTesla ( $1 \mu\text{T} = 10^{-6} \text{ T}$ ). La equivalencia entre ambos es  $1 \mu\text{T} = 10 \text{ mG}$ .

Existe un campo magnético natural, continuo, el magnetismo terrestre, creado por la rotación de la Tierra (y de las cargas eléctricas de su interior) que puede variar entre valores en el entorno de 270 mG en el Ecuador y de 670 mG en los Polos.

#### 4.3 Campos Electromagnéticos

Los conductores eléctricos energizados y que transportan corriente así como las antenas, son fuentes a la vez de campos eléctricos al ser el soporte de cargas eléctricas, y de campos magnéticos, al estar dichas cargas en movimiento. Por este motivo, se habla de campo electromagnético (CEM, o EMF en inglés), al estar en presencia simultánea de ambos campos. Por ejemplo, las líneas de transmisión y las de distribución de energía eléctrica, así como las antenas son generadoras de estos campos electromagnéticos: servicios de Radiodifusión de AM, FM, TV, Telefonía Celular, móviles celulares, dispositivos de UHF, VHF, radioaficionados, etc...

A su vez los campos electromagnéticos variables en el tiempo, transportan energía, y son capaces de inducir campos eléctricos, corrientes, y campos magnéticos sobre otros cuerpos y objetos de su entorno.

Son caracterizados por dos parámetros: la amplitud o intensidad y la frecuencia. A veces se usa la longitud de onda  $\lambda$ , que se relaciona con la frecuencia de la siguiente forma:

$$l = \frac{c}{f}$$

siendo c: la velocidad de la luz,  $3 \times 10^8$  m/s.

#### 4.3.1 Campo lejano

A una distancia suficientemente grande de las fuentes del campo electromagnético, los campos **E** y **H** son ortogonales entre sí y también con la dirección de propagación. Entonces el campo electromagnético se puede modelar con buena aproximación como una onda plana en el aire. En ese caso la densidad de energía por unidad de tiempo transportada por el campo, **S**, es decir la potencia transportada por unidad de superficie normal a la dirección de propagación, es igual al producto vectorial de **E** por **H**:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

Esta situación, de campo lejano, es la que normalmente se tiene al analizar la ubicación de personas respecto de las radiobases celulares, antenas de FM y TV de radiodifusión.

#### 4.3.2 Campo cercano

En la proximidad de las fuentes del campo electromagnético no es válida la aproximación de onda plana. En particular para las geometrías complejas asociadas a las estaciones y subestaciones de transmisión y distribución, pueden existir zonas donde virtualmente se tenga sólo campo eléctrico o sólo campo magnético. Esto ocurre en proximidades de las antenas a distancias menores que d:

$$d = \frac{2D^2}{\lambda}$$

siendo

D: la mayor dimensión de la antena

$\lambda$ : la longitud de onda de la señal transmitida por la antena

Esta situación es en la que se encuentran las personas respecto de los teléfonos móviles, la cercanía de líneas de alta tensión o de antenas de radio AM, etc.

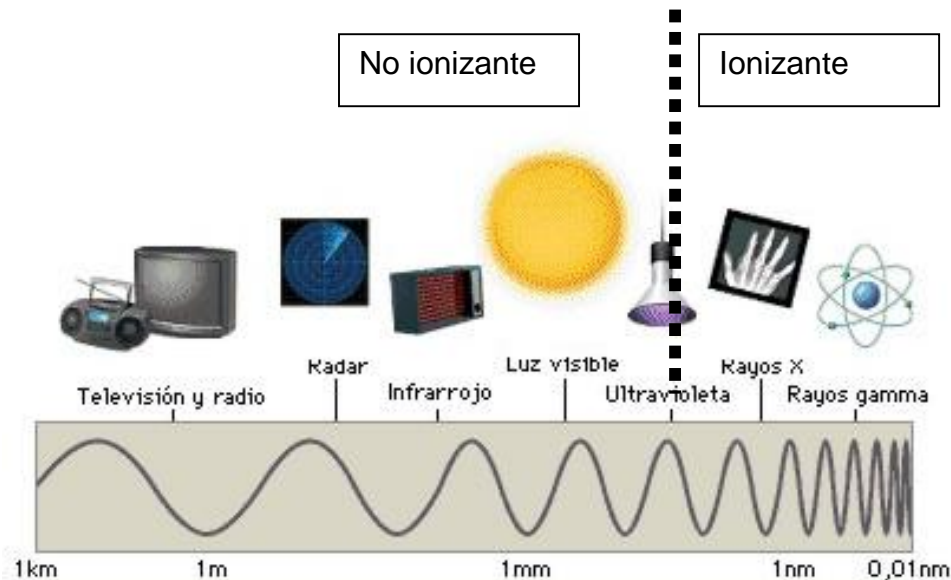
#### 4.3.3 Clasificación de campos electromagnéticos

Los campos electromagnéticos se clasifican de acuerdo a su frecuencia en:

- CEM de baja frecuencia y extremadamente baja o frecuencia industrial (desde 3 hasta 300 Hz), que son los producidos por las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica, redes de telefonía y por la mayoría de los electrodomésticos.
- CEM de frecuencia intermedia (entre 300 Hz y 10 MHz), que son los producidos por pantallas de computadoras, dispositivos antirrobo y sistemas de seguridad y transmisiones de radio AM.
- CEM de alta frecuencia (entre 10 MHz y 300 GHz), que son los producidos por sistemas de radiodifusión, televisión, hornos de microondas, teléfonos

celulares, enlaces de microondas, antenas de radares, en orden creciente de frecuencia.

Para comprender la ubicación de las distintas señales electromagnéticas se recurre al llamado espectro electromagnético, que es un concepto en el cual gráficamente las radiaciones se pueden ver ordenadas por frecuencia:



Este trabajo se refiere solamente a las emisiones no ionizantes, con frecuencias entre los 50 Hz y los 300 GHz correspondientes al infrarrojo.

