

**ESTADO ACTUAL DE LAS ANTENAS FIJAS DE TELEFONÍA MÓVIL FRENTE A
LAS NORMAS DE SEGURIDAD DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES EN
SANTIAGO DE CALI**

**DIANA MARCELA ESPINOSA URBANO
DANIEL FELIPE REVEIZ BONILLA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2009**

**ESTADO ACTUAL DE LAS ANTENAS FIJAS DE TELEFONÍA MÓVIL FRENTE A
LAS NORMAS DE SEGURIDAD DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES EN
SANTIAGO DE CALI**

**DIANA MARCELA ESPINOSA URBANO
DANIEL FELIPE REVEIZ BONILLA**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Industrial**

**Director
JOSÉ JARVEY JARAMILLO
Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2009**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos, por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Industrial.

Ing. JOSÉ JARVEY JARAMILLO
Director

Ing. WALTER GUIRAL
Jurado

Ing. GIOVANNY ARIAS
Jurado

Santiago de Cali, Junio de 2009

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al profesor José Harvey Jaramillo por su constante apoyo y por sus invaluable consejos para seguir el camino correcto en la realización del trabajo, al ingeniero Guillermo Aponte de la Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ciudad Universitaria Meléndez, Calle 13 No. 100-00. Cali – Colombia por su breve y muy conveniente introducción a mediciones del campo electromagnético producido por instalaciones de telecomunicaciones y por la bibliografía facilitada, también quiero agradecer a la Universidad Autónoma de Occidente por la bibliografía prestada; a nuestros padres que nos apoyaron durante toda la carrera y siempre estuvieron con nosotros.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	19
INTRODUCCIÓN	20
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. JUSTIFICACIONES	22
3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	24
3.1 CAMPO ELÉCTRICO	24
3.1.1 Carga Eléctrica	24
3.1.2 Distribuciones de carga	24
3.1.2.1 Distribuciones de carga puntuales	25
3.1.2.2 Distribuciones continuas de carga	25
3.1.3 Ley de Coulomb	25
3.1.4 Campo Eléctrico	26
3.2 CAMPOS MAGNÉTICOS	28
3.3 LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	30
3.3.1 Fuentes naturales	32
3.3.2 Fuentes artificiales	32

3.4 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	34
3.5 TELEFONÍA MÓVIL CELULAR	35
3.5.1 Funcionamiento	36
3.5.2 Tecnologías. Las generaciones de la telefonía inalámbrica	38
3.5.3 Estaciones base	40
3.5.4 Densidad de potencia (S)	43
4. POSIBLES EFECTOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	44
4.1 ANTECEDENTES	44
4.1.1 Efectos biológicos y efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos	45
4.1.2 Evidencia sobre efectos biológicos de los campos electromagnéticos	47
4.2 NORMATIVA SOBRE EXPOSICIÓN A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	54
4.2.1 Normativa nacional	54
4.2.2 Normativa internacional. ICNIRP	71
5. MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	113
5.1 TIPOS DE MEDICIÓN	113
5.2 EQUIPO DE MEDICIÓN	114
5.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN	116
5.3.1 Medición de emisión	120
5.3.2 Medición de inmisión	120
5.3.3 Mediciones de las estaciones bases	122
5.4 SITIOS DE MEDICIÓN	123

6. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES (DENSIDAD DE POTENCIA ($S=E^2/Za$))	125
7. CONCLUSIONES	129
8. RECOMENDACIONES	130
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS	137

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Descripción del espectro, indicando los servicios que pertenecen a cada banda de frecuencias	34
Cuadro 2. Costo de instalación de una estación base	43
Cuadro 3. Principales áreas relacionadas con la salud humana	44
Cuadro 4. Estudios epidemiológicos sobre telefonía celular y cáncer (caso-control)	44
Cuadro 5. Cantidades eléctricas, magnéticas electromagnéticas y dosimétricas y las unidades SI correspondientes	75
Cuadro 6. Rangos de corriente umbral para efectos indirectos, incluyendo niños, mujeres y hombres	90
Cuadro 7. Rangos de corrientes umbral para efectos indirectos, incluyendo niños, mujeres y hombres	99
Cuadro 8. Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10GHz	103
Cuadro 9. Restricciones Básicas para densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz.	104
Cuadro 10. Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos (valores rms no perturbados)	105
Cuadro 11. Niveles de referencia para exposición poblacional a campos eléctricos y magnéticos (valores rms no perturbados)	106
Cuadro 12. Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10GHz	108
Cuadro 13. Restricciones Básicas para densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz	108
Cuadro 14. Significado diagrama de flujo	117

Cuadro 15. Descripción de los sitios de medición	122
Cuadro 16. Sitios de medición en la ciudad de Santiago de Cali	123
Cuadro 17. Resultados de las mediciones (densidad de potencia ($S = E^2 / Z_a$))	125

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ley de Coulomb	26
Figura 2. Campo eléctrico	27
Figura 3. Propagación de ondas electromagnéticas	31
Figura 4. Propagación de ondas en comunicaciones	31
Figura 5. Espectro electromagnético.	35
Figura 6. Uso de los sistemas de telefonía celular en el mundo.	40
Figura 7. Torre y antena de las estaciones base	41
Figura 8. Direcciones del flujo de energía electromagnética para una antena dipolo.	43
Figura 9. Variación típica de la exposición de acuerdo a la distancia	48
Figura 10. Efecto de un teléfono móvil sobre el flujo sanguíneo cerebral determinado con tomografía de emisión de positrones	52
Figura 11. Distribución de la tasa específica de absorción (SAR) en la superficie del cuerpo de un varón de 80 kg sentado, visto de arriba, durante los experimentos de exposición simulada a una estación de base (antena) de telefonía móvil. Se indica la dirección de propagación de las ondas (k), del campo eléctrico (E) y del campo magnético (H). Cero dB corresponde a una SAR de 0.05 W/kg para $E=1$ V/m.	53
Figura 12. Medición Tipo Uno	113
Figura 13. Medición Tipo Dos	114
Figura 14. HI-2200 RF Survey Meter	115
Figura 15. HI-2200 RF Survey Meter	116
Figura 16. Perfil típico del campo emitido por una estación base de telefonía celular	117

Figura 17. Simbología del proceso	119
Figura 18. Perfiles de medición	121
Figura 19. Mapa Santiago de Cali con los sitios de medición	124
Figura 20. Ponencia de transmisión de una antena de estación base de telefonía móvil	129

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Niveles de Referencia ICNIRP para exposición a campos eléctricos variables en el tiempo	107
Gráfico 2. Niveles de Referencia ICNIRP para exposición a campos magnéticos variables en el tiempo	109

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Formato Encuesta	137

GLOSARIO

ABSORCIÓN: propagación de ondas, atenuación de una onda debido a la disipación de su energía. Por Ej. Conversión de su energía en otra forma, tal como el calor.

AGENCIA INTERNACIONAL PARA LA INVESTIGACIÓN DEL CÁNCER (IARC): es una agencia especializada de la Organización Mundial de la Salud. Su misión es coordinar y conducir investigación sobre las causas del cáncer humano, los mecanismos de carcinogénesis y el desarrollo de estrategias científicas para el control del cáncer.

AGUDA: consecuencias crónicas e inmediatas.

ASOCIACIÓN: en epidemiología, una conexión establecida con base a los cálculos estadísticos en el sentido que, en individuos que exhiben ciertos datos clínicos, ciertos factores ambientales aparece más frecuentemente que en individuos que no tienen dichos datos clínicos. La existencia de una asociación no constituye prueba o causal de enlace, pero puede implicar un aviso de la necesidad de investigación adicional.

CAMPO (FÍSICA): región en la que se ejerce sobre un objeto una fuerza gravitatoria, magnética, electrostática o de otro tipo. Se supone que estas regiones están recorridas por líneas de fuerza imaginarias, muy juntas donde el campo es más intenso y más espaciado donde es más débil.

CAMPO ELÉCTRICO: la región del espacio situada en las proximidades de un cuerpo cargado posee unas propiedades especiales. Si se coloca en cualquier punto de dicha región una carga eléctrica de prueba, se observa que se encuentra sometida a la acción de una fuerza.

CAMPO MAGNÉTICO: región del espacio donde se ponen de manifiesto los fenómenos magnéticos. Espacio situado en las proximidades de un imán o de una carga eléctrica en movimiento posee unas propiedades especiales.

CARCINOGENÉTICO: sustancia que causa cáncer.

COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN NO IONIZANTE (ICNIRP): es una organización científica internacional independiente cuyos objetivos son proporcionar recomendaciones y consejos sobre los peligros a la salud provenientes de la exposición a las radiaciones no-ionizantes. Tiene relaciones formales con la Organización Mundial de la Salud, la Organización Internacional del Trabajo y la Comisión de Comunidades Europeas.

CORRIENTE ELÉCTRICA: magnitud física que expresa la cantidad de electricidad que fluye por un conductor en la unidad de tiempo. Su unidad en el Sistema Internacional es el amperio.

DOSIMETRÍA: técnica para determinar la cantidad de energía electromagnética absorbida en el cuerpo o sus tejidos.

EFECTO A CORTO PLAZO: efecto biológico que se manifiesta durante o en un tiempo inmediatamente después de la exposición.

EFECTO: cambio en el estado o dinámica de un sistema causado por la acción de un agente.

EFECTOS TÉRMICOS: efectos biológicos causados por el incremento de calor.

EMISIÓN: generalmente las emisiones son sustancias descargadas en el aire; las emisiones son ondas electromagnéticas radiadas por una fuente (ej. línea eléctrica o antena).

EMISIÓN: La radiación producida por una única fuente de radiofrecuencia.

ENERGÍA: capacidad de un sistema físico para realizar trabajo. La materia posee energía como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella. La radiación electromagnética posee energía que depende de su frecuencia y, por tanto, de su longitud de onda.

ENFOQUE DE PRECAUCIÓN: los enfoques precautorios son usados para la gestión de los riesgos a la salud frente a la incertidumbre científica, riesgos potenciales altos y controversia pública. Muchas políticas diferentes promoviendo la precaución han sido desarrolladas para dirigirse a las preocupaciones sobre temas de exposición pública y ocupacional y salud ambiental.

EPIDEMIOLOGÍA: estudio de la enfermedad y salud en poblaciones humanas y de los factores los influyen.

ESPECTRO: serie de colores semejante a un arco iris —por este orden: violeta, azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo— que se produce al dividir una luz compuesta como la luz blanca en sus colores constituyentes.

ESTACIÓN BASE: (telefonía móvil) Una estación base consiste de la antena emisora de radiación electromagnética en el rango de radiofrecuencias, la estructura de soporte, el rack de equipos y la estructura del cable.

ESTACIÓN BASE: (telefonía móvil) Una estación base consiste de la antena (s) emisora de radiación electromagnética en el rango de radiofrecuencias, la

estructura de soporte, el gabinete de equipos y la estructura del cable.

EVALUACIÓN DE RIESGO: un proceso formal usado para describir y estimar la probabilidad de resultados adversos a la salud proveniente de exposiciones ambientales a un agente. Los cuatro pasos son la identificación del peligro, la evaluación de la relación dosis- respuesta, la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo.

EVALUACIÓN DEL VALOR PÚBLICO: entendimiento de cómo la comunidad valoriza algo.

EVITAMIENTO PRUDENTE: medidas de precaución que pueden ser tomadas para reducir la exposición del público a pequeño o modesto costo, donde prudente se refiere a los gastos.

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL: toda exposición a CEM experimentada por individuos en el curso de la realización de sus trabajos.

EXPOSICIÓN PÚBLICA: toda exposición a CEM experimentada por los miembros del público en general, excluyendo la exposición ocupacional y la caracterizada por el nivel y la duración de la exposición durante procedimientos médicos.

EXPOSICIÓN: concentración, cantidad o intensidad de un agente particular que alcanza un sistema dado.

FRECUENCIA: Número de ondas completas o ciclos por segundo que pasan por un determinado punto. La unidad es el Hertz (1 Hz = 1 ciclo por segundo).

FRECUENCIAS EXTREMADAMENTE BAJAS (ELF): frecuencias entre cero y 300 Hz. Que no causa daños en humanos ni plantas.

INMISIÓN: es la radiación resultante del aporte de varias fuentes de radiofrecuencia.

INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO(E): es la magnitud del vector campo eléctrico expresado en unidades de volts por metro (V/m).

INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO (H): es la magnitud del vector campo magnético expresado en unidades de ampers por metro (A/m).

INTENSIDAD: magnitud física que expresa la cantidad de electricidad que atraviesa un conductor en la unidad de tiempo. Su unidad en el Sistema Internacional es el amperio.

LIMITE DE EXPOSICIÓN: valores de parámetros específicos relaciona con la intensidad del campo electromagnético al cual la gente puede estar máximamente expuesta. Una diferencia es hecha entre restricciones y niveles de referencia.

LONGITUD DE ONDA: distancia entre dos puntos consecutivos de una onda que tienen el mismo estado de vibración.

MÁXIMA EXPOSICIÓN PERMITIDA (MEP): valor eficaz o pico de campo eléctrico, magnético o de densidad de potencia equivalente a onda plana, a los que las personas pueden estar expuestos sin efectos perjudiciales y con un aceptable factor de seguridad.

ONDA (ELECTROMAGNÉTICA): forma de propagarse a través del espacio los campos eléctricos y magnéticos producidos por las cargas eléctricas en movimiento. Para las ondas comprendidas entre diferentes intervalos de frecuencia se emplean denominaciones especiales, como ondas radioeléctricas, microondas, ondas luminosas, rayos x, rayos gamma, etc.

PELIGRO: una fuente de posible daño o lesión.

POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EQUIVALENTE (PIRE): es el producto de la potencia suministrada a una antena por la ganancia de antena, en una dada dirección, relativa al radiador isotrópico.

POTENCIA RADIADA APARENTE (PRA): es el producto de la potencia suministrada a la antena por la ganancia de antena, en una dada dirección, relativa a un dipolo de media onda.

RADIACIÓN IONIZANTE: flujo de partículas o fotones con suficiente energía para producir ionizaciones al atravesar una sustancia.

RADIACIÓN: proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio.

RADIACIONES NO IONIZANTES: se trata de ondas electromagnéticas de menor frecuencia que las ionizantes, que no tienen la suficiente energía como para romper los enlaces atómicos.

RADIOASTRONOMÍA: estudio de la radiación emitida por los cuerpos celestes en el espectro de las radiofrecuencias.

RESTRICCIÓN BÁSICA: límites basados en la salud que se relacionan aciertos fenómenos electromagnéticos, que relacionan cierto fenómeno electromagnético que si se excede puede conducir a un deterioro de la salud, en el cuerpo humano. Para los campos estáticos estos límites son las intensidades de campo eléctrico y

magnético, para los campos alternos hasta los 10 MHz, son las corrientes inducidas en el cuerpo, para los campos alternos de frecuencias mayores a 100 kHz, estos límites son la conversión en calor que tiene lugar en el cuerpo. Entre 100 kHz y 10 MHz haya que tomaren cuenta tanto la inducción de corrientes como la generación de calor.

SALUD: un estado de completo bienestar físico, mental y social y no meramente la ausencia de enfermedad.