#### 4.4 Tasa de absorción específica (TAE, o SAR en inglés)

La tasa de absorción específica es la cantidad de energía absorbida por los tejidos por unidad de tiempo y masa. Se mide en W/kg. La TAE (en inglés Specific Absorption Rate SAR), no se puede medir directamente pero se puede establecer que otras magnitudes están relacionadas que producen determinados valores de TAE.

#### 4.5 Restricciones básicas y niveles de referencia

Hay dos clases de guías para establecer límites a exposiciones:

##### 4.5.1 Restricciones básicas

Las restricciones a la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo que están basadas directamente en los efectos en la salud establecidos son llamadas "restricciones básicas". Dependiendo de la frecuencia del campo, las cantidades físicas usadas para especificar estas restricciones son la densidad de corriente (J), la tasa de absorción específica de energía TAE y la densidad de potencia (S), Sólo la densidad de potencia, S en el aire, fuera del cuerpo, puede ser rápidamente medida en individuos expuestos.

#### 4.5.2 Niveles de referencia

Estos niveles son proporcionados para propósitos de evaluar en forma práctica las exposiciones para determinar si es probable que las restricciones básicas sean excedidas. Algunos niveles de referencia son derivados de restricciones básicas relevantes usando técnicas de medición y/o computacionales, y algunas están basadas en percepciones y efectos indirectos adversos por la exposición a los CEM. Las cantidades derivadas son la intensidad de campo eléctrico (E), la intensidad de campo magnético (H), la densidad de flujo magnético (B), la densidad de potencia (S) y las corrientes que fluyen a través de las extremidades ( $I_L$ ). Las cantidades que están dirigidas a la percepción y otros efectos indirectos son las corrientes de contacto ( $I_C$ ) y, para campos pulsantes, la absorción de energía específica (SA). En cualquier situación de exposición particular, los valores medidos o calculados de cualquiera de estas cantidades pueden ser comparados con el nivel de referencia apropiado. Respetar los niveles de referencia asegurará que se respeten las restricciones básicas relevantes. Si los valores medidos o calculados exceden los niveles de referencia, no necesariamente son excedidas las restricciones básicas. Sin embargo, siempre que un nivel de referencia sea excedido, es necesario evaluar el cumplimiento de la restricción básica relevante y determinar si son necesarias medidas de protección adicionales.

## 5 Efectos directos e indirectos de los campos eléctricos y magnéticos. Mecanismos de acoplamiento con el cuerpo

Los campos electromagnéticos variables en el tiempo, influyen en el organismo humano así como en cualquier otro cuerpo o material que contenga cargas eléctricas. Esto es consecuencia de los mecanismos y leyes físicas de inducción electromagnética y de propagación de ondas electromagnéticas. Así se pueden generar campos eléctricos y corrientes inducidas en el cuerpo humano, las que interactúan eventualmente con las cargas eléctricas preexistentes y las micro-corrientes eléctricas debidas a las reacciones químicas de las funciones corporales normales.

Se denominan efectos directos a aquellos que resultan de la interacción directa de los campos electromagnéticos con el cuerpo, producida por alguno de los tres siguientes mecanismos (ICNIRP. 1997):

- La exposición del cuerpo humano a campos eléctricos variables en el tiempo con el cuerpo humano resulta en flujos de cargas eléctricas, es decir corrientes o micro-corrientes eléctricas, en la polarización de la dirección de las cargas y en la reorientación de dipolos eléctricos ya presentes en los tejidos.
- La interacción de los campos magnéticos variables en el tiempo con el cuerpo humano, que genera campos eléctricos inducidos en el mismo, y éstos la circulación de corrientes.

- q Parte de los campos electromagnéticos externos son reflejados o difractados retornados al exterior del cuerpo y otra parte es absorbida y transformada en calor.

Para los campos de baja frecuencia asociados a las instalaciones de transmisión y distribución operadas a frecuencia industrial (50 o 60 Hz) los dos primeros mecanismos de interacción pueden producir efectos biológicos medibles, mientras que según el tercer mecanismo la densidad de energía irradiada es generalmente muy débil y produce una absorción de energía en el cuerpo humano que es insignificante, con un eventual incremento de temperatura superficial que resulta inmedible por su pequeñez.

Este tercer mecanismo se presenta en la frecuencias mayores, desde unos pocos kHz hasta los 300 GHz. Los servicios que se encuentran en esta categoría son , la radiodifusión de AM, FM, Televisión, servicios de telefonía móvil y datos inalámbricos.

Se denominan efectos indirectos a aquellos que no involucran a los mecanismos indicados y que resultan de:

- \* Corrientes de contacto cuando el cuerpo humano entra en contacto físico con un objeto situado a un potencial eléctrico diferente al del cuerpo.
- \* Efectos sobre los dispositivos médicos que pueda eventualmente portar una persona. (No considerados en este documento)

## **6 Efectos biológicos y sobre la salud. Estudios epidemiológicos y de laboratorio**

Los efectos biológicos son respuestas medibles a un estímulo, mientras que un efecto sobre la salud es aquel que ocasiona una disfunción detectable de la salud de la persona expuesta o de la de sus descendientes. (OMS. 2003). En tal sentido es importante destacar que no todos los efectos biológicos son generadores de un efecto perjudicial sobre la salud, es decir nocivos para la salud.

Los estudios científicos se valoran de acuerdo a la Difusión, la Calidad y la Consistencia. La difusión toma en cuenta en qué publicación internacional fue publicado y con qué revisión externa cuenta dicha publicación. La calidad considera el tamaño de la muestra considerada, la independencia geográfica y genética de la población considerada. La consistencia refiere a que esos estudios hayan sido replicados con los mismos resultados por otro grupo de científicos.

Los estudios epidemiológicos buscan determinar la existencia de una asociación estadística entre una o varias causas presumidas y patologías conocidas. En el caso particular de los campos electromagnéticos se ha realizado un gran número de estudios epidemiológicos, a nivel mundial, a los efectos de determinar la posible correlación entre la exposición a campos electromagnéticos y efectos perjudiciales sobre la salud.

Estos estudios se realizan por observación del número de casos (personas que presentan una determinada enfermedad) y del número de controles (personas con características similares a las de los casos y que no tienen la enfermedad). Dentro de cada grupo se determina la relación que estuvo bajo la acción de un determinado agente. Si ambas relaciones son iguales se concluye que no existe asociación, si es mayor la relación de casos que de controles se determina que existe una asociación positiva y por ende un riesgo relativo mayor (riesgo relativo definido como el cociente entre ambas relaciones), y en caso contrario se concluye que la asociación es negativa (riesgo relativo menor que 1). La asociación será más fuerte cuanto mayor sea el riesgo relativo y más débil e insignificante al acercarse al valor 1. Se considera que una asociación es fuerte cuando el riesgo relativo es de 5 o superior.

Estos estudios permiten sugerir una correlación estadística, pero normalmente no permiten determinar la existencia de una relación causa-efecto, dado que los estudios se realizan por observación sin intervenir en el desarrollo de los acontecimientos. Algunas de las limitaciones de estos estudios son la reproducibilidad de los mismos, la influencia de otros agentes la dificultad de tener un registro exacto de la dosis a que fue sometido el grupo bajo cuestión, y por ende están sujetos a la existencia de factores de confusión y sesgos.

Si como resultado de un estudio epidemiológico se sugiere la existencia de una asociación, fundamentalmente si la misma es leve, resulta necesario obtener pruebas que demuestren que el agente bajo estudio es la causa. (J. REPRESA DE LA GUERRA – C. LLANOS LECUMBERRI. 2000)

El objetivo de los estudios de laboratorio es establecer los mecanismos básicos que relacionan la exposición a campos electromagnéticos con efectos biológicos, así como investigar las relaciones dosis respuesta. A través de experimentos es que se pueden controlar y mantener bajo control todas las variables que están influyendo en el resultado, minimizando de esta forma los factores de confusión.

Los efectos biológicos encontrados por Radiaciones no ionizantes se pueden clasificar en térmicos o atérmicos .

Los efectos térmicos son nocivos cuando el calentamiento de los tejidos sobrepasa la capacidad termorreguladora del organismo del individuo expuesto. Se ha encontrado que el aumento de más de 1°C en una persona en reposo es nocivo y esto se corresponde con una TAE de 4W/kg durante 6 minutos.

Las investigaciones de laboratorio sobre modelos celulares y animales, no han demostrado ni efectos teratogénicos ni cancerígenos de la exposición a los niveles atérmicos de CEM de alta frecuencia.

## 7 Organizaciones

La Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), es una organización científica independiente, creada en el Octavo Congreso Internacional de la Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación (IRPA) en Montreal en 1992. Esta comisión está formada por expertos científicos independientes, es una organización sin fines de lucro e independiente de la industria, tanto en su personal como en sus fondos de funcionamiento y trabaja en estrecha colaboración con otras organizaciones y agencias nacionales e internacionales relacionadas con la protección de la salud, como, entre otras: la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), y la Asociación Internacional de Protección contra las Radiaciones (IRPA).

Esta organización sustituyó al Comité Internacional para las Radiaciones No Ionizantes (INIRC), creado por (IRPA), en 1974 como grupo de trabajo y convertido finalmente en Comité en 1977.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) es una agencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) especializada en la investigación del Cáncer.

## 8 Campos electromagnéticos y cáncer

Está comprobado que por encima de determinados umbrales, los campos electromagnéticos pueden desencadenar efectos biológicos. (OMS. 2003).

Los efectos de corto plazo (corrientes inducidas en el cuerpo y en objetos) son efectos conocidos y comprobados. Para ellos, las prácticas de ingeniería normalmente adoptadas y las recomendaciones de los límites científicamente fundamentados (como los de la ICNIRP), son más que suficientes para prevenir eventuales efectos en la salud.

Luego de numerosas investigaciones científicas (en los últimos 30 años se han publicado más de 25.000 artículos), hasta la fecha no hay pruebas que permitan concluir que la exposición a campos electromagnéticos de baja intensidad sea perjudicial para la salud. (OMS. 2003).

Pese a la ausencia de pruebas, la existencia de algunos estudios epidemiológicos que sugieren la existencia de una asociación, genera preocupación en la sociedad.

Cabe destacar que de los estudios epidemiológicos que muestran asociaciones positivas, los mismos presentan resultados que arrojan una débil fuerza de asociación. (J.E. MOULDER. 2002).

## 8.1 Baja Frecuencia

Los datos sobre el riesgo de cáncer asociado a la exposición a campos de extrema baja frecuencia entre los individuos que viven cerca de líneas de electricidad son al parecer consistentes (es decir muestran el mismo incremento de la incidencia del mismo tipo de cáncer) en indicar un riesgo levemente más alto de leucemia infantil.

Estos estudios sugieren que en una población expuesta a campos magnéticos promedios en exceso de 0,3 a 0,4  $\mu\text{T}$ , el doble de niños podría desarrollar leucemia comparada a una población con exposiciones más bajas. La leucemia infantil se presenta anualmente en 4 de cada 100.000 niños.

Los estudios sin embargo no indican un riesgo semejante para otro tipo de cáncer en niños o de cualquier tipo de cáncer en adultos.

La base para la asociación entre la leucemia infantil y el residir cerca de líneas de energía eléctrica es aún desconocida. En ausencia de una base de estudios de laboratorio, los datos epidemiológicos son escasos para permitir que se establezcan recomendaciones para esta exposición.