TELEFONÍA MÓVIL: un medio de telecomunicación donde al menos uno de los usuarios tiene un teléfono móvil para comunicarse vía una estación base con un usuario estacionario o móvil

RESUMEN

En este trabajo se desarrolló una metodología de medición del campo electromagnético producido por instalaciones de telecomunicaciones y se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de 70 antenas en la ciudad de Santiago de Cali-Colombia. Sin embargo, este crecimiento ha generado una preocupación a nivel mundial y pública que crece paralela al crecimiento de las redes móviles, sobre los efectos a la salud que causa el uso de los teléfonos móviles y las estaciones bases presentes, en el ámbito urbano, y cada vez más cercanas a nuestros hogares.

Esta percepción de la radiación electromagnética y sus efectos en la salud motiva la investigación y la regulación que influirán en el desarrollo de servicios tan importantes que formarán la base tecnológica de la nueva sociedad de la información.

La evaluación de los sitios se realizó con el propósito de conocer y cuantificar los niveles de campos electromagnéticos existentes en el medio ambiente de la ciudad.

Metodología:

- Estudio previo.
- Preparación de los materiales de recolección de datos.
- Equipo de trabajo necesario: HI-2200.
- Recolección de datos primarios.
- Elaboración del informe del trabajo de campo.
- Elaboración de las conclusiones y recomendaciones.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la telefonía móvil es algo normal en todo el mundo. Esta tecnología inalámbrica se basa en una amplia red de antenas fijas o estaciones base que transmite información mediante señales de radiofrecuencia (RF). Hay más de 1,4 millones de estaciones base en todo el mundo¹, y la cifra está aumentando de forma considerable con la aparición de las tecnologías de tercera generación².

Sin embargo, con la aparición de las tecnologías de tercera generación se han expresado preocupaciones, con respecto a los posibles riesgos para la salud asociados a su uso. La proliferación de estas estaciones base en el ámbito urbano han despertado gran preocupación en la sociedad por los posibles riesgos adversos para la salud debidos a los campos electromagnéticos de alta frecuencia generados por los sistemas de telefonía celular, siendo este es un tema de actualidad sobre el cual se han creado especulaciones.

Sobre este tema se encendió una luz de alerta a la que acuden presurosos tanto los organismos gubernamentales como las propietarias de las instalaciones, las organizaciones de vecinos, ecologistas, etc., con un gran interés de hacer claridad sobre los riesgos, niveles permitidos, procedimientos de evaluación³ y verificación de las emisiones electromagnéticas⁴. La Universidad Autónoma, desarrolló un proyecto para conocer los valores máximos de los campos electromagnéticos de alta frecuencia a los cuales están diariamente expuestos las personas en la ciudad y verificar si estos valores pueden o no considerarse como aceptables.

En este documento se presenta el informe final de la investigación que se realizó para la Universidad Autónoma de Occidente sobre el estudio de los límites de la exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno. En este reporte se presentan de una manera clara y concreta las principales nociones, conceptos, regulaciones y recomendaciones sobre radiación electromagnética producida por servicios de telecomunicaciones. Es así como al principio del documento, se explican los conceptos de la radiación electromagnética, tales como qué es una

¹ Antenas fijas [en línea]. Colombia: zonatecnologica, 2008 [consultado 13 de septiembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.zonatecnologica.es>

² INZAURRALDE, Martín; ISI, Jorge y GARDERES, Javier. Nuevas generaciones de telefonía móvil [en línea]. Colombia: monografias.com, 2009 [consultado 19 de enero de 2009]. Disponible en internet: http://www.cabinas.net/monografias/tecnologia/generaciones_de_la_telefonia_celular.asp

³ *Ibid.*, Disponible en Internet: http://www.cabinas.net/monografias/tecnologia/generaciones_de_la_telefonia_celular.asp.

⁴ *Ibid.*, Disponible en Internet: http://www.cabinas.net/monografias/tecnologia/generaciones_de_la_telefonia_celular.asp.

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 presenta la situación internacional con respecto a las normas principales existentes así como los estudios realizados por instituciones independientes. Se desarrollan a continuación, las escalas de niveles aceptables de radiación, presentando las similitudes y las diferencias entre los principales estándares internacionales y se recomienda el estándar de radiación elegido⁵. En la siguiente parte del documento, se presenta las distancias horizontales de seguridad a una antena que se deben guardar y que se derivan de las normas, así como el desarrollo teórico que permitió su cálculo. Finalmente, se enuncian las estrategias de desarrollo urbanístico, tomando para ello la experiencia que se ha tenido en algunas regiones de España, México y Colombia; con el objetivo de proponer recomendaciones para el entorno colombiano.

En este proyecto, se efectuaron mediciones en 70 antenas distribuidos en distintas zonas de la ciudad, con el propósito de conocer y cuantificar los niveles de inmisión de campo electromagnético existentes. El trabajo se desarrolló con rigurosidad metodológica, implementando procedimientos de medición de acuerdo a recomendaciones y normas internacionales (ICNIRP, 2003).

⁵ ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index.html>.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Medir y evaluar el estado actual de las antenas fijas de Telefonía móvil frente a las normas de Seguridad de las Radiaciones No Ionizantes en la ciudad Santiago de Cali.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los principales focos de contaminación electromagnética de las Antenas fijas de Telefonía de la Ciudad de Cali.
- Revisar la Normatividad internacional y Avararla.
- Medir y evaluar las Radiaciones NO IONIZANTES presentes en los lugares señalados.
- Proponer recomendaciones de intervenciones sobre los riesgos para el bienestar del personal expuesto (público en general).

2.0. JUSTIFICACIÓN

- Existe poca o nada investigación en Radiaciones no Ionizantes el País.
- Se han hecho investigaciones a nivel mundial pero se requiere de un reglamento Técnico de investigación para Campos Electromagnéticos.
- Impulsar la Línea de Higiene y Seguridad Industrial de ambas Universidades UAO y UNIVALLE.
- Existe mucha contaminación Electromagnética.
- Que el numeral 6 del artículo 1º de la Ley 99 de 1993, a través del cual se establecen los principios generales ambientales bajo los cuales se rige la política ambiental en el país, se consagra el principio de precaución, de acuerdo con el cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no podrá utilizarse como razón para

postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente.

La creciente demanda de servicios de telecomunicaciones por parte de la población, ha generado la necesidad de construir un elevado número de instalaciones radioeléctricas, con el fin de ampliar los niveles de calidad y cobertura de los servicios y garantizar el acceso de los mismos a todas las personas, actividad que genera emisión de ondas electromagnéticasG.

La adopción de los niveles de referencia de emisión de campos electromagnéticos definidos por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante, Icnirp, ente reconocido oficialmente por la Organización Mundial de la Salud, OMS;

Que la presente norma tiene fundamentos en la Recomendación de Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT-T K.52 "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos", la Recomendación 1999/519/EC (julio 1999) del Consejo Europeo, "por la cual se establecen límites de exposición del público en general a campos electromagnéticos" y en "Recomendaciones para limitar la exposición a campos electromagnéticos" resultado del estudio realizado por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante, Icnirp;

La universidad tiene un gran compromiso de egresar buenos profesionales en Ingeniería Industrial en el área de Salud Ocupacional como también ESPECIALISTAS EN HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL en la escuela de POST-GRADOS.

El proyecto permitirá lograr una mejor participación en el sector productivo como en la comunidad científica, académica, generando un mejor posicionamiento de la universidad a nivel local y nacional.

Es vital encaminar los esfuerzos académicos de desarrollar INVESTIGACIONES en este campo, de la higiene y Seguridad porque son pocas las UNIVERSIDADES que están investigando.

3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

3.1 CAMPO ELÉCTRICO

3.1.1 Carga Eléctrica. La carga eléctrica es un atributo de las partículas elementales que la poseen, caracterizado por la fuerza electrostática que entre ellas se ejerce, dicha fuerza es atractiva si las cargas respectivas son de signo contrario, y repulsiva si son del mismo signo.

La carga libre más pequeña que se conoce es la del electrón⁶:

$$e = 1,60 \times 10^{-19} C$$

Siendo C (Coulomb) la unidad de carga en el sistema internacional de unidades⁷:

$$(SI) \left(1C = \frac{1}{1,60 \times 10^{-19}} = 6,25 \times 10^{18} e \right).$$

Esta carga es negativa. La antipartícula del electrón es el positrón, con la misma masa e igual valor de carga, pero positiva. Otra partícula elemental cargada que interviene en la constitución de los átomos es el protón, cuya carga es positiva y del mismo valor que e, siendo su masa unas 2000 veces mayor; su antipartícula es el antiprotón, con la misma masa e igual valor de carga, pero negativa.

En un sistema aislado⁸ la carga se conserva, es decir, la suma de las cargas positivas y negativas no varía, independientemente del proceso en estudio, lo que constituye el principio de conservación de la carga eléctrica.

Hasta el momento todas las cargas libres que se han observado son múltiplos enteros, positivos ó negativos, de la carga del electrón, lo que se entiende por cuantificación de la carga eléctrica.

3.1.2 Distribuciones de carga. Debido a la imposibilidad de localizar de forma exacta un electrón, no es posible asociar una carga puntual a un punto concreto del espacio. Pero ya que en la práctica se trabaja con un número elevado de

⁶ BEICHNER, Robert y SERWAY, Raymond. Física para ciencias e ingeniería: carga eléctrica. 2 ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 1998. p. 137.

⁷ Ibíd., p. 139.

⁸ MARÍN, Alonso. Física Campo eléctrico y magnético: carga eléctrica. 3 ed. México: Pearson Educación S.A., 1994. p. 130-132.

cargas, se puede hablar de densidad de carga⁹ como una relación entre el número de partículas y el volumen que ocupan.

3.1.2.1 Distribuciones de carga puntuales. Se caracterizan por tener la carga concentrada en puntos, que aun poseyendo un gran número de partículas elementales, ocupan un volumen de dimensión despreciable con respecto al resto de dimensiones consideradas en el problema¹⁰.

3.1.2.2 Distribuciones continuas de carga. Son aglomerados de carga, en los que no es despreciable el volumen ocupado, y que deben caracterizarse por funciones que representen la densidad de carga. Dependiendo de la geometría del problema podemos considerar¹¹:

Densidades de carga volumétrica: $\rho_v = \rho = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\Delta}{\Delta} \cdot \quad (1)$

Densidades de carga superficial: $\rho_s = \sigma = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\Delta}{\Delta} \cdot \quad (2)$

Densidades de carga lineal: $\rho_l = \lambda = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\Delta}{\Delta} \cdot \quad (3)$

Los elementos Δ_v, Δ_s y Δ_l son muy pequeños desde el punto de vista macroscópico, pero contienen un gran número de partículas elementales de forma que las densidades representen unos valores medios con una variación suave de un punto a otro, sin discontinuidades.

3.1.3 Ley de Coulomb. A partir de experimentos realizados por Coulomb¹² en 1785 se llegó a la siguiente ley¹³: La fuerza entre dos cargas es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, su dirección es la de la recta que une las cargas y el sentido depende de los signos respectivos, de atracción si son de signo opuesto y de repulsión si son del mismo signo.

⁹ KELVY, Jhon y HOWWARD, Grotch. Física para ingeniería 2: Distribuciones de carga. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. p. 136.

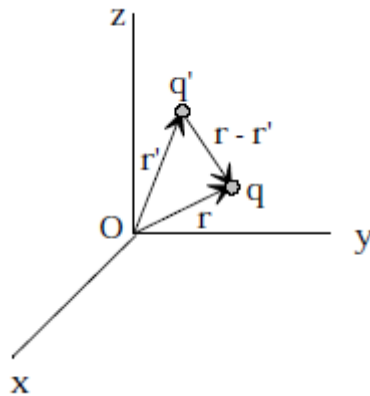
¹⁰ Ibíd., p. 137.

¹¹ Ibíd., p.136-137.

¹² SEARS, Francis W. Física universitaria 2: Ley de Coulomb. Madrid: McGraw-Hill Interamericana, 1988. p. 100, 103, 104 y 108.

¹³ Ibíd., p. 127.

Figura 1. Ley de Coulomb



Fuente: SEARS, Francis W. Física universitaria: Ley de Coulomb. Madrid: Mcgraw-Hill Interamericana, 1988. p 103.

$$\vec{F} = k \frac{qq' \left(\frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \right)}{|\vec{r} - \vec{r}'|^2} \quad (4) \quad \text{El valor de } k \text{ depende del sistema de}$$

unidades utilizado, en el SI:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \quad (5)$$

Siendo $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ (6) la permitividad eléctrica del vacío, muy próxima a la del aire seco.

3.1.4 Campo Eléctrico. Campo es una región del espacio donde existe una distribución de una magnitud escalar¹⁴ o vectorial, que puede además ser o no dependiente del tiempo. Campo eléctrico¹⁵ es la región del espacio donde actúan las fuerzas eléctricas.

¹⁴ ROLLER, D. y BLUM, R. Electricidad y Magnetismo: magnitudes físicas. Barcelona: Reverté, 1998. p. 12-13.

¹⁵ ALONSO, M. y FINN, A. Física: Definición de campo eléctrico. 3 ed. Madrid: Mcgraw-Hill Interamericana, 2001. p. 220 - 222.

La intensidad de campo eléctrico¹⁶ \vec{E} es el límite al que tiende la fuerza de una distribución de carga sobre una carga de prueba positiva Δ que tiende a cero:

$$\vec{E} = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\vec{F}_{\Delta}}{\Delta} \quad (6) \text{ La unidad en el SI, deducida de la ecuación anterior}^{17}, \text{ es el}$$

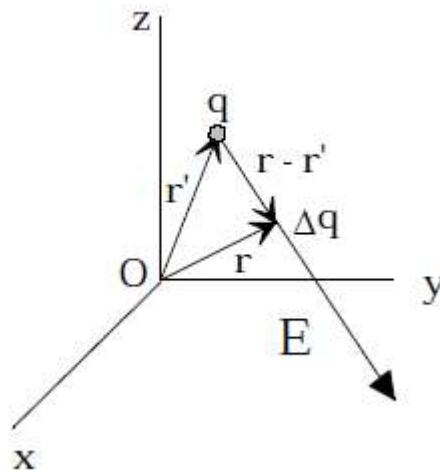
$N \cdot C^{-1}$, aunque en la práctica se utiliza más $V \cdot m^{-1}$, deducida en un apartado posterior.

El campo eléctrico en \vec{r} debido a una carga puntual q situada en \vec{r}' es¹⁸:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \quad (7) \text{ El campo eléctrico representa en cada punto una}$$

propiedad local asociada a dicho punto.

Figura 2. Campo eléctrico



Fuente. SEARS, Francis W. Física universitaria: Ley de Coulomb, Madrid: Mcgraw-Hill interamericana, 1988. p 110.

Una vez conocido el campo en un punto no necesitamos saber quién lo origina para calcular la fuerza sobre una carga u otra propiedad relacionada con el

¹⁶ TILLEY, Donald E. Física general: Intensidad de campo eléctrico. 4 ed. México: González C.A. y cols Arch Environ Health, 1997. p. 52.

¹⁷ MARTÍNEZ BÚRDALO, A. Martín. Física universitaria: corrientes campos y partículas: 4 ed. California: McGraw-Hill Interamericana, 1997. p. 19.

¹⁸ Ibíd., p. 45.

campo.