En relación a la existencia de efectos subjetivos, como ser dolor de cabeza, este tipo de dolencias no han podido ser correlacionadas con la presencia de campos electromagnéticos, dado que sujetos expuestos no pudieron determinar si el campo estaba o no presente, mientras que las dolencias estaban presentes cuando creían que si estaban expuestos aunque no lo estuvieran.

### **Resumen de los efectos biológicos y de los estudios epidemiológicos (hasta 100 kHz)**

Según la ICNIRP [3]:

*Los estudios de laboratorio en sistemas celulares y animales no han encontrado ningún efecto establecido de los campos de baja frecuencia que indiquen efectos adversos en la salud cuando la densidad de corriente inducida está en o debajo de  $10 \text{ mA/m}^2$ . A niveles más altos de densidad de corriente inducida ( $10\text{-}100 \text{ mA/m}^2$ ), más efectos significativos sobre el tejido se han observado consistentemente- por ejemplo cambios funcionales en el sistema nervioso y otros efectos del tejido (Tenforde 1996).*

*Los datos sobre el riesgo de cáncer asociado a la exposición a los campos de frecuencia industrial (50 Hz) llamados ELF (extreme low frequency) entre los individuos que viven cerca de líneas de potencia son al parecer consistentes en indicar un riesgo levemente más alto de leucemia en niños, aunque estudios más recientes cuestionan la débil asociación previamente observada. Los estudios, sin embargo, no indican un riesgo semejantemente elevado de cualquier otro tipo de cáncer en la niñez o de cualquier forma de cáncer en adultos.*

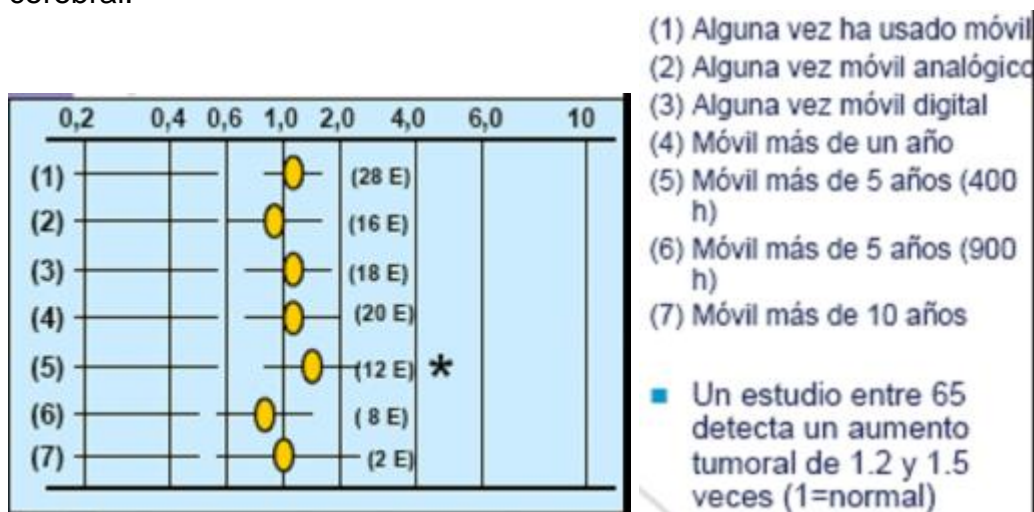
*La medición de respuestas biológicas en estudios de laboratorio y en voluntarios ha proporcionado poca evidencia de efectos nocivos de campos de baja frecuencia en niveles a los cuales las personas están expuestas comúnmente.*



Una densidad corriente del umbral de  $10 \text{ mA/m}^2$  en las frecuencias hasta 1 kHz se ha estimado para efectos de menor importancia sobre funciones del sistema nervioso. Entre voluntarios, los efectos más consistentes de la exposición son la aparición de fenómenos visuales y una reducción del ritmo cardíaco durante o inmediatamente después de la exposición a los campos de ELF, pero no hay evidencia que estos efectos transitorios están asociados a cualquier riesgo de salud a largo plazo.

## 8.2 Alta Frecuencia

A modo de ejemplo presentamos los resultados de un estudio epidemiológico referido al uso de teléfonos móviles o celulares y su incidencia en el cáncer cerebral:



Como se ve, todos los estudios se encuentran por debajo de 1,5, siendo 1 incidencia normal.

Según la ICNIRP [3]:

*Datos sobre las respuestas humanas a los CEM de alta frecuencia que producen un calentamiento detectable se han obtenido de la exposición controlada de voluntarios y de estudios epidemiológicos en trabajadores expuestos a las fuentes tales como radares, equipos médico de diatermia, y selladores de calor. Estos datos soportan completamente las conclusiones del trabajo del laboratorio de que se pueden causar efectos biológicos adversos cuando el incremento de temperatura en el tejido excede  $1^{\circ}\text{C}$ .*

*Aunque hay deficiencias en el trabajo epidemiológico, tal como una pobre evaluación de la exposición, los estudios no han arrojado ninguna evidencia convincente de que los niveles de exposición típicos conducen a resultados reproductivos adversos o a un incremento de riesgo de cáncer en individuos expuestos. Esto es consistente con los resultados de las investigaciones de laboratorio sobre modelos celulares y animales, que no han demostrado ni efectos teratogénicos ni cancerígenos de la exposición a los niveles atérmicos de CEM de alta frecuencia.*

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS. 2003):

- A pesar de los numerosos estudios realizados, la existencia o no de efectos cancerígenos es muy controvertida. En cualquier caso es evidente que si los campos electromagnéticos producen algún efecto de aumento de riesgo de cáncer, el efecto será extremadamente pequeño. Los resultados obtenidos hasta la fecha presentan numerosas contradicciones, pero no se han encontrado incrementos grandes del riesgo de ningún tipo de cáncer, ni en niños ni en adultos. Algunos estudios epidemiológicos sugieren que existen pequeños incrementos de riesgo de leucemia infantil asociados a la exposición de campos electromagnéticos de baja frecuencia en el hogar. Sin embargo, los científicos no han deducido en general de estos resultados la existencia de una relación causa efecto entre la exposición a los campos electromagnéticos y la enfermedad, sino que se ha planteado la presencia en los estudios de efectos artificiosos o no relacionados con la exposición a campos electromagnéticos. Esta conclusión se ha alcanzado, en parte, porque los estudios con animales y de laboratorio no demuestran que existan efectos reproducibles coherentes con la hipótesis de que los campos electromagnéticos causen o fomenten el cáncer.
- Se ha sugerido que mientras la ciencia mejora su conocimiento de las consecuencias sobre la salud, puede ser recomendable aumentar las precauciones para enfrentarse a las incertidumbres que aún existen. Sin embargo, el tipo y magnitud de la política de precaución que se adopte dependerá fundamentalmente de que existan resultados sólidos que indiquen la existencia de un riesgo para la salud y de la escala y naturaleza de las posibles consecuencias. La respuesta de precaución debe ser proporcional al riesgo potencial.

Es importante destacar que existen distintos sistemas de protección al riesgo:

- Umbrales: cuando hay probados efectos en la salud y se conoce la curva dosis- respuesta.
- Optimización: cuando hay probados efectos y no existe un umbral.
- Medidas precautorias: cuando hay sospecha pero no prueba.

El marco de precaución se usa para mitigar preocupaciones sociales, se debe considerar en su adopción la ecuación costo-efectividad de las medidas y no debe poner nunca en duda a los juicios científicos. De este modo las medidas precautorias deben ser complementarias pero no alternativas a las fijadas, ni deben contraponerse a las mismas.

De acuerdo al IEGMP, *“A la luz de las consideraciones anteriores nosotros recomendamos adoptar un enfoque preventivo en el uso de tecnologías de teléfonos móviles hasta que información más detallada y científicamente robusta en cualquier efecto a la salud esté disponible.”*

## 9 Clasificación de IARC

Resulta importante destacar que de acuerdo al método **científico no resulta posible demostrar la inocuidad de ningún agente**. Los criterios de evaluación y clasificación de los agentes son:

- Evidencia suficiente: cuando se ha establecido una relación causa – efecto.
- Evidencia limitada: cuando los datos que indican la correlación son creíbles, pero puede existir otra explicación.
- Evidencia inadecuada: cuando los datos disponibles no permiten establecer una correlación.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), posee una clasificación estándar, la que pesa las evidencias de estudios en seres humanos, en animales y de laboratorio, y otorga en caso que corresponda, una de las tres siguientes categorías posibles (EMF PROJECT. 2001):

1. Cancerígeno para los seres humanos: basada en fuertes evidencias en humanos.
- 2.A. Probable cancerígeno en humanos: basada en fuertes evidencias en animales.
- 2.B. Posible cancerígeno en humanos: basada en evidencias en seres humanos consideradas como creíbles, pero otras explicaciones no pueden ser excluidas.
3. No clasificable
4. Probable no cancerígeno en humanos.

En junio de 2001, un grupo de trabajo de expertos científicos de la IARC revisó estudios relacionados a la carcinogenicidad de los campos eléctricos y magnéticos estáticos y de extrema baja frecuencia.

Usando la clasificación estándar de la IARC, los campos magnéticos de extrema baja frecuencia fueron clasificados como “posiblemente cancerígenos a los seres humanos”, basados en estudios epidemiológicos de leucemia en niños.

La evidencia para el resto de cánceres en niños y adultos, así como otros tipos de exposiciones (campos estáticos y campos eléctricos de extrema baja frecuencia) fueron consideradas no clasificables debido a la insuficiente o inconsistente información científica.

Esta categoría de “posiblemente cancerígeno en humanos” es usada para denotar un agente para el cual hay limitada evidencia en humanos y evidencia menos que suficiente en animales. Dentro de la misma categoría se encuentran, entre otros, el café.

La clasificación en esta categoría no implica que el agente sea la causa de la enfermedad, dado que pueden existir otras explicaciones para la asociación observada, sino la necesidad de realizar un examen riguroso de los estudios realizados y nuevos estudios. (EMF PROJECT. 2001).

## 10 Directrices de ICNIRP – Objetivos y límites

La ICNIRP ha elaborado y publicado el documento RECOMENDACIONES PARA LIMITAR LA EXPOSICION A CAMPOS ELÉCTRICOS, MAGNETICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS ( hasta 300 GHz) (1997), que contiene un resumen de la información disponible sobre el tema, y donde además dicha organización establece un conjunto de directrices sobre la exposición a campos electromagnéticos, las que cuentan con gran difusión y amplia aplicación a nivel internacional.

De acuerdo a lo indicado en ellas, el objetivo es establecer recomendaciones para limitar la exposición a los campos electromagnéticos con el fin de proveer protección contra efectos adversos a la salud conocidos.

Las directrices marcan un determinado umbral por debajo del cual la exposición a campos electromagnéticos se considera segura, según los conocimientos de la ciencia. (OMS. 2003).

Las directrices recomiendan prevenir la exposición a niveles en los que se producen cambios de comportamiento perceptibles. Los límites recomendados por la ICNIRP resultan de aplicar factores de seguridad respecto de esos niveles. Por ejemplo para campos magnéticos se adopta un factor de seguridad 10 para la exposición ocupacional y 50 para la población en general. (OMS. 2003). El mayor factor de seguridad adoptado para la exposición poblacional tiene en cuenta que cubre todas las edades y posibles estados de salud de la población, mientras que para la exposición ocupacional se trata en general de adultos entrenados e informados de los potenciales riesgos y de cómo tomar las precauciones apropiadas.