Las líneas de campo son líneas tangentes al vector intensidad de campo en cada punto de este. Nunca se cortan (de hacerlo significaría que en dicho punto \vec{E} poseería dos direcciones distintas, lo que contradice la definición de que a cada punto sólo le corresponde un valor único de intensidad de campo). También nos da una representación visual de $|\vec{E}|$, su valor dependerá de la densidad de las líneas de campo en la región considerada del espacio. Una vez conocido el campo eléctrico en un punto determinado del espacio, la fuerza sobre una carga q' debido a aquel será¹⁹:

$$\vec{F} = q' \cdot \vec{E} \quad (8)$$

3.2 CAMPOS MAGNÉTICOS

La fuerza magnética²⁰ que actúa sobre una carga q que se mueve con una velocidad v en un campo magnético \mathbf{B} es²¹:

$$F = v \times B \quad (9)$$

Esta fuerza magnética está en una dirección perpendicular tanto a la velocidad de la partícula como al campo. La magnitud de esta fuerza es²²:

$$F = v \times B \sin\theta \quad (10)$$

donde θ es el ángulo más pequeño entre v y \mathbf{B} . La unidad del SI de \mathbf{B} es el **weber por metro cuadrado** WB/m^2 , también llamado **tesla** (T), donde²³

$$B = \Gamma = WB/m^2 = N/Am \quad (11)$$

Cuando una partícula cargada se mueve en un campo magnético, el trabajo hecho por la fuerza magnética sobre la partícula es cero debido a que el desplazamiento siempre es perpendicular a la dirección de la fuerza magnética. El campo

¹⁹ GARCÍA AMADO, D. y LÓPEZ, Abeledo. Física 2: campos y partículas: 3. ed. Germany: McGraw-Hill interamericana, 1840., p. 69.

²⁰ HILLERT L, Ahlbom A. Introducción a los campos magnéticos: Definición campo magnético: 2. ed. Paris: Editorial Oikos Tau, 1971., p. 189.

²¹ Ibíd., p 194.

²² Ibíd., p 195.

²³ Ibíd., p 196.

magnético puede alterar la dirección del vector velocidad, pero no puede cambiar la velocidad de la partícula.

Si un conductor recto de longitud L conduce una corriente I , la fuerza sobre ese conductor cuando se pone en un campo magnético uniforme \mathbf{B} es²⁴:

$$\mathbf{F} = I \mathbf{L} \times \mathbf{B} \quad (12)$$

donde la dirección de \mathbf{L} está en la dirección de la corriente y $|\mathbf{L}| = L$.

Si un alambre de forma arbitraria que conduce una corriente I se coloca en un campo magnético²⁵, la fuerza magnética sobre un segmento muy pequeño ds es²⁶:

$$d\mathbf{F} = I ds \times \mathbf{B} \quad (13)$$

Para determinar la fuerza magnética total del alambre, se tiene que integrar la ecuación anterior, teniendo en mente que tanto \mathbf{B} y ds pueden variar en cada punto.

La fuerza sobre un conductor que conduce corriente de forma arbitraria en un campo magnético uniforme es²⁷:

$$\mathbf{F} = I \mathbf{L} \times \mathbf{B} \quad (14)$$

Donde \mathbf{L} es un vector²⁸ dirigido de un extremo del conductor al extremo opuesto.

La fuerza magnética neta sobre cualquier lazo cerrado que conduce una corriente en un campo magnético uniforme es cero.

El **momento magnético**²⁹ μ de un lazo de corriente que conduce una corriente I es³⁰.

$$\mu = I \mathbf{A} \quad (15)$$

Donde \mathbf{A} es perpendicular al plano del lazo y $|\mathbf{A}|$ es igual al área del lazo. La unidad SI de μ es $A \cdot m^2$.

El momento de torsión τ sobre un lazo de corriente cuando éste se coloca en un

²⁴ *Ibíd.*, p 197.

²⁵ *Ibíd.*, p 189.

²⁶ *Ibíd.*, p 198.

²⁷ GARCÍA. *Op. cit.*, p. 199.

²⁸ CASANOVA, José Raúl y ROJAS, Hernando. *Investigación a la Física: Vectores*: 4 ed. Bogotá: Editorial Voluntad S.A. 1992., p. 33.

²⁹ GARCÍA., *Op. cit.*, p. 200.

³⁰ *Ibíd.*, p. 201.

campo magnético³¹ externo y uniforme **B** es³²:

$$\tau = \mu \cdot \dots \quad (16)$$

Si una partícula cargada se mueve en un campo magnético uniforme de manera que su velocidad inicial es perpendicular al campo, la partícula se mueve en un círculo cuyo plano es perpendicular al campo magnético. El radio r de la trayectoria circular es³³:

$$r = \frac{mv}{qB} \quad (17)$$

Donde m es la masa de la partícula y q es su carga. La frecuencia angular de la partícula cargada en rotación es³⁴:

$$\omega = \frac{qB}{m} \quad (18)$$

3.3 LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Las ondas³⁵ 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 [4, 7]. La longitud de onda λ se define físicamente por la siguiente ecuación³⁶:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (19)$$

Donde v es la velocidad de propagación de la luz en el material y f es la frecuencia de la onda³⁷ (Ver figura 1).

³¹ *Ibíd.*, p. 189.

³² *Ibíd.*, p. 202.

³³ *Ibíd.*, p. 202.

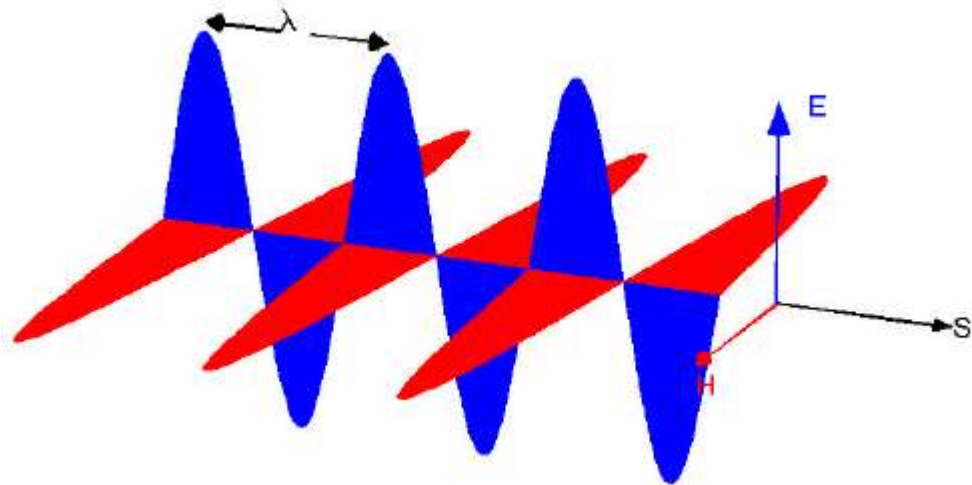
³⁴ *Ibíd.*, p. 203.

³⁵ STERN, David P. y PEREDO, Mauricio. Ondas Electromagnéticas [en línea]. Czechoslovakia. noviembre de 2004 [consultado 09 de agosto de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.iki.rssi.ru/mirrors/stern/Education//Memwaves.html>

³⁶ DEAZAR, Pedro I. Teoría de campos electromagnéticos [en línea]. Bogotá D.C.: Universidad Francisco José de Caldas, Ingeniería electrónica, 2000 [consultado 02 de diciembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/pdeaza/html/campos1.html>.

³⁷ *Ibíd.*, Disponible en Internet: <http://www.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/pdeaza/html/campos1.html>.

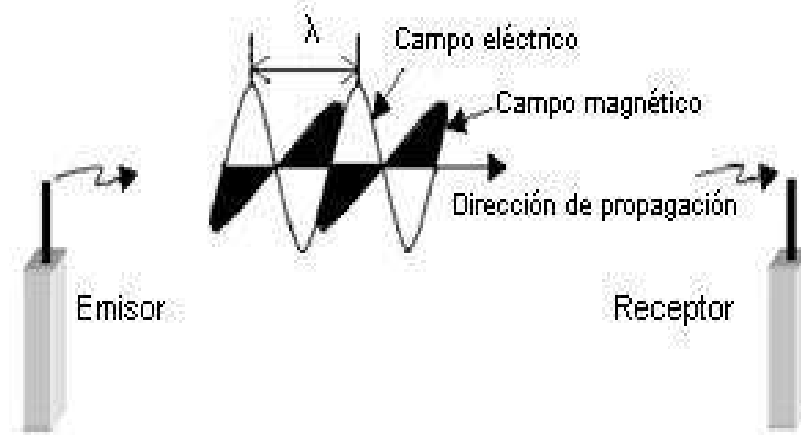
Figura 3. Propagación de ondas electromagnéticas



Fuente: MOULDER, J. Antenas de telefonía móvil y salud humana [en línea]. Estados Unidos, Wisconsin: Ed. Medical College of Wisconsin, 2000 [consultado el 02 de agosto del 2008]. Disponible en Internet: <http://www.mcw.edu/gcrc/cop>.

Las ondas electromagnéticas se componen simultáneamente como su nombre lo indica, de un campo eléctrico³⁸ y un campo magnético³⁹ (Fig. 4).

Figura 4. Propagación de ondas en comunicaciones



Fuente: APONTE, Guillermo y ESCOBAR, Adolfo. Información Tecnológica: Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia, 2007 [en línea]. Cali, Colombia: scielo, 2007 [consultado 09 de septiembre del 2008]. Disponible en Internet: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071807642007000300006&script=sci_abstract.

³⁸ LORRAIN P. y CORSON D. Campos y ondas electromagnéticos: definición de campo eléctrico. 6 ed. Madrid: Limusa Noriega editores, 1999. p 395.

³⁹ García. Op. cit., p. 200.

3.3.1 Fuentes naturales. Los campos naturales que no están en el mundo de la polución electromagnética⁴⁰. La vida sobre tierra es organizada alrededor, con y gracias a ellos. El campo eléctrico en la superficie de la tierra es vinculado por la presencia de cargas eléctricas en la alta atmósfera. Su traducción visible más notable son los relámpagos de una tormenta⁴¹.

El campo magnético⁴² terrestre es producido por las corrientes del magma en fusión en el núcleo de la tierra y por las corrientes eléctricas que esto genera. Es él quien orienta la aguja de la brújula y da la posición geográfica del polo Norte magnético. Existen unos campos naturales alternativos pero su intensidad es muy débil y varían con la actividad solar, la actividad atmosférica.

Las células vivas así como nuestro cuerpo y todos los seres vivos generan corrientes eléctricas y pues campos eléctricos y magnéticos⁴³. El electrocardiograma (ECG) mide las corrientes eléctricas en el corazón y el campo magnético inducido por estas corrientes.

En el cerebro, las corrientes eléctricas son medidas por el electroencefalograma (EEG) y el campo magnético inducido por estas corrientes⁴⁴.

3.3.2 Fuentes artificiales. Refiriéndonos a los CEM no ionizantes, podemos distinguir dos grandes grupos de fuentes de exposición en nuestro entorno:

Las fuentes que generan campos de frecuencias inferiores a 3 kHz (0 Hz ≤ f < 3 kHz), entre los que se encuentran:

- Las de “campos estáticos” (0 kHz): trenes de levitación magnética, sistemas de resonancia magnética para diagnóstico médico y los sistemas electrolíticos en aplicación industrial-experimental⁴⁵.

⁴⁰ ANGLÉSIO L. et al. Population exposure to electromagnetic fields generated by radio base stations: evaluation of the urban background by using provisional model and instrumental measurements. *Radiat Prot Dosimetry* 2001. 97: 355-358.

⁴¹ US Food and Drug Administration. Electromagnetic compatibility - FDA/CDRH recommendations for EMC/EMI in healthcare facilities [en línea]. Estados Unidos: US Food and Drug Administration, 2002 [consultado noviembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.fda.org/cdrh/emc/emc-in-hcf.html>.

⁴² ROJAS, Melt. Artículo de Tendencias 21: La fuerza del campo magnético terrestre ha disminuido un 10% en los últimos 160 años [en línea]. Colombia: Tendencias21, 2008 [consultado noviembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.articulotendencias21.com>.

⁴³ MARÍN, Alonso Op. cit., p. 130-132

⁴⁴ *Ibíd.*, p. 133-134.

⁴⁵ Organización Mundial de la Salud (OMS). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Asociación Internacional para la Protección contra las Radiaciones (IRPA). Extremely Low Frequency (ELF). *Environmental Health Criteria*, No. 35, 1984.

- Las fuentes de los campos de frecuencias extremadamente bajas (30 Hz \leq f < 300 Hz): equipos relacionados con la generación, transporte o utilización de la energía eléctrica de 50 Hz, líneas de alta y media tensión y aparatos electrodomésticos (neveras, secadores de pelo, etc.)⁴⁶.
- Desde 300 Hz a 3 kHz: cocinas de inducción, antenas de radiodifusión modulada y equipos de soldadura de arco⁴⁷.

Las conocidas como fuentes de campos de radiofrecuencias (3 kHz \leq f < 300 GHz), que, clasificadas por rangos de frecuencia, son las siguientes:

- Desde 3kHz a 30 kHz (VLF): antenas de radionavegación y radiodifusión modulada, monitores de ordenador, sistemas antirrobo⁴⁸.
- Desde 30 kHz a 300 kHz (LF): pantallas y monitores, antenas de radiodifusión, comunicaciones marinas y aeronáuticas, radiolocalización⁴⁹.
- Desde 300 kHz a 3 MHz (HF): radioteléfonos marinos, radiodifusión AM, termoselladoras⁵⁰.
- Desde 3 MHz a 30 MHz: antenas de radioaficionados, termoselladoras, aparatos para diatermia quirúrgica, sistemas antirrobo⁵¹.
- Desde 30 MHz a 300 MHz (VHF): antenas de radiodifusión, frecuencia modulada, antenas de estaciones de televisión, sistemas antirrobo⁵².
- Desde 300 MHz a 3 GHz (UHF):
Teléfonos móviles, antenas de estaciones base de telefonía móvil, hornos de microondas, aparatos para diatermia quirúrgica, sistemas antirrobo⁵³.
- Desde 3 GHz a 30 GHz (SHF): antenas de comunicaciones vía satélite, radares, enlaces por microondas⁵⁴.
- Desde 30 GHz a 300 GHz (EHF): antenas de radionavegación, radares, antenas de radiodifusión⁵⁵.

⁴⁶ ibíd.,

⁴⁷ ibíd.,

⁴⁸ ibíd.,

⁴⁹ ibíd.,

⁵⁰ ibíd.,

⁵¹ ibíd.,

⁵² ibíd.,

⁵³ ibíd.,

⁵⁴ ibíd.,

⁵⁵ ibíd.,

3.4 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético (EM), se extiende desde frecuencias extremadamente bajas, aproximadamente 60Hz de las líneas eléctricas hasta los 1020 Hz de la radiación cósmica y gama. Una parte del espectro es denominada de Radiofrecuencia (RF) y está conformado por ondas EM que tienen frecuencias en el intervalo de 3kHz a 300 GHz [1,7]. El 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* (a partir de 10¹⁵Hz) las cuales se diferencian porque en la primera los efectos de la radiación son demasiado débiles para romper los enlaces que mantienen unidas las moléculas en las células. A continuación se presenta en el Cuadro 1, la descripción del espectro, indicando los servicios que pertenecen a cada banda de frecuencias⁵⁶.