Queda claramente establecido en estas directrices que la inducción de cáncer proveniente de exposiciones de largo plazo a campos electromagnéticos no fue considerada como un efecto establecido. Y que las recomendaciones están basadas en efectos inmediatos sobre la salud provenientes de exposiciones de corto plazo. (ICNIRP. 1997).

### 10.1 Baja Frecuencia

En el caso de efectos potenciales de largo plazo, la ICNIRP concluye que la información disponible es insuficiente para proporcionar una base para el establecimiento de restricciones a la exposición, aunque la investigación epidemiológica ha proporcionado evidencia sugestiva, pero no convincente, de una posible asociación de efectos carcinogénicos y una exposición a niveles de densidad de flujo magnético de 50/60 Hz sustancialmente más bajos que los recomendados en estas directrices. (ICNIRP. 1997).

De los estudios de laboratorio en sistemas celulares y animales resulta que no se ha encontrado ningún efecto establecido de los campos de baja frecuencia que indiquen efectos adversos en la salud cuando la densidad de corriente inducida es menor a 10 mA/m<sup>2</sup>.

En el rango de frecuencias menores a 1 kHz, la exposición ocupacional se limita a campos que induzcan densidades de corriente menores a  $10 \text{ mA/m}^2$  y para exposición poblacional menores a  $2 \text{ mA/m}^2$ .

A partir de estas restricciones básicas y mediante el uso de modelos matemáticos y extrapolación de las investigaciones de laboratorio, se obtienen los niveles de referencia que se presentan en la siguiente tabla para frecuencias entre 0.025 y 0.8 kHz.

Exposición (f en kHz)	Intensidad de campo eléctrico E en V/m	Intensidad de campo magnético H en A/m	Densidad de flujo magnético B en mT
Ocupacional	500 / frecuencia	20 / frecuencia	25 / frecuencia
Poblacional	250 / frecuencia	4 / frecuencia	5 / frecuencia

El nivel de referencia de campo eléctrico para exposición ocupacional, de  $10 \text{ kV/m}$  para  $50 \text{ Hz}$ , incluye un margen de seguridad para prevenir los efectos de estimulación de las corrientes inducidas.

Los niveles de referencia de campo eléctrico para público en general (exposición poblacional) son la mitad de los valores establecidos para exposición ocupacional, para prevenir efectos adversos indirectos para más del 90% de los individuos expuestos.

Los niveles de referencia de campo magnético para  $50 \text{ Hz}$  son de  $500 \text{ } \mu\text{T}$  ( $5000 \text{ mG}$ ) para exposición ocupacional y de  $100 \text{ } \mu\text{T}$  ( $1000 \text{ mG}$ ) para exposición poblacional.

La tabla 2 describe los efectos y los niveles a los cuales ocurren para campos de baja frecuencia.

**Tabla 2**  
**Rangos de corriente umbral para efectos indirectos, incluyendo niños, mujeres y hombres**

Efecto Indirecto	Umbral de corriente (mA) a una frecuencia dada		
	50/60 Hz	1 kHz	100 kHz
Percepción al tocar	0,2- 0,4	04- 0,8	25- 40
Dolor en el dedo que hace contacto	0,9- 1, 8	1,6- 3,3	33-55
Descarga dolorosa/ umbral let-go [translation?]	8-16	12-24	112- 224
Descarga severa/ dificultad para respirar	12- 23	21- 41	160- 320

## 10.2 Alta frecuencia

La evidencia experimental disponible indica que la exposición de los seres humanos en reposo por aproximadamente 30 minutos a campos electromagnéticos produciendo un SAR en todo el cuerpo de entre 1 y 4 W/kg resulta en un aumento de la temperatura del cuerpo de menos que 1°C. Este aumento es controlado por el aparato termorregulador del organismo por lo cual no se conocen efectos adversos a la salud.

Los efectos biológicos y de salud establecidos en la gama de frecuencia a partir de 10 MHz a algún GHz son consistentes con respuestas a una subida de la temperatura del cuerpo más que 1°C. Este nivel de aumento de la temperatura resulta de la exposición de individuos bajo condiciones ambientales moderadas a un SAR en todo el cuerpo de aproximadamente 4 W/kg por cerca de 30 minutos. Un promedio de todo el cuerpo de un SAR de 0.4 W/kg por lo tanto se ha elegido como la restricción que proporciona la protección adecuada para la exposición ocupacional. Un factor de seguridad adicional de 5 se introduce para la exposición del público, dando un límite de cuerpo entero medio del SAR de 0.08 W/kg. Esto resulta en una densidad de potencia por superficie de 10 W/m<sup>2</sup>.

Como ejemplo se puede decir que a 7 m de una antena de celular se recibe como máximo 0.6 W/m<sup>2</sup> y en promedio 0.06 W/m<sup>2</sup>, en la dirección perpendicular al plano frontal de la antena.

Evaluando integralmente, los estudios reproductivos y de exposición a microondas son pocos y generalmente sufren de una pobre evaluación de la exposición y, en muchos casos, de un pequeño número de sujetos. A pesar de los resultados generalmente negativos de estos estudios, será difícil emitir conclusiones firmes sobre el riesgo en la reproducción sin tener otros datos epidemiológicos sobre individuos altamente expuestos y una evaluación más exacta de exposición.

En las frecuencias de 10 a 300 GHz se presenta la Tabla 5 como valores límite sugeridos.

**Tabla 5 Restricciones Básicas para densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz**

Tipo de Exposición	Densidad de Potencia ( $Wm^{-2}$ )
Exposición Ocupacional	50
Exposición a Público en General	10

La tabla 7 es la que muestra los niveles de referencia de la ICNIRP para la población en general para todas las frecuencias de 1Hz a 300 GHz.