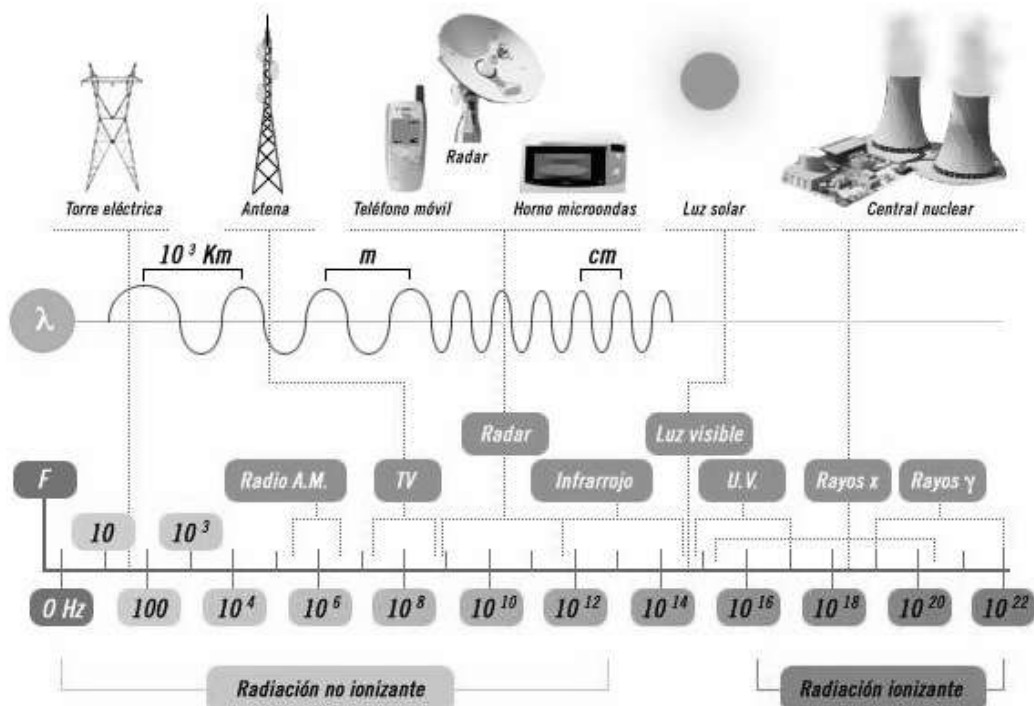
Cuadro 1. Descripción del espectro, indicando los servicios que pertenecen a cada banda de frecuencias

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

Fuente: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) [en línea]. Estados Unidos: Editorial International Comisión on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). 2001. 28 p. Disponible en Internet: <http://www.icnirp.de>.

⁵⁶ WELTI, R. La interacción de campos electromagnéticos de EBF con sistemas biológicos. CIER. Segundas Jornadas de trabajos con tensión [en línea]. Montevideo, Uruguay, 1999 [consultado 2008]. Disponible en Internet: http://www.iie.fing.edu.uy/relacionamiento/comunidad/rfsalud/resumen_emfysaludhumana1.pdf

Figura 5. Espectro electromagnético.



Fuente: APONTE, Guillermo y ESCOBAR, Adolfo. Información Tecnológica: Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia [en línea]. Cali, Colombia: cielo, 2007 [consultado 09 de septiembre del 2008]. Disponible en Internet: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071807642007000300006&script=sci_abstract.

3.5 TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

En los últimos diez años, la evolución de la tecnología ha dado un salto inesperado. El boom tecnológico de nueva generación se traduce en términos de telefonía celular e Internet, las cuales, más que ser realidades separadas se complementan. Ambas surgen paralelamente como resultado de una intensa búsqueda por mejorar la comunicación interpersonal, iniciada a principios de los años 70, y pensada únicamente para el beneficio de grandes sectores gubernamentales y de empresas privadas. Sin embargo, el desarrollo de estos dos tipos de tecnología llega a un punto en el cual convergen, y es cuando la red de comunicaciones a nivel mundial se abre y sobrepasa las expectativas de sus creadores; la Internet deja de ser para uso exclusivo de la milicia y el gobierno, y combinada con los servicios de telefonía se transforma en un medio de interacción social que actualmente está presente en todos los ámbitos de la vida diaria.

En teoría, la tecnología celular y la Internet surgen como un medio para facilitar la comunicación entre personas que se encuentran a grandes distancias, ya sea por medio de la voz o la transmisión de datos. No obstante, este uso es ya simplemente la forma básica de ambas, ya que con el paso del tiempo, se han desarrollado nuevos usos y nuevos significados.

En la actualidad, estas tecnologías se combinan en una sola; los celulares ya no se limitan a la función de comunicar a dos personas entre sí, sino que ahora han evolucionado hasta incluir modalidades como el acceso a la Internet en casi todos sus aspectos (transmisión de datos, mp3, tele conferencia, transmisión de archivos fotográficos y videos, etc.). Esta última, a su vez, permite la transmisión de datos desde una PC hacia un teléfono móvil⁵⁷.

El mercado mundial nos ofrece la posibilidad de nuevos aparatos que evolucionan de un día a otro, para así volverse obsoletos al cabo de unos cuantos meses⁵⁸.

Esto trae consigo innegables ventajas, acelera el ritmo al cual se obtiene información, facilita las comunicaciones, reduce los tiempos de emisión y respuesta; es decir, transforma la vida diaria en todo un acontecimiento tecnológico, todo esto aunado al crecimiento económico de las sociedades, y más allá, a todos los cambios en el orden natural de las cosas que la tecnología genera⁵⁹.

3.5.1 Funcionamiento. Cómo funciona un teléfono celular. La gran idea del sistema celular es la división de la ciudad en pequeñas células o celdas⁶⁰. Esta idea permite la re-utilización de frecuencias a través de la ciudad, con lo que miles de personas pueden usar los teléfonos al mismo tiempo. En un sistema típico de telefonía análoga de los Estados Unidos, la compañía recibe alrededor de 800 frecuencias para usar en cada ciudad. La compañía divide la ciudad en celdas. Cada celda generalmente tiene un tamaño de 26 kilómetros cuadrados. Las celdas son normalmente diseñadas como hexágonos (figuras de seis lados), en una gran rejilla de hexágonos.

Cada celda tiene una estación base que consiste de una torre y un pequeño edificio que contiene el equipo de radio.

Cada celda en un sistema análogo utiliza un séptimo de los canales de voz disponibles. Eso es, una celda, más las seis celdas que la rodean en un arreglo

⁵⁷ Usuarios de telefonía móvil [en línea]. Colombia: Usuarios Colombia, 2008 [consultado 06 de enero de 2009]. Disponible en Internet: <http://www.ASOCEL.org.co>

⁵⁸ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.ASOCEL.org.co>

⁵⁹ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.ASOCEL.org.co>

⁶⁰ Teléfonos móviles [en línea]. Colombia: teléfonos móviles, 2000 [consultado 26 de septiembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.telefonos-moviles.com/moviles.htm>

hexagonal, cada una utilizando un séptimo de los canales disponibles para que cada celda tenga un grupo único de frecuencias y no haya colisiones: Un proveedor de servicio celular típicamente recibe 832 radio frecuencias para utilizar en una ciudad.

Cada teléfono celular utiliza dos frecuencias por llamada, por lo que típicamente hay 395 canales de voz por portador de señal. (Las 42 frecuencias restantes son utilizadas como canales de control).

Por lo tanto, cada celda tiene alrededor de 56 canales de voz disponibles.

En otras palabras, en cualquier celda, pueden hablar 56 personas en sus teléfonos celulares al mismo tiempo. Con la transmisión digital, el número de canales disponibles aumenta. Por ejemplo el sistema digital TDMA⁶¹ puede acarrear el triple de llamadas en cada celda, alrededor de 168 canales disponibles simultáneamente.

Los teléfonos celulares tienen adentro transmisores de bajo poder. Muchos teléfonos celulares tienen dos intensidades de señal⁶²: 0.6 watts y 3.0 watts (en comparación, la mayoría de los radios de banda civil transmiten a 4 watts.) La estación central también transmite a bajo poder. Los transmisores de bajo poder tienen dos ventajas:

Las transmisiones de la base central y de los teléfonos en la misma celda no salen de ésta. Por lo tanto, cada celda puede re-utilizar las mismas 56 frecuencias a través de la ciudad⁶³.

El consumo de energía del teléfono celular, que generalmente funciona con baterías, es relativamente bajo. Una baja energía significa baterías más pequeñas, lo cual hace posibles los teléfonos celulares⁶⁴.

La tecnología celular requiere un gran número de bases o estaciones en una ciudad de cualquier tamaño. Una ciudad grande puede llegar a tener cientos de torres. Cada ciudad necesita tener una oficina central la cual maneja todas las

⁶¹ Ibid., Disponible en internet: <http://www.telefonos-moviles.com/moviles.htm>

⁶² Ibid., Disponible en internet: <http://www.telefonos-moviles.com/moviles.htm>

⁶³ Ibid., Disponible en internet: <http://www.telefonos-moviles.com/moviles.htm>

⁶⁴ Ibid., Disponible en internet: <http://www.telefonos-moviles.com/moviles.htm>

conexiones telefónicas a teléfonos convencionales, y controla todas las estaciones de la región⁶⁵.

3.5.2 Tecnologías. Las generaciones de la telefonía inalámbrica

- **Primera generación (1G).** La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979 y se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces era muy baja, tenían baja velocidad (2400 bauds). En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad (Basadas en FDMA, Frequency División Múltiple Access) y, además, la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System)⁶⁶.

- **Segunda generación (2G).** La 2G arribó hasta 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. EL sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y se emplea en los sistemas de telefonía celular actuales. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System por Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136) y CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications), éste último utilizado en Japón⁶⁷.

Los protocolos empleados en los sistemas 2G⁶⁸ soportan velocidades de información más altas por voz, pero limitados en comunicación de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares, como datos, fax y SMS (Short Message Service). La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. En Estados Unidos y otros países se le conoce a 2G como PCS (Personal Communication Services)⁶⁹.

- **Generación 2.5 G.** Muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones se moverán a las redes 2.5G⁷⁰ antes de entrar masivamente a la 3. La tecnología 2.5G es más rápida, y más económica para actualizar a 3G⁷¹.

⁶⁵ Ibid., Disponible en internet: <http://www.telefonos-moviles.com/moviles.htm>

⁶⁶ Generaciones de la telefonía celular [en línea] Colombia: evdoplus.blogspot, 2005 [consultado 4 de febrero del 2009]. Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefon.html>

⁶⁷ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefon.html>

⁶⁸ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefon.html>

⁶⁹ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefon.html>

⁷⁰ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefon.html>

⁷¹ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefon.html>

La generación 2.5G ofrece características extendidas, ya que cuenta con más capacidades adicionales que los sistemas 2G, como: GPRS (General Packet Radio System), HSCSD (High Speed Circuit Switched), EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), IS-136B e IS-95Bm entre otros. Los carriers europeos y estadounidenses se moverán a 2.5G en el 2001. Mientras que Japón irá directo de 2G a 3G también en el 2001.

- **Tercera generación 3G.** La 3G⁷² se caracteriza por contener a la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet; en otras palabras, es apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos⁷³.

Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información y están enfocados para aplicaciones más allá de la voz como audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet, sólo por nombrar algunos. Se espera que las redes 3G empiecen a operar en el 2001 en Japón, por NTT DoCoMo; en Europa y parte de Asia en el 2002, posteriormente en Estados Unidos y otros países.

Asimismo, en un futuro próximo los sistemas 3G alcanzarán velocidades de hasta 384 kbps⁷⁴, permitiendo una movilidad total a usuarios, viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores. También alcanzará una velocidad máxima de 2 Mbps⁷⁵, permitiendo una movilidad limitada a usuarios, caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores.

En relación a las predicciones sobre la cantidad de usuarios que podría albergar 3G, The Yankee Group⁷⁶ anticipa que en el 2004 habrá más de 1,150 millones en el mundo, comparados con los 700 millones que hubo en el 2000. Dichas cifras nos anticipan un gran número de capital involucrado en la telefonía inalámbrica⁷⁷, lo que con mayor razón las compañías fabricantes de tecnología, así como los proveedores de servicios de telecomunicaciones estarán dispuestos a invertir su capital en esta nueva aventura llamada 3G.

(Ver Figura 6, página siguiente).

⁷² Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefonía.html>

⁷³ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefonía.html>

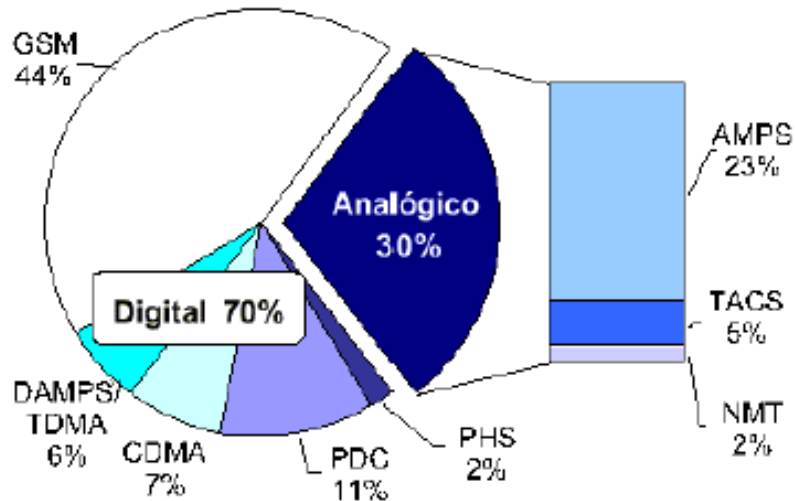
⁷⁴ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefonía.html>

⁷⁵ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefonía.html>

⁷⁶ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefonía.html>

⁷⁷ Ibid., Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefonía.html>

Figura 6. Uso de los sistemas de telefonía celular en el mundo.



Fuente: MEDINA NIETO J. Guadalupe; IBARRA MANZANO, Oscar G. y ROMERO VERA, Francisco. Telefonía celular digital. México: Universidad Autónoma de Guanajuato, Vol. IV, No 11, 2001. p. 49-58.

3.5.3 Estaciones base. Las antenas de telefonía móvil son elementos necesarios para el establecimiento de la comunicación entre los usuarios de teléfonos móviles, y entre éstos y los usuarios de teléfonos convencionales. Dichas antenas se encuentran formando grupos instalados en azoteas o partes altas de edificios (en áreas urbanas), o en torres o mástiles sobre el suelo (zonas rurales), a una altura comprendida entre los 15 m y 50 m⁷⁸. El conjunto formado por las antenas, cableado y equipos accesorios, constituye lo que se denomina una “estación de base”⁷⁹. Cada estación de base sólo puede dar servicio a un número limitado de usuarios, cubriendo una determinada región geográfica que constituye la “célula”. De ahí que el crecimiento del número de usuarios y la necesidad de abarcar cada vez más regiones de difícil acceso, dotándoles de un servicio de mejor calidad, han obligado a incrementar el número de dichas instalaciones.

(Ver Figura 7, página siguiente).

⁷⁸ Estaciones base de telefonía móvil [en línea]. Colombia: asocel.org, 2007 [consultado 26 de abril de 2008]. Disponible en Internet: http://www.asocel.org.co/pdf/conferencia_3.pdf

⁷⁹ Ibíd., Disponible en Internet: http://www.asocel.org.co/pdf/conferencia_3.pdf

Figura 7. Torre y antena de las estaciones base



Fuente. Blog TELECOM [en línea]: Antenas. Colombia: blogtele.com, 2008 [consultado noviembre 25 del 2008]. Disponible en Internet: <http://www.blogtelecom.com>.

En comunicaciones por radio, una estación base es una instalación fija de radio para la comunicación bi-direccional. Se usa para comunicar con una o más radios móviles o portátiles. Las estaciones base normalmente se usan para conectar radios bi-direccionales de baja potencia, como por ejemplo la de un teléfono móvil, un teléfono inalámbrico o una computadora portátil con una tarjeta WiFi. La estación base sirve como punto de acceso a una red de comunicación fija (como la Internet o la red telefónica) o para que dos terminales se comuniquen entre sí yendo a través de la estación base.

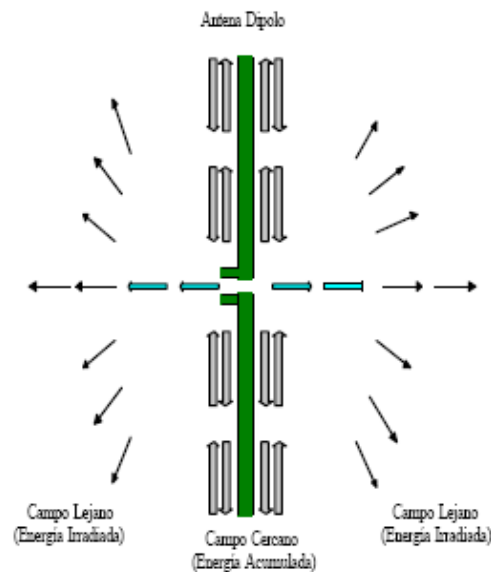
En el área de las redes informáticas inalámbricas (WiFi o WiMAX), una estación base es un transmisor/receptor de radio que sirve como nexa (hub) de la red de área local inalámbrica. También puede servir como pasarela entre las redes inalámbrica y fija.

En el contexto de la telefonía móvil, una estación base (en inglés: Base Transceiver Station (BTS)) dispone de equipos transmisores/receptores de radio, en la banda de frecuencias de uso (900 / 1800 Mhz) que son quienes realizan el enlace con el usuario que efectúa o recibe la llamada(o el mensaje) con un teléfono móvil. Las antenas utilizadas suelen situarse en lo más alto de la torre (si existe), de edificios o colinas para dar una mejor cobertura y son tipo dipolo. Normalmente, está compuesta por un mástil al cual están unidas tres grupos de una o varias antenas equidistantes. El uso de varias antenas produce una diversidad de caminos radioeléctricos que permite mejorar la recepción de la información.

Además, la Estación Base dispone de algún medio de transmisión, vía radio o cable, para efectuar el enlace con la Central de Conmutación de Telefonía Móvil Automática, que a su vez encamina la llamada hacia el teléfono destino, sea fijo o móvil. Por lo general estas estaciones disponen también de baterías eléctricas, capaces de asegurar el funcionamiento ininterrumpido del servicio. En zonas densamente pobladas (Ciudades,..), hay muchas estaciones base, próximas entre sí (células pequeñas). Las frecuencias deben ser cuidadosamente reutilizadas, ya que son escasas, por lo que cada E.B. transmite con poca potencia a fin de que no se produzcan interferencias de una célula con otra célula próxima que use las mismas frecuencias⁸⁰. En cambio, en las zonas de baja densidad (carreteras,..) las E.B. están alejadas unas de otras y transmiten a elevada potencia para asegurar la cobertura en una célula extensa.

⁸⁰ Ibíd., Disponible en internet: http://www.asocel.org.co/pdf/conferencia_3.pdf.

Figura 8. Direcciones del flujo de energía electromagnética para una antena dipolo.



Fuente: Direcciones de flujo de energía. En: Revista Facultad de Ingeniería, (enero-diciembre, 2006). Vol. 9. Arica, Chile: Universidad de Terapaca, p 3-19.

Cuadro 2. Costo de instalación de una estación base.

DESCRIPCIÓN	Precio.US\$
Obras civiles e Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión	94,939.38
Suministro de Estructura Metalica (Torre 54 mts autosoportada)	43,059.75
Complemento de Estructura Metalica (Instalación y Transporte)	10,914.52
Acometida Eléctrica 2KM	58,484.01
Equipamiento Celular (Transceptor, antenas, cables, instalación transporte)	49,896.88
Equipamiento Estación Terrena Remota (antena, modem, instalación transporte)	20,896.74
TOTAL VALOR VENTA	278,191.28
IGV 19%	52,856.34
TOTAL PRECIO VENTA	331,047.62

Fuente: Direcciones de flujo de energía. En: Revista Facultad de Ingeniería, (enero-diciembre, 2006). Vol. 9. Arica, Chile: Universidad de Terapaca, p 5-36.

3.5.4 Densidad de potencia (S). Es la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación. Las unidades utilizadas son W/m², mW/cm² ó uW/cm². Para una onda plana⁸¹ la densidad de potencia está relacionada con el campo eléctrico y el magnético por la impedancia del espacio libre ($Z_a = 377$ ohms). $S = E^2 / Z_a = H^2 Z_a$.

⁸¹ Densidad de potencia [en línea]. Windpower, 2007 [consultado 08 de marzo de 2009]. Disponible en Internet: <http://www.windpower.org/es/tour/wres/powdensi.htm>.

4. POSIBLES EFECTOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

4.1 ANTECEDENTES

Cuadro 3. Principales áreas relacionadas con la salud humana

Efectos directos	Efectos indirectos
Oncogénicos (iniciación y promoción) Neurofisiológicos Cardiovasculares Endocrinos y reproductivos Hemopoyéticos Crecimiento y desarrollo (niños) Estrés oxidativo Síntomas subjetivos	Interferencia con equipos de uso médico Empleo de teléfonos móviles mientras se conduce un vehículo

Fuente: SARAÍ, F. D. Telefonía móvil (celular) y Salud Humana Saraví F. D. Área de Física Biológica. Departamento de Morfología y Fisiología. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Cuyo. Servicio de Densitometría. Escuela de Medicina Nuclear, Mendoza [en línea]. Argentina: revista medicina, 2007 [consultado 28 de junio de 2007]. Disponible en: http://revista.medicina.edu.ar/vol03_01/08/index.php.

Cuadro 4. Estudios epidemiológicos sobre telefonía celular y cáncer (caso-control)

País y año de publicación	Tipo de teléfono#	Exposición máxima	Número de sujetos	Neoplasias evaluadas	Razón de riesgo (intervalo de confianza 95 %)
Suecia 1999 (129)	A, D	> 5 años	34 casos 69 contr	Intracraneales	0.83 (0.49-1.42)
USA 2000 (111)	NI	> 4 años	17 casos 22 contr	Malignos intracraneales	0.7 (0.4-1.4)
USA 2001 (109)	NI	> 5 años	22 casos 31 contr	Intracraneales	0.9 (0.5 - 1.6)
Finlandia 2002 (112)	A, D	> 2 años	398 casos 1986 contr	Intracraneales	1.3 (0.9- 1.8)
Suecia 2002 (114)	A, D	> 5 años	153 casos 124 contr	Intracraneales	0.9 (0.6-1.5)
USA 2002 (116)	NI	6 años	11 casos 6 contr	Neuroma acústico	1.7 (0.5-5.1)

Cuadro 4. (Continuación).

País y año de publicación	Tipo de teléfono#	Exposición máxima	Número de sujetos	Neoplasias evaluadas	Razón de riesgo (intervalo de confianza 95 %)
Suecia 2004 (141)	A, D	> 10 años	267 casos 1053 contr	Glándulas salivales	A 0.92 (0.58-1.44) D 1.01 (0.68-1.50)
Suecia 2005 (130)	A, D	> 5 años	136 casos 171 contr	Glioma y meningioma	0.73 (0.55-0.96)
Dinamarca 2005 (131)	NI	> 5 años	83 casos 193 contr	Glioma y meningioma	0.66 (0.46-0.95)
Cinco países nórdicos, 2005 (121)	A, D	> 5 años	127 casos 646 contr	Neuroma acústico	0.95 (0.75-1.18)
Suecia 2005 (120)	A, D	> 5 años	87 casos 129 contr	Neuroma acústico, meningioma	1.4 (1.02-1.93)
Suecia 2005 (139)	A, D, C	> 5 años	920 casos 1016 contr	Linfoma no Hodgkin	0.92 (0.76-1.12)*
USA 2006 (140)	A, D	> 8 años	551 casos 462 contr	Linfoma no Hodgkin	1.0 (0.7-1.3)
Suecia 2006 (115)	A, D	> 5 años	98 casos 129 contr	Intracraneales malignas	1.49 (1.10-2.02)
Suecia 2006 (132)	A, D, C		1254 casos 2162 contr	Neuroma acústico meningioma	Neuroma A 2.9 (2.0-4.3) D 1.5 (1.1-2.1) Meningioma A 1.3 (1.0-1.7) D 1.1 (0.9-1.3)
Reino Unido 2006 (133)	A, D	> 10 años	966 casos 1716 contr	Glioma	0.94 (0.78-1.13)
Dinamarca, Suecia 2006 (142)	A,D	> 10 años	172 casos 681 contr	Parotídeas	Benignas 0.9 (0.5-1.5) Malignas 0.7 (0.4-1.3)

Fuente: SARAVÍ, F. D. Telefonía móvil (celular) y Salud Humana Saraví F. D. Área de Física Biológica. Departamento de Morfología y Fisiología. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Cuyo. Servicio de Densitometría. Escuela de Medicina Nuclear, Mendoza [en línea]. Argentina: revista medicina, 2007 [consultado 28 de junio de 2007]. Disponible en: http://revista.medicina.edu.ar/vol03_01/08/index.php.

4.1.1 Efectos biológicos y efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos. La Recomendación del CMSUE dirigida a limitar la exposición a los CEM tiene por finalidad proteger al organismo humano de los efectos conocidos y que pudieran ser motivo de riesgo para la salud de los ciudadanos⁸². Según definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS) la salud es un estado de bienestar físico, mental y social, no meramente la ausencia

⁸² CEM [en línea] OMS. Estados Unidos: who.int, 2005 [consultado 21 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index1.html>.

de enfermedad o trastorno.

Un efecto biológico se produce cuando la exposición a los CEM provoca una respuesta fisiológica detectable en un sistema biológico. Un efecto biológico es nocivo para la salud cuando sobrepasa las posibilidades de compensación normales del organismo.

Quando un sistema vivo es sensible a CEM de una determinada frecuencia, la exposición puede generar modificaciones funcionales o incluso estructurales en el sistema. Por ejemplo, la pupila puede experimentar una contracción cuando el ojo es expuesto a un CEM intenso con frecuencias propias del espectro visible. Nuestro organismo está biológicamente preparado para estas respuestas como parte de sus mecanismos de adaptación al medio. Estas modificaciones, en condiciones normales, son reversibles en el tiempo, de forma que, cuando desaparece el estímulo, el organismo vuelve a su condición de equilibrio inicial. Para que se produzcan alteraciones perjudiciales, las modificaciones inducidas tienen que ser irreversibles. Es decir, una vez eliminado el estímulo, el sistema biológico no vuelve a su situación de equilibrio inicial. En este caso es cuando podemos esperar que el sistema entre en un proceso que conduzca, en el tiempo, a una situación de riesgo de enfermedad⁸³.

En los últimos veinte años, programas de investigación en todo el mundo han realizado avances significativos en la caracterización las interacciones posibles de los CEM y los organismos vivos, destacando los estudios sobre los efectos biológicos de los CEM y los mecanismos biofísicos implicados en tales efectos. También se ha profundizado en la cuestión de la relevancia que los efectos biológicos de los CEM detectados experimentalmente tienen para la salud; es decir, sobre si los resultados obtenidos en laboratorio son o no indicativos de efectos potencialmente nocivos, y si es alta o baja la probabilidad de que tales efectos se den en el organismo humano bajo condiciones reales de exposición. Asimismo, se ha investigado sobre si los efectos biológicos inducidos en los seres vivos por la presencia de CEM son transitorios o permanentes y, finalmente, si dichos efectos biológicos pueden tener aplicaciones terapéuticas o, por el contrario, consecuencias negativas para la salud.

Las evidencias científicas disponibles acerca de los efectos biológicos y de los efectos de los CEM sobre la salud son muy numerosas. Por ejemplo, en los 3 últimos años se han publicado alrededor de 900 artículos en revistas científicas internacionales, que a su vez han sido objeto de más de treinta recopilaciones y revisiones realizadas por expertos y recogidas en documentos monográficos, libros y prensa especializada. Está fuera de nuestro objetivo redactar una revisión bibliográfica pormenorizada. Sin embargo, para alcanzar el nivel de información que

⁸³ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index1.html>.

este documento requiere, es preciso realizar un examen exhaustivo de las evidencias científicas, analizar éstas en su conjunto considerando los hallazgos en un contexto general, valorar si los datos científicos son o no concluyentes y aplicar un “principio de precaución” cuando las evidencias sean discrepantes o existan aún cuestiones abiertas⁸⁴.

4.1.2 Evidencia sobre efectos biológicos de los campos electromagnéticos.

Para investigar los efectos biológicos de los CEM en el laboratorio, se han venido utilizando dos tipos de estudios: los llamados "in vitro", es decir, estudios sobre células aisladas en placas o tubos de ensayo; y los estudios "in vivo", que se realizan sobre animales o personas expuestos. Así se sabe que los CEM, en algunos experimentos y bajo determinadas condiciones, inducen ciertos efectos biológicos que a continuación se resumen.

- **Efectos biológicos sobre el sistema nervioso.** Al parecer, muchos de los efectos biológicos que se han presentado en animales o seres humanos que fueron expuestos a CEM se relacionan con interacciones del campo eléctrico o magnético sobre el sistema nervioso.

Una interacción de los CEM con el sistema nervioso resulta en principio un efecto biológico previsible, aunque no necesariamente de consecuencias nocivas, puesto que el sistema nervioso desempeña normalmente el papel principal en las interacciones de los seres vivos con los estímulos del entorno que les rodea; estímulos que en su mayoría consisten en agentes físicos⁸⁵ o químicos. Puesto que determinados CEM son capaces de actuar sobre el sistema nervioso, se ha pensado que otros sistemas u órganos pudieran igualmente verse también afectados de forma indirecta durante una exposición a CEM, a través de las conocidas relaciones funcionales neuroendocrinas. Esta hipotética forma de interacción ha sido utilizada para explicar otros efectos observados experimentalmente en los seres vivos expuestos a CEM.

Las manifestaciones biológicas detectadas en el sistema nervioso en relación con la exposición a CEM pueden originar desde respuestas fisiológicas hasta efectos nocivos⁸⁶, dependiendo de las características e intensidad del campo. Entre estas manifestaciones destacan los siguientes cambios:

- En el comportamiento y en las reacciones funcionales de todo o parte del organismo.
- Bioquímicos en células nerviosas.

⁸⁴ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index1.html>.

⁸⁵ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index1.html>.

⁸⁶ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index1.html>.