**Tabla 7. Niveles de referencia para exposición poblacional a campos eléctricos y magnéticos (valores rms no perturbados)**

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico ( $Vm^{-1}$ )	Intensidad de Campo Magnético ( $Am^{-1}$ )	Densidad de Flujo Magnético ( $\mu T$ )	Densidad de Potencia ( $Wm^{-2}$ )
Hasta 1 Hz	–	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	–
1 – 8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	–
8 – 25 Hz	10 000	$4000 / f$	$5000 / f$	–
0,025 – 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	–
0,8 – 3 kHz	$250 / f$	5	6,25	–
3 – 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15– 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	–
1 – 10 MHz	$87 / f^{0,5}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	–
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{0,5}$	$0,0037 f^{0,5}$	$0,0046 f^{0,5}$	$f / 200$
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

La posición de la Organización Mundial de la Salud (CIER. 2004) es que los distintos países adopten las recomendaciones de la ICNIRP, dado que las mismas se basan en la mejor información disponible, así como son emitidas por un organismo independiente.

Las razones por las cuales se plantea como necesaria y adecuada la armonización de las normativas de los distintos países son:

- Razones científicas: los datos de base son los mismos.
- Razones éticas: los ciudadanos de los distintos países son iguales.
- Razones de claridad: no generar confusión en la población.

## 11 Resumen y síntesis

Los campos electromagnéticos y sus posibles efectos sobre la salud humana constituyen un tema de creciente preocupación en la sociedad, y que involucra directamente a las empresas de energía eléctrica y de telecomunicaciones, a las universidades, los entes reguladores, municipalidades, etc, vistas las primeras como los principales agentes de producción de estos campos, y los otros como responsables de determinar la normativa que los operadores deben cumplir.

Se trata de una temática compleja, donde el conocimiento científico no ha dicho aún la última palabra, pero donde existe ya un cúmulo importante de información elaborada por organizaciones científicas internacionales de primer nivel (OMS, ICNIRP, IARC), que ha resultado en gran número de publicaciones donde se establecen y fundamentan criterios, recomendaciones y directrices.

Es entonces de máxima relevancia que las Instituciones involucradas manejen la información científica disponible tomando como referencia a dichas organizaciones internacionales y sus recomendaciones. En ese sentido, y a modo de síntesis del presente documento, se entiende pertinente reiterar algunos de los conceptos del mismo.

La posición de la Organización Mundial de la Salud (CIER. 2004) es que los distintos países adopten las recomendaciones de la ICNIRP, dado que las mismas se basan en la mejor información disponible, así como son emitidas por un organismo independiente. Los valores de los límites están presentados en la Tabla 7.

En el caso de **efectos potenciales de largo plazo**, la **ICNIRP** concluye que la información disponible es **insuficiente** para proporcionar una base para el establecimiento de restricciones a la exposición, aunque la investigación epidemiológica ha proporcionado **evidencia sugestiva, pero no convincente**, de una posible asociación de efectos carcinogénicos y una exposición a niveles de densidad de flujo magnético de 50/60 Hz sustancialmente más bajos que los recomendados en estas directrices. (ICNIRP. 1997).

Para la aplicación de medidas precautorias, que corresponden cuando hay sospecha pero no prueba, y cuyo efecto es principalmente atender preocupaciones sociales, se debe considerar la ecuación costo –beneficio de las medidas y no se debe poner nunca en duda a los juicios científicos.



## 12 Anexo I: Magnitudes y unidades

Magnitud	Símbolo	Unidad (SI)
Conductividad	$\sigma$	Ohm <sup>-1</sup> por metro ( $\Omega^{-1} \text{m}^{-1}$ )
Corriente	I	Ampere (A)
Densidad de corriente	<b>J</b>	Ampere por metro cuadrado ( $\text{A m}^{-2}$ )
Energía	W	Joule (J)
Frecuencia	f	Hertz (Hz)
Campo Eléctrico	<b>E</b>	Volt por metro ( $\text{V m}^{-1}$ )
Campo de Excitación Magnética	<b>H</b>	Ampere por metro ( $\text{A m}^{-1}$ )
Campo de Densidad de Flujo Magnético	<b>B</b>	Tesla (T)
Permeabilidad magnética del vacío	$\mu_0$	Henry por metro ( $\text{H m}^{-1}$ )
Permeabilidad magnética relativa	$\mu_r$	adimensionado
Permitividad del vacío	$\epsilon_0$	Faradios por metro ( $\text{F m}^{-1}$ )
Densidad de potencia	<b>S</b>	Watt por metro cuadrado ( $\text{W m}^{-2}$ )

## 13 Anexo II: Recomendaciones del IEGMP

A continuación se presenta la traducción de unos párrafos del Capítulo 6 del IEGMP, que fue un trabajo realizado para el Ministerio de Salud del Reino Unido.

El balance de la evidencia hasta la fecha sugiere que las exposiciones a la radiación de RF debajo de los valores de la NRPB y de la ICNIRP no causan efectos adversos a la salud de la población en general (párrafos 5.267-5.269). Ahora hay evidencia científica, sin embargo, que sugiere que pueda haber efectos biológicos que ocurren en las exposiciones debajo de estas pautas. Esto no significa necesariamente que estos efectos conducen a una enfermedad (párrafo 5.266). Concluimos por lo tanto que no es posible actualmente decir que la exposición a la radiación de RF, aún a niveles debajo de los valores establecidos, no tiene efectos adversos a la salud potenciales, y que la falta de conocimiento es suficiente para justificar el tomar precauciones.

Por sí sola, la adopción de las pautas de la exposición de la ICNIRP no permitirá llenar completamente el vacío actual de conocimiento científico, y particularmente la posibilidad, hasta ahora, de efectos nocivos térmicos o no-térmicos desconocidos a exposición a niveles más bajos. Una forma en la cual esta incertidumbre podría considerarse sería aplicar un factor más alto del margen en la derivación de los valores de exposición. Esto tendría el mérito de la simplicidad. Sin embargo, no hay hasta ahora base científica satisfactoria sobre la cual fijar el valor de cualquier aumento.