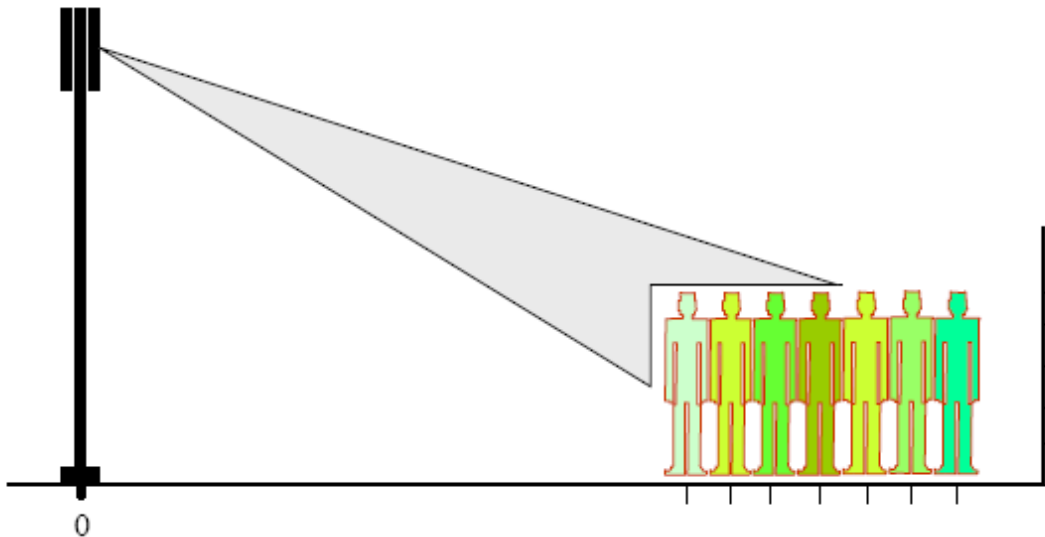
- En la conducción del impulso nervioso.
- Variaciones e incluso alteraciones de los niveles de neurotransmisores y neurohormonas⁸⁷.

Los datos más relevantes aportados por este tipo de estudios ponen de manifiesto que el sistema nervioso es sensible a exposiciones relativamente prolongadas a CEM relativamente intensos.

En esos casos, los efectos observados consistieron en modificaciones leves en el funcionamiento del sistema nervioso.

La relevancia que tales efectos puedan tener en la fisiología y salud humanas no se conoce. Sin embargo, es preciso puntualizar que muchos de estos estudios se han realizado bajo condiciones de laboratorio muy específicas⁸⁸ (por ejemplo en muchos de ellos se aplica un magnético estático, como el terrestre, conjuntamente con el campo alterno; igualmente otros se basan en niveles de exposición a CEM que son muy superiores a los que pueden experimentar las personas en su vida diaria).

Figura 9. Variación típica de la exposición de acuerdo a la distancia



Fuente: VARGAS, Francisco y UBEDA, Alejandro. Informe técnico elaborado por el comité de expertos, campos electromagnéticos y salud pública. Cali: Universidad del Valle, 2004.

⁸⁷ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index1.html>.

⁸⁸ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index1.html>.

• **Exposición a CEM y cambios en los Ritmos Biológicos.** Un cierto número de investigaciones condujo a examinar los efectos de los campos CEM sobre los ritmos biológicos naturales, es decir las variaciones que naturalmente experimentan muchos parámetros corporales de los seres vivos⁸⁹ a lo largo del día, los meses, las estaciones del año, etc. Muy particularmente, merecen atención especial dentro de este apartado las investigaciones de laboratorio relacionadas con la hormona melatonina y el control de los ritmos biológicos. La luz visible, que es una zona del espectro electromagnético, modula la síntesis de melatonina, y por ello, numerosos laboratorios han abordado la cuestión de si otras frecuencias, no visibles, del espectro pueden modificar también su producción⁹⁰. El interés por desvelar este interrogante se ve incrementado por el hecho de que, según algunos experimentos de laboratorio, la presencia o ausencia de melatonina parecen influir en el desarrollo y crecimiento de ciertos tumores⁹¹. Además se han detectado bajos niveles de melatonina en algunos enfermos de cáncer.

Unos primeros estudios experimentales con ratas y hámsters señalaron la posibilidad de que la exposición a campos electromagnéticos impidiera el aumento nocturno normal en la secreción de melatonina. Otros estudios sobre el mismo tema sugieren que los cambios del funcionamiento de la glándula pineal en ratones y ratas expuestos a CEM son además sensibles a la oscilación de los campos. Como contrapunto conviene mencionar que estudios posteriores, realizados sobre ovejas que vivían bajo una línea eléctrica de 500 kV y primates (mandriles), expuestos a distintos CEM de intensidades entre 50 y 100 T, no han demostrado que se modifique la secreción de melatonina, ni que se produzca efecto alguno ligado a ella.

Estas discrepancias pueden deberse bien al modelo animal utilizado, bien a que las condiciones de exposición en el laboratorio sean sustancialmente diferentes de las reales usadas en los experimentos sobre ovejas.

Resultados en trabajadores expuestos crónicamente a CEM intensos y en voluntarios expuestos a distintos niveles de inducción magnética (1 y 20 μ T) durante una noche, han proporcionado resultados dispares debidos, en parte, a diferencias metodológicas. En su conjunto, los estudios no han proporcionado evidencias consistentes de cambios irreversibles o significativos en los niveles de melatonina. Esto vendría a apoyar la idea de que el modelo animal y la metodología experimental empleada pueden resultar fundamentales en la detección de los efectos.

⁸⁹ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index1.html>.

⁹⁰ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index1.html>.

⁹¹ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index1.html>.

En definitiva, parece evidente que bajo determinadas circunstancias experimentales los CEM por encima de determinados valores de intensidad pueden alterar el reloj biológico en mamíferos. No obstante, es difícil extrapolar las posibles consecuencias que estos resultados pueden suponer para la salud.

• **Exposición a CEM y cáncer.** A pesar de que todavía se conoce poco sobre las causas de cánceres específicos, se comprenden lo suficientemente bien los mecanismos de la carcinogénesis como para que los estudios celulares y en animales puedan proporcionar información relevante para determinar si un agente, como por ejemplo los CEM, causa cáncer o contribuye a su desarrollo. Actualmente, la evidencia clínica y experimental indica que la carcinogénesis es un proceso que consta de varias fases, y está causado por una serie de daños en el material genético de las células⁹². Este modelo es conocido como "de carcinogénesis de múltiples etapas". Dichas etapas son las siguientes:

Iniciación, como consecuencia de una serie de daños en el material genético de las células, provocados por agentes llamados genotóxicos, y que conducen a la conversión de células normales en células precancerosas.

Promoción, que convierte las células precancerosas en cancerosas, al impedir, por ejemplo, la reparación del daño genético, o al hacer a la célula más vulnerable a otros agentes genotóxicos, o al estimular la división exagerada y sin control de una célula dañada.

Progresión, que se refiere al desarrollo del tumor propiamente y de su potencial para provocar metástasis en otras zonas del organismo. Genotoxicidad y CEM de Frecuencias bajas. Existen numerosos estudios sobre campos de frecuencia industrial y de radiofrecuencia en relación con la genotoxicidad, que incluyen unos 150 test distintos de actividad genotóxica. Estos análisis son mayoritariamente negativos, a pesar del hecho de que muchos han utilizado intensidades de campo muy elevadas. De los estudios que muestran indicios de genotoxicidad, la mayoría contienen una mezcla de resultados positivos y negativos, o resultados ambiguos. Como la mayoría de estas publicaciones contienen muchos sub-estudios, la presencia de algunos datos con resultados positivos o mixtos es explicable por simple azar. Ninguno de los resultados positivos obtenidos en experimentos con animales ha sido replicado⁹³. Muchos de los trabajos que han reportado resultados positivos han utilizado condiciones de exposición (por ejemplo, descargas eléctricas, campos pulsados, campos de 20.000 T y superiores) que son muy diferentes de las que se encuentran en la vida real.

Por último, no hay ninguna evidencia replicada de que los campos de frecuencia

⁹² *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index1.html>.

⁹³ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index1.html>.

industrial sean promotores o co-promotores, y los pocos estudios que han mostrado pruebas de promoción han utilizado intensidades de campos muy por encima de las que se encuentran en la vida real. Genotoxicidad y promoción tumoral de radiofrecuencias (telefonía móvil). Según la mayoría de los artículos, los campos de radiofrecuencias, y en particular las frecuencias utilizadas por los teléfonos móviles, no son genotóxicas: no inducen efectos genéticos *in vitro* [en cultivos celulares] e *in vivo* [en animales], por lo menos bajo condiciones no térmicas [condiciones que no producen calentamiento], y no parecen ser teratogénicas⁹⁴ [causar malformaciones congénitas] o inducir cáncer. Podría haber, únicamente, sutiles efectos indirectos en la replicación y/o transcripción de los genes bajo condiciones de exposición relativamente restringidas que se alejan de las condiciones reales.

Puede decirse como conclusión que, en general, los estudios de promoción del cáncer a las intensidades encontradas en la vida real no han demostrado que los CEM “no ionizantes” sean agentes o promotores del proceso cancerígeno.

En resumen, los estudios de laboratorio han proporcionado indicios de que los CEM no ionizantes, de intensidades relativamente bajas, podrían inducir determinadas respuestas biológicas. Sin embargo, por la propia metodología de esos estudios, la extrapolación de los datos a efectos sobre la salud de las personas no puede hacerse directamente. En otras palabras, no se ha podido comprobar que en condiciones de exposición a CEM que respeten los niveles de referencia de la Recomendación del CMSUE⁹⁵ los efectos biológicos observados experimentalmente impliquen o signifiquen un riesgo para la salud.

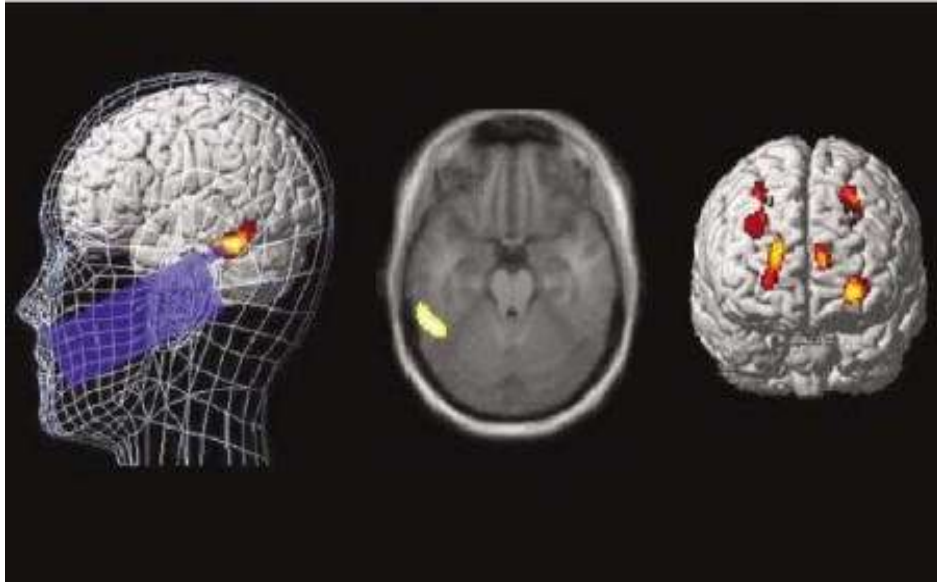
No obstante, el interés de los estudios que han revelado respuestas biológicas a CEM débiles es indudable. La importancia de estos estudios radica en que nos ayudan a formular, como en el caso de la melatonina, hipótesis sobre los posibles mecanismos de acción de estos campos. Y la identificación de tales mecanismos podría ser crucial para la interpretación de estudios epidemiológicos sobre colectivos de personas expuestas a CEM de fuentes distintas.

(Ver Figura 10, página siguiente).

⁹⁴ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index1.html>.

⁹⁵ *Ibíd.*, Disponible en internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/index1.html>.

Figura 10. Efecto de un teléfono móvil sobre el flujo sanguíneo cerebral determinado con tomografía de emisión de positrones

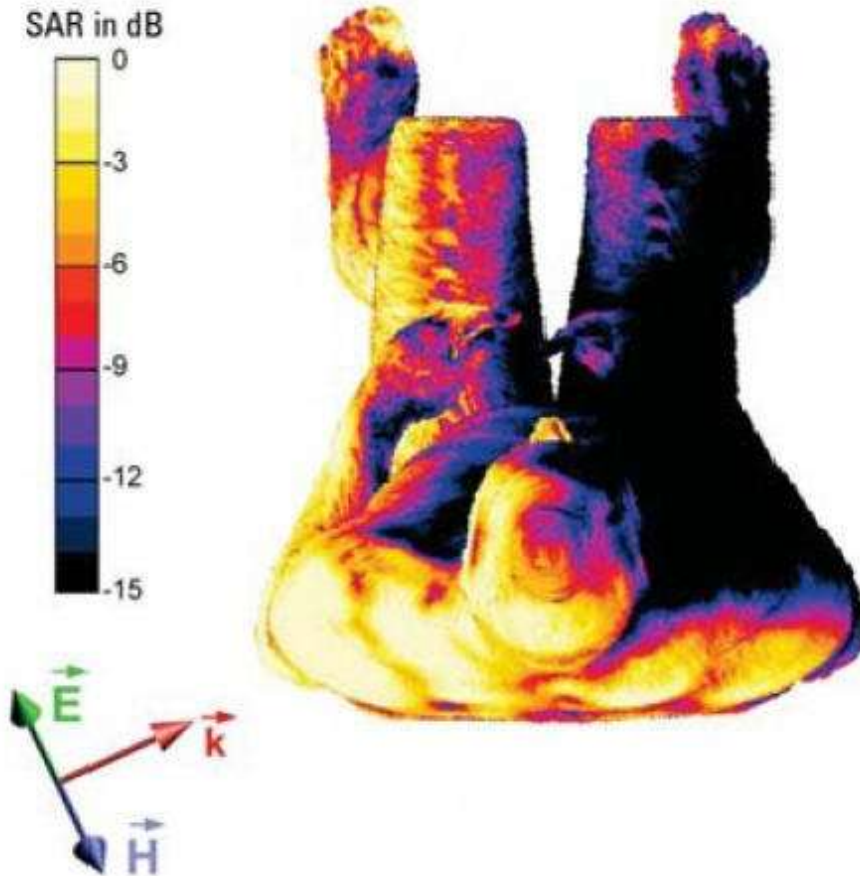


Fuente: SARAÍ, F. D. Telefonía móvil (celular) y Salud Humana Saraví F. D. Área de Física Biológica. Departamento de Morfología y Fisiología. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Cuyo. Servicio de Densitometría. Escuela de Medicina Nuclear, Mendoza [en línea]. Argentina: revista medicina, 2007 [consultado 28 de junio de 2007]. Disponible en: http://revista.medicina.edu.ar/vol03_01/08/index.php.

En la figura anterior a la izquierda se indica la posición del teléfono. En la imagen de la izquierda y el centro se muestra una reducción del flujo en la circunvolución fusiforme del lóbulo temporal posteroinferior izquierdo durante la exposición. A la derecha se indican áreas de ambos lóbulos frontales con aumento del flujo durante la exposición. De alto y col. (172). Reproducido con permiso de Macmillan Publishers Ltd, J Cerebral Blood Flow Metab 26: 885-890, copyright 2006.

(Ver Figura 11, página siguiente).

Figura 11. Distribución de la tasa específica de absorción (SAR) en la superficie del cuerpo de un varón de 80 kg sentado, visto de arriba, durante los experimentos de exposición simulada a una estación de base (antena) de telefonía móvil. Se indica la dirección de propagación de las ondas (k), del campo eléctrico (E) y del campo magnético (H). Cero dB corresponde a una SAR de 0.05 W/kg para $E=1$ V/m.



Fuente: De Regel y col. Environ Health Persp 114:1270-1275 [en línea]. Reproducido con permiso de Environmental Health Perspectives. Estados Unidos: ehponline, 2006 [consultado 28 de julio de 2007]. Disponible en Internet: <http://pwww.ehponline.org>.

4.2 NORMATIVA SOBRE EXPOSICIÓN A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

4.2.1 Normativa nacional

Decreto 195 de 2005 (enero 31). Por el cual se adopta límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones.

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA,

En ejercicio de sus facultades constitucionales y legales y en especial las que le confieren el artículo 189, numeral 11 de la Constitución Política, el artículo 19 del Decreto-ley 1900 de 1990 y demás normas concordantes,

CONSIDERANDO:

Que en el marco de los derechos colectivos y del ambiente, se encuentra el señalado en los artículos 79 y 80 de la Constitución Política, en virtud del cual, todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y corresponde al Estado prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental;

Que conforme a lo dispuesto en el artículo 149 de la Ley 09 de 1979, "todas las formas de energía radiante, distintas de las radiaciones ionizantes que se originen en lugares de trabajo, deberán someterse a procedimientos de control para evitar niveles de exposición nocivos para la salud o eficiencia de los trabajadores";

Que en virtud del artículo 56 del Decreto-ley 1295 de 1994, le corresponde al Gobierno Nacional expedir las normas reglamentarias técnicas tendientes a garantizar la seguridad de los trabajadores y de la población en general en la prevención de accidentes de trabajo y enfermedad profesional y ejercer la vigilancia y control de todas las actividades para la prevención de los riesgos profesionales;

Que la Ley 72 de 1989 establece que el Gobierno Nacional promoverá la cobertura nacional de los servicios de telecomunicaciones y su modernización, a fin de propiciar el desarrollo socioeconómico de la población. De la misma forma, el Decreto-ley 1900 de 1990 establece que las telecomunicaciones deberán ser utilizadas como instrumentos para impulsar el desarrollo político, económico y social del país, con el objeto de elevar el nivel y la calidad de vida de los habitantes;

Que el artículo 5° del Decreto-ley 1900 de 1990 establece que el Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Comunicaciones, ejercerá las funciones de planeación, regulación y control de las telecomunicaciones;

Que el artículo 19 del Decreto-ley 1900 de 1990 dispone que las facultades de gestión, administración y control del espectro electromagnético comprenden, entre

otras, la adopción de medidas tendientes a establecer su correcto y racional uso;

Que el numeral 6 del artículo 1º de la Ley 99 de 1993, a través del cual se establecen los principios generales ambientales bajo los cuales se rige la política ambiental en el país, se consagra el principio de precaución, de acuerdo con el cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no podrá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente;

Que conforme al artículo 2º de la Ley 99 de 1993, corresponde al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, como ente rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación a fin de asegurar el desarrollo sostenible;

Que conforme al artículo 31 de la Ley 99 de 1993, corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales como administradoras de los recursos naturales renovables en el área de su jurisdicción, otorgar las licencias, permisos, concesiones y autorizaciones para el uso y goce de dichos recursos naturales renovables, de conformidad con las normas de carácter superior y los criterios y directrices trazadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial;

Que conforme al artículo 1º del Decreto-ley 216 de 2003, por el cual se determinaron los objetivos, la estructura orgánica del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se dispuso que tendrá como objetivos primordiales contribuir y promover el desarrollo sostenible a través de la formulación y adopción de las políticas, planes, programas, proyectos y regulación en materia ambiental, recursos naturales renovables, uso del suelo, ordenamiento territorial, agua potable y saneamiento básico y ambiental, desarrollo territorial y urbano, así como en materia habitacional integral;

Que la Ley 252 de 1995 aprobó la inclusión en el ordenamiento jurídico colombiano los Tratados de la "Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones", del "Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones", del "Protocolo Facultativo sobre la solución obligatoria de controversias relacionadas con la constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones", del "Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y los Reglamentos Administrativos", adoptados en Ginebra el 22 de diciembre de 1992;

Que el artículo 12 del Decreto-ley 1900 de 1990 establece que en la reglamentación sobre redes y servicios de telecomunicaciones, se tendrán en cuenta las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, de conformidad con los Convenios, Acuerdos o Tratados celebrados por el Gobierno y aprobados por el Congreso;

Que la creciente demanda de servicios de telecomunicaciones por parte de la población, ha generado la necesidad de construir un elevado número de instalaciones radioeléctricas, con el fin de ampliar los niveles de calidad y cobertura de los servicios y garantizar el acceso de los mismos a todas las personas,

actividad que genera emisión de ondas electromagnéticas;

Que dicha modificación de las condiciones en el ambiente condujo a que el Gobierno Nacional, a través de la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, con el fin de valorar los aspectos asociados a la radiación producida por emisores intencionales de radiación o antenas de telecomunicaciones, contratara un estudio con la Pontificia Universidad Javeriana cuyo resultado fue el documento "Estudio de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno". Dicho estudio recomendó la adopción de los niveles de referencia de emisión de campos electromagnéticos definidos por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante, Icnirp, ente reconocido oficialmente por la Organización Mundial de la Salud, OMS;

Que la presente norma tiene fundamentos en la Recomendación de Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT-T K.52 "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos", la Recomendación 1999/519/EC (julio 1999) del Consejo Europeo, "por la cual se establecen límites de exposición del público en general a campos electromagnéticos" y en "Recomendaciones para limitar la exposición a campos electromagnéticos" resultado del estudio realizado por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante, Icnirp;

Que de conformidad con lo establecido en el artículo 311 de la Constitución Política, le corresponde a los municipios ordenar el desarrollo de su territorio y propender por el mejoramiento social de sus habitantes y dado que la correlación existente con los desarrollos legislativos, en especial el establecido en la Ley 99 de 1993 en su artículo 63, que señala el principio de gradación normativa en materia ambiental y la Ley 388 de 1997 en su artículo 10, numeral 1, en el que establece las determinantes de los Planes de Ordenamiento Territorial;

Que se hace necesario dar coherencia y uniformidad a los requisitos y procedimientos que deben surtirse en la instalación de infraestructura de telecomunicaciones, con base en principios de economía, celeridad, eficacia, eficiencia y transparencia que rigen la función administrativa, mediante lineamientos que permitan adoptar límites de seguridad en la exposición a campos electromagnéticos, a la vez de fijar estándares para asegurar la conformidad de las emisiones a estos límites y ajustar lineamientos en los procedimientos de instalación de infraestructura de telecomunicaciones en beneficio de la ciudadanía en general;

Que con base en lo anterior, el Gobierno Nacional, para propender por la conservación e integridad del ambiente sano y el manejo racional y correcto del espectro electromagnético para los ciudadanos, en ejercicio de las atribuciones conferidas por el artículo 19 del decreto-ley 1900 de 1990,

Ver la Circular del Min. Ambiente 01 de 2005.

DECRETA

TITULO I

GENERALIDADES

Artículo 1°. **Ámbito de aplicación.** Las obligaciones establecidas en el presente decreto, se aplicarán a quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones en la gama de frecuencias de 9 KHz a 300 GHz, en el territorio de la República de Colombia, sin perjuicio a lo establecido en el artículo 76 de la Constitución Política.

Artículo 2°. **Objeto.** Reglamentado por la Resolución del Min. Comunicaciones 1645 de 2005. El presente decreto tiene por objeto adoptar los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos producidos por estaciones radioeléctricas en la gama de frecuencias de 9 KHz a 300 GHz y establecer lineamientos y requisitos únicos en los procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas en telecomunicaciones.

Para lo no contemplado en la presente norma, se deberá atender la Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T K.52 "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos", las recomendaciones que la adicionen o sustituyan.

Parágrafo. Las disposiciones de este decreto no aplican para los emisores no intencionales, las antenas receptoras de radiofrecuencia, fuentes inherentemente conformes y los equipos o dispositivos radioeléctricos terminales de usuario. El Ministerio de Comunicaciones definirá las fuentes radioeléctricas inherentemente conformes.

Artículo 3°. **Definiciones y acrónimos.** Reglamentado por la Resolución del Min. Comunicaciones 1645 de 2005. Para efectos del presente decreto y teniendo bases en las definiciones adoptadas internacionalmente por la Unión Internacional en Telecomunicaciones, UIT, se relacionan las siguientes definiciones técnicas:

3.1 **Arreglo de antenas:** Conjunto de antenas dispuestos y excitados a modo de obtener un patrón de radiación dado. Estos elementos operan en la misma frecuencia para conformar dicho patrón.

3.2 **Centro de radiación:** Punto equivalente desde donde radia una antena o arreglo de antenas. También se conoce como centro eléctrico de radiación.

3.3 **Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica - DCER :** Es el formato que contiene la información recogida por la persona natural o jurídica, pública o privada, que es responsable de la gestión de un servicio y/o actividad de telecomunicaciones en virtud de autorización o concesión o por ministerio de la ley, en la cual el representante legal manifiesta, bajo la gravedad de juramento, el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, el seguimiento de la metodología para asegurar la conformidad

de los mismos, la adecuada delimitación de las zonas de exposición a campos electromagnéticos y las técnicas de mitigación, de acuerdo con lo establecido en el presente decreto.

El responsable de la declaración deberá definir autocontroles para asegurar continuidad en el cumplimiento de lo declarado, tales como los que se describen en el artículo 5° de este decreto, particularmente para cualquier ampliación, extensión, renovación o modificación de las condiciones del uso de las frecuencias radioeléctricas.

El Ministerio de Comunicaciones expedirá en un término no superior a seis meses, contados a partir de la publicación del presente decreto, el respectivo formato de Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica mediante resolución.

3.4 Densidad de potencia: Potencia por unidad de superficie normal a la dirección de propagación de la onda electromagnética. Suele expresarse en vatios por metro cuadrado (W/m²).

3.5 Emisor no intencional: Dispositivo que genera intencionalmente energía electromagnética para utilización dentro del dispositivo o que envía energía electromagnética por conducción a otros equipos, pero no destinado a emitir o a radiar energía electromagnética por radiación o inducción.

3.6 Emisor intencional: Dispositivo que genera y emite intencionalmente energía electromagnética por radiación o por inducción

3.7 Estación radioeléctrica: Son los elementos físicos que soportan y sostienen las redes de telecomunicaciones. Se compone de equipos transmisores y/o receptores, elementos radiantes y estructuras de soporte como torres, mástiles, azoteas, necesarios para la prestación del servicio y/o actividad de telecomunicaciones.

3.8 Exposición: Se produce exposición siempre que una persona está sometida a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos o a corrientes de contacto distintas de las originadas por procesos fisiológicos en el cuerpo o por otros fenómenos naturales.

3.9 Exposición de público en general: Aquella donde las personas expuestas a ondas electromagnéticas no forman parte del personal que labora en una Estación radioeléctrica determinada; no obstante, están expuestas a las emisiones de campo electromagnético de radiofrecuencia producidas por dichas estaciones.

3.10 Exposición controlada/ocupacional: Aquella en las que las personas están expuestas como consecuencia de su trabajo y en las que las personas expuestas han sido advertidas del potencial de exposición y pueden ejercer control sobre la misma. La exposición controlada/ocupacional también se aplica cuando la exposición es de naturaleza transitoria de resultados del paso ocasional por un lugar en el que los límites de exposición puedan ser superiores a los límites no controlados, para la población general, ya que la persona expuesta ha sido advertida del potencial de exposición y puede controlar esta por algún medio

apropiado.

3.11 Fuente inherentemente conforme: Son aquellas que producen campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente. No son necesarias precauciones particulares. El criterio para la fuente inherentemente conforme es una PIRE de 2W o menos, salvo para antenas de microondas de apertura pequeña y baja ganancia o antenas de ondas milimétricas cuando la potencia de radiación total de 100 mW o menos podrá ser considerada como inherentemente conforme.

3.12 Fuente radiante: Cualquier antena o arreglo de antenas transmisoras.

3.13 Intensidad de campo eléctrico: Fuerza por unidad de carga que experimenta una partícula cargada dentro de un campo eléctrico. Se expresa en voltios por metro (V/m) o en dBV/m si está en forma logarítmica.

3.14 Intensidad de campo magnético: Magnitud vectorial axial que junto con la inducción magnética, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios por metro (A/m) o en dBA/m si está en forma logarítmica.

3.15 Límites máximos de exposición: Valores máximos de las intensidades de campo eléctrico y magnético o la densidad de potencia asociada con estos campos, a los cuales una persona puede estar expuesta.

3.16 Nivel de decisión: Nivel de intensidad de campo eléctrico o magnético correspondiente a la cuarta parte del límite máximo de exposición permitido para el caso respectivo.

3.17 Nivel de emisión: Valor promedio de la intensidad de campo eléctrico o magnético en la zona ocupacional para una fuente de radiofrecuencia determinada, la cual opera a una frecuencia específica. Este valor se obtiene con un sistema de medición de banda angosta.

3.18 Nivel de exposición porcentual: Valor ponderado de campo electromagnético (eléctrico o magnético) producto del aporte de energía de múltiples fuentes de radiofrecuencia, en cada una de las posibles zonas de exposición a campos electromagnéticos. Este valor se obtiene con un sistema de medición de banda ancha.

3.19 Onda plana: Onda electromagnética en la cual el vector campo eléctrico y magnético permanece de forma ortogonal en un plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

3.20 Patrón de radiación: Diagrama que describe la forma como la antena radia la energía electromagnética al espacio libre. El patrón de radiación se describe en forma normalizada respecto al nivel de máxima radiación, cuyo valor es igual a 1 si se representa en forma lineal ó 0 dB si se representa en forma logarítmica.

3.21 Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE): Producto de la potencia suministrada a la antena P [W] por su ganancia con relación a una antena isotrópica en una dirección dada (ganancia isotrópica o absoluta) GA [veces]. O Potencia suministrada a la antena P [dBm] más su ganancia G [dBi].

3.22 Hot Spot: Puntos del espacio en los cuales los niveles de campo son especialmente altos, debido al efecto de la superposición en fase de diversas ondas, provenientes de varios lugares.

3.23 Región de campo cercano: Area adyacente a una fuente radiante, en la cual los campos no tienen la forma de una onda plana, pudiéndose distinguir dos subregiones: campo cercano reactivo, el cual posee la mayoría de la energía almacenada por el campo, y campo cercano de radiación, el cual es fundamentalmente radiante. La presencia de campo reactivo hace que el campo electromagnético no tenga la distribución de una onda plana, sino distribuciones más complejas.

3.24 Región de campo lejano: Area distante a una fuente radiante donde la distribución angular del campo electromagnético es esencialmente independiente de la distancia con respecto de la antena y su comportamiento es predominantemente del tipo de onda plana.

3.25 Sistema de medición de banda ancha: Conjunto de elementos para medir campos electromagnéticos, el cual ofrece una lectura de la variable electromagnética considerando el efecto combinado de todas las componentes frecuenciales que se encuentran dentro de su ancho de banda especificado.

3.26 Sistema de medición de banda angosta: Conjunto de elementos que permite medir de forma selectiva en frecuencia, el cual permite conocer la magnitud de la variable electromagnética medida (intensidad de campo eléctrico, magnético o densidad de potencia), debida a una componente frecuencial o a una banda muy estrecha de frecuencia.