Recomendamos que una base de datos Nacional sea instalada por el Gobierno con los detalles de todas las radiobases y de sus emisiones. Para esto se debe enumerar: el nombre de la compañía operadora; la grilla de referencia; la altura de la antena sobre el nivel del suelo; la fecha en que la transmisión comenzó; el rango de frecuencias y las características de la transmisión; la potencia del transmisor y la salida de potencia máxima. Por otra parte, esta información debe ser fácilmente accesible por el público, y realizado en tal forma que sea fácil identificar, por ejemplo, todas las radiobases dentro de un área geográfica definida, y todas las que pertenecen a un operador especificado.

Recomendamos el establecimiento de las zonas físicas de exclusión claramente definidas alrededor de las antenas de la radiobase, que marcan las áreas dentro de las cuales los valores de la exposición pueden ser excedidos. La incorporación de las zonas de exclusión debe ser parte de la plantilla de los protocolos del planeamiento que abogamos (párrafos 6.54, 6.58 y 6.59). Recomendamos que una auditoría independiente, al azar, de todas las radiobases en funcionamiento sea realizada para asegurarse de que los valores de la exposición no son excedidos fuera de la zona marcada de exclusión y de que las radiobases cumplen con sus especificaciones convenidas. Recomendamos que todas las radiobases, incluyendo las de mástiles menores de 15 m, permitidas generando derechos deberían ser revocadas, y que la localización de todas las nuevas radiobases debe estar conforme al proceso normal del planeamiento.

Recomendamos desarrollar, a nivel del Gobierno Nacional, una plantilla de protocolos, de acuerdo con la industria y los consumidores, que se pueda utilizar para informar el proceso de planeamiento y cuál se debe seguir asidua y abiertamente antes de que el permiso se dé para la localización de una radiobase. Recomendamos, en lo referente a las radiobases de macroceldas localizadas dentro del predio de escuelas, que el rayo de intensidad mayor de RF no debe caer en cualquier parte del predio o de los edificios de la escuela sin el acuerdo de las autoridades de la escuela y de los padres de los alumnos. Las mismas consideraciones deben aplicarse a las radiobases de macroceldas localizadas cerca de los predios de las escuelas.

Recomendamos que un estándar internacional para la medida de los valores del SAR de los teléfonos móviles se debe adoptar para el uso en el Reino Unido una vez que se haya demostrado que sea científicamente válido (párrafos 6.74-6.79). Recomendamos que la información sobre los valores del SAR para los teléfonos móviles debe ser fácilmente accesible a los consumidores (párrafo 6.77); en el punto de venta con la información sobre la caja, en los prospectos disponibles en los almacenes que dan la información comparativa sobre diversos teléfonos y con la información explicativa, como opción del menú en la pantalla del teléfono y como etiqueta en el teléfono y en un sitio Web nacional, que enumera los valores del SAR de diversos tipos del teléfono.

En línea con nuestro enfoque preventivo, en este tiempo, creemos que el uso extensivo de teléfonos móviles de los niños para las llamadas no esenciales debe ser desalentado. También recomendamos que la industria del teléfono móvil debe moderarse en promover el uso de teléfonos móviles de los niños (párrafos 6.89 y 6.90). Hemos examinado el valor de los acuerdos para compartir mástiles y de roaming. Éstos pueden ofrecer ventajas en términos de proporcionar un servicio mejor en áreas rurales y de limitar la contaminación ambiental. Recomendamos que los operadores persigan activamente una política de compartir los sitios y de roaming cuando sea practicable (párrafos 6.69 y 6.70).

Entendemos que las autoridades de la salud deben hacer una guía sobre el uso de teléfonos móviles. Recomendamos que las recomendaciones deben asegurarse de que se cumplan en todos los hospitales. Esta guía debe incluir la colocación de las señales de peligro visibles en las entradas a los edificios para indicar que los teléfonos móviles se deben apagar. Concluimos que los efectos perjudiciales de la operación manos libres son suficientemente grandes para que los conductores de automóviles deban ser disuadidos a no usar los teléfonos con o sin manos libres durante el movimiento.

Nos preocupa la variabilidad y lo limitado de la información puesta a disposición de los consumidores en productos de teléfonos móviles. Recomendamos que el Gobierno circule un prospecto a cada casa en el Reino Unido que proporcione la información claramente comprensible de la tecnología del teléfono móvil y en aspectos relacionados de la salud, incluyendo el uso de teléfonos móviles mientras conducen (párrafos 5.201-5.208). Este prospecto debe además estar disponible en los puntos de venta. El prospecto se debe desarrollar en acuerdo con la industria, que ha producido ya algunos buenos prospectos (párrafos 3.48 y 3.49)

## 14 Bibliografía

1. CIER. 2004. Los campos electromagnéticos y la salud. Seminario Internacional. Asunción. Paraguay.
2. EMF PROJECT. 2001. Hoja Informativa N° 263.
3. ICNIRP. 1997. International Commission On Non Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).
4. J.E. MOULDER. 2002. Campos electromagnéticos y salud humana. Medical College of Wisconsin.
5. J. REPRESA DE LA GUERRA – C. LLANOS LECUMBERRI. 2000. Cinco años de investigación sobre los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en los seres vivos. Universidad de Valladolid. Consejo Superior de Investigaciones. UNESA. Red Eléctrica de España.
6. OMS. 2003. What is EMF?
7. R. WELTI. 1999. La interacción de campos electromagnéticos de EBF con sistemas biológicos. CIER. Segundas Jornadas De Trabajos Con Tensión.
8. Main Conclusions on the Possible Effects of Mobile Phone Technology on Human Health Report of the IEGMP, abril del 2000.