3.27 Sonda: Elemento transductor que convierte energía electromagnética en parámetros eléctricos medibles mediante algún instrumento. Puede ser una antena o algún otro elemento que tenga la capacidad descrita.

3.28 Tiempo de promediación: Período de tiempo mínimo en el que se deben realizar las mediciones con el fin de determinar el cumplimiento con los límites máximos de exposición.

3.29 Zonas de exposición a campos electromagnéticos: Las zonas se definen con base en la siguiente gráfica:

3.29.1 Zona de público en general: En la zona la exposición potencial al CEM está por debajo de los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general, y por lo tanto, también está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional/controlada, y que en el caso de múltiples fuentes, el nivel de exposición porcentual es menor al ciento por ciento (100%).

3.29.2 Zona ocupacional: En la zona ocupacional, la exposición potencial al CEM está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general.

3.29.3 Zona de rebasamiento: En la zona de rebasamiento, la exposición potencial al CEM sobrepasa los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional y a la exposición no controlada del público en general.

3.30 Acrónimos:

3.30.1 CEM: Campo electromagnético.

3.30.2 PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Efectiva.

3.30.3 RMS: Raíz Cuadrática Media (valor eficaz).

3.30.4 DCER: Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica.

TITULO II

APLICACIÓN Y DESARROLLO

Artículo 4°. Límites máximos de exposición. Quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones deben asegurar que en las distintas zonas de exposición a campos electromagnéticos, el nivel de emisión de sus estaciones no exceda el límite máximo de exposición correspondiente a su frecuencia de operación, según los valores establecidos en la Tabla 1, correspondientes al cuadro I.2/K.52 de la Recomendación UIT-T K.52 "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos".

Se deberá delimitar por letreros o cualquier otro medio visible, la delimitación de las zonas de exposición a campos electromagnéticos:

- a) De público en general;
- b) Ocupacional;
- c) Rebasamiento.

Tabla.1. Límites máximos de exposición según la frecuencia de operación

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (V/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m ²)
Ocupacional	9 - 65 KHz	610	24,4	-
	0,065 - 1 MHz	610	1,6/f	-
	1-10 MHz	610/f	1,6/f	-
	10 - 400 MHz	61	0,16	10
	400 - 2.000 MHz	3 f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	f/40
	2 - 300 GHz	137	0,36	50
Público en general	9 - 150 KHz	87	5	-
	0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	-
	1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	-
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
	400 - 2.000 MHz	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	f/200
	2 - 300 GHz	61	0,16	10

Fuente: NORMATIVA SOBRE EXPOSICION A LOS CAMPOS ELECTROMAGNETICO Colombia: Decreto 195, 2005 [consultado 25 de octubre de 2008].

NOTAS:

NOTA 1. F es la indicada en la columna gama de frecuencias.

NOTA 2. Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el tiempo de promediación es de 6 minutos.

NOTA 3. Para frecuencias hasta 100 kHz, los valores de cresta pueden obtenerse multiplicando el valor eficaz por(»1,414). Para impulsos de duración tp, la frecuencia equivalente aplicable debe calcularse como $f = 1/(2tp)$.

NOTA 4. Entre 100 KHz y 10 MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100 MHz hasta 32 veces la cresta a 10 MHz. Para valores que sob repasen 10 MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta, promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el límite Seq, o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro.

NOTA 5. Para frecuencias superiores a 10 GHz, el tiempo de promediación es de 68/f1, 05 minutos (f en GHz).

Parágrafo. Aun cuando los niveles de emisión de las distintas estaciones radioeléctricas que se encuentran dentro de una determinada zona ocupacional, cumplan de manera individual con los límites señalados en la Tabla 1, se debe verificar que el nivel de exposición porcentual para campo eléctrico o magnético sea menor a la unidad, menor al ciento por ciento (100%), según la banda de frecuencia estudiada. Este nivel se calculará según las expresiones dadas en el numeral 1.3 del Apéndice I de la Recomendación UIT-T K.52, "Orientación sobre el cumplimiento

de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos", las cuales se muestran a continuación. De acuerdo con los límites de aplicación de las fórmulas, para el rango de frecuencias entre 100 Khz y 10 MHz se tienen dos resultados para campo eléctrico (E1 y E2) y dos para campo magnético (B1 y B2), se debe tomar el resultado más elevado para la verificación de cada campo.

Artículo 5°. Superación de los límites máximos de exposición. Reglamentado por la Resolución del Min. Comunicaciones 1645 de 2005. En caso de que en alguna zona ocupacional el nivel de exposición porcentual llegase a ser mayor a la unidad, debe medirse el nivel de emisión de cada fuente radiante o estación radioeléctrica, e identificar cuáles de ellas superan el límite máximo de exposición correspondiente a su frecuencia de operación. Aquellas fuentes radiantes o estaciones radioeléctricas que lo superen deben ajustarse empleando técnicas de mitigación que permitan mantener los niveles de emisión dentro de los márgenes permitidos, tales como: Aumentar la altura de las antenas, uso de apantallamientos o mecanismos similares de protección, limitar la accesibilidad de personas a la zona ocupacional en cuestión, reducir la potencia de emisión, trasladar la fuente de radiación a otro sitio, entre otras, hasta que cada una de ellas emita por debajo de su respectivo límite. Cuando el tamaño del predio lo permita, se podrá trasladar la delimitación de las zonas de exposición a campos electromagnéticos, siempre y cuando la nueva delimitación entre la zona ocupacional y la de público en general siga estando dentro del predio donde se encuentran las estaciones radioeléctricas.

Si una vez cumplido lo anterior, el nivel de exposición porcentual continuase siendo mayor a la unidad, todas las fuentes radiantes debe mitigarse proporcionalmente al aporte que realiza dicha fuente radiante a la sumatoria de la Tabla 2, artículo 4°. El Ministerio de Comunicaciones establecerá un procedimiento de ayuda para definir dicho porcentaje mediante resolución.

Independientemente del cumplimiento de los niveles, quienes operen estaciones radioeléctricas, deben incluir dentro de las medidas de protección para los trabajadores, controles de ingeniería y administrativos, programas de protección personal y vigilancia médica, conforme lo establecido en la normatividad vigente de atención y prevención de de riesgos profesionales o las que establezcan las autoridades competentes en salud ocupacional, en especial, las contenidas en el Decreto-ley 1295 de 1994 y demás normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan.

Para efectos de la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica, DCER, quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones, podrán tipificar antenas para homologar las mediciones, siempre y cuando las condiciones de propagación e instalación sean equivalentes.

Independientemente de la tipificación se deben medir todas las estaciones radioeléctricas que se encuentren a menos de 150 metros de centros educativos, centros geriátricos y centros de servicio médico. De la misma forma, si adyacentes a la estación radioeléctrica existen edificios cuya altura sea comparable a la altura de la fuente radiante, deberán buscarse hot spots en dichos edificios también. La responsabilidad de los representantes legales se mantendrá en los términos

establecidos en el artículo 3.3 del presente decreto.

Artículo 6°. Plazos de cumplimiento. Quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones, deberán entregar al Ministerio de Comunicaciones, en un plazo no superior a dos (2) años la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica de todas sus estaciones radioeléctricas, en el que harán constar el cumplimiento de los límites y condiciones establecidos en el presente decreto. La declaración DCER se entenderá presentada bajo la gravedad de juramento.

Los dos años serán contados a partir de la entrada en vigencia de la resolución que el Ministerio de Comunicaciones expida para definir la metodología de medición y el contenido del formato DCER. Quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones, deberán entregar al Ministerio de Comunicaciones informes de avance de las mediciones en el formato DCER cada seis (6) meses, es decir, a los seis, a los doce y a los dieciocho meses de definida la metodología de medición y el contenido del formato DCER.

Los prestadores de servicios y/o actividades de telecomunicaciones deberán priorizar y realizar sus mediciones teniendo en consideración las zonas con mayor concentración de antenas respecto a mayor densidad poblacional.

El Ministerio de Comunicaciones se reserva la facultad de verificar e inspeccionar, de oficio o a solicitud de parte, la información suministrada, y podrá reglamentar el cobro de las mediciones que deba realizar a solicitud de parte.

De igual forma se realizará cuando se requiera verificar las múltiples fuentes de radiación que se encuentren en un mismo lugar. La verificación del cumplimiento versará al menos del cumplimiento con los límites de exposición y con la delimitación de las zonas:

- a) De público en general;
- b) Ocupacional, y de
- c) Rebasamiento.

Quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones, deberán actualizar la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica cada cuatro años, contados a partir de la entrega de la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica anterior. Dicha DCER deberá soportarse de igual forma con las respectivas mediciones.

Artículo 7°. Vigilancia y control. En ejercicio de las funciones de vigilancia y control y sin perjuicio de las funciones atribuidas a las entidades territoriales en relación con la ordenación y uso del suelo, el Ministerio de la Protección Social, el Ministerio de Comunicaciones y el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el marco de lo dispuesto en el Decreto-ley 1295 de 1994, el Decreto-ley 1900 de 1990, y la Ley 99 de 1993, impondrán las sanciones derivadas del incumplimiento de las disposiciones contenidas en el presente decreto.

El Ministerio de Comunicaciones impondrá sanciones a quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones que no cumplan con las condiciones y límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, y con las demás obligaciones establecidas en el presente decreto, en los términos de lo establecido en el numeral 11 del artículo 52 y en el artículo 53 del Decreto-ley 1900 de 1990.

En materia de salud pública, corresponde a las entidades territoriales ejercer las funciones de inspección, vigilancia y control conforme a lo dispuesto en la Ley 715 de 2001, para lo cual podrán aplicar las medidas de seguridad e imponer las sanciones correspondientes, en virtud de lo establecido en los artículos 576 y siguientes de la Ley 9ª de 1979.

Lo anterior, sin perjuicio de la imposición de las medidas preventivas y sancionatorias a que haya lugar en materia de medio ambiente y recursos naturales renovables conforme lo dispone el artículo 85 de la Ley 99 de 1993, por parte de las autoridades ambientales.

Parágrafo. El Ministerio de Comunicaciones podrá inspeccionar de oficio o a solicitud de parte la instalación y niveles de las fuentes radiantes, con el fin de verificar el cumplimiento de las normas establecidas en el presente decreto y demás normas aplicables, para lo cual podrá, según lo considere necesario, efectuar directamente las pruebas de conformidad de estaciones radioeléctricas o acreditar peritos que cumplan con lo establecido en el presente artículo y que no se encuentren incurso en conflicto de intereses respecto a los inspeccionados.

Cuando la medición se realice a solicitud de parte, los gastos de la medición estarán a cargo del responsable de la estación radioeléctrica que presta servicios y/o actividades de telecomunicaciones, si está incumpliendo lo indicado en la presente normativa. Si está cumpliendo, el responsable de los gastos de la medición será el solicitante.

Artículo 8°. Prueba suficiente. Las entidades territoriales, en el procedimiento de autorización para la instalación de antenas y demás instalaciones radioeléctricas, en ejercicio de sus funciones de ordenamiento territorial, deberán admitir como prueba suficiente para el cumplimiento de dicho requisito, la copia de la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica con la marca oficial de recibido del Ministerio de Comunicaciones.

Parágrafo. Para la autorización de instalación de las antenas y demás instalaciones radioeléctricas, los municipios y distritos deberán tener en cuenta las disposiciones que en materia de medio ambiente y recursos naturales renovables hayan expedido las autoridades ambientales conforme lo dispone el artículo 10 de la Ley 388 de 1997 y la compatibilidad con el uso del suelo definido en el respectivo Plan de Ordenamiento Territorial.

Artículo 9°. Evaluación periódica. El Ministerio de Comunicaciones, en coordinación con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Ministerio de la Protección Social, revisarán periódicamente las restricciones básicas y los niveles

de referencia adoptados por el Gobierno Nacional, a la luz de los nuevos conocimientos, de las novedades de la tecnología y de las aplicaciones de las nuevas fuentes y prácticas que dan lugar a la exposición a campos electromagnéticos, con el fin de garantizar el nivel de protección más adecuado al medio ambiente, a los trabajadores y la comunidad en general. Para la evaluación podrá invitarse para presentar sus opiniones, a personas de los distintos sectores de la sociedad, del académico, gremios y ciudadanos interesados en el tema.

El Ministerio de Comunicaciones adaptará la metodología de medición y los procesos de verificación de cumplimiento, mediante resolución motivada, cuando tal necesidad se evidencie de la revisión y evaluación anual de las restricciones básicas y los niveles de referencia de que trata el párrafo anterior.

Artículo 10. Condición para la instalación de nuevas estaciones radioeléctricas, dentro o alrededor de una zona ocupacional ya establecida. La instalación y operación de Estaciones radioeléctricas dentro, o en las cercanías de una zona ocupacional ya establecida, está condicionada a que el nivel de exposición porcentual en dicha zona, sea menor o igual a la unidad, es decir, menor o igual al ciento por ciento (100%), de acuerdo con lo establecido en el artículo 4° del presente decreto.

Artículo 11. Coexistencia de las antenas transmisoras sobre una misma infraestructura de soporte o en las zonas de exposición de que trata el numeral 3.29. En el caso de que en una estación radioeléctrica, más de una persona natural o jurídica autorizada para el uso del espectro, requiera emplazar sus antenas transmisoras sobre la misma infraestructura de soporte, tales como: Torres, mástiles, edificaciones, entre otras, deben verificar que el nivel de exposición porcentual no exceda a la unidad, de acuerdo con lo establecido en el artículo 4° del presente decreto. En tal sentido, los operadores de Estaciones radioeléctricas se suministrarán mutuamente los datos técnicos necesarios para realizar el estudio y verificar el cumplimiento individual y conjunto.

Parágrafo. En caso de presentarse diferencias con ocasión del cumplimiento de los límites de exposición, en las zonas donde se presentan múltiples fuentes radiantes, y los propietarios de las mismas no ajustan la radiación de la estación radioeléctrica o demás condiciones para el cumplimiento del Nivel de Exposición Porcentual, el Ministerio de Comunicaciones impondrá las sanciones a que haya lugar por el incumplimiento de lo establecido en el presente decreto, bajo condiciones que permitan promover la cobertura nacional de los servicios de telecomunicaciones y su modernización, bajo los criterios establecidos en el Decreto-ley 1900 de 1990 que permitan la conjunción entre un acceso eficiente y un acceso igualitario propendiendo por que los grupos de población de menores ingresos económicos, los residentes en áreas urbanas y rurales marginales o de frontera, las minorías étnicas y en general los sectores más débiles o minoritarios de la sociedad accedan a los servicios de telecomunicaciones.

Artículo 12. Alturas y distancias de seguridad para la instalación de antenas transmisoras. Los operadores de estaciones radioeléctricas deberán consultar los lineamientos contenidos en los textos y cuadros de la Recomendación UIT-T K. 52,

según corresponda, para la determinación de las distancias y/o alturas necesarias para determinar la zona de rebasamiento y delimitar la zona ocupacional, alrededor de las antenas a la cual debe limitar el acceso del público en general, por medio de barreras físicas y señalización adecuada.

TITULO II

MEDICIONES DE LOS LÍMITES DE RADIACIÓN

Artículo 13. Requisitos de quienes realicen las mediciones. Para el cumplimiento de los límites de emisiones radioeléctricas, los prestadores de servicios y/o actividades de telecomunicaciones deberán contratar sus mediciones con terceros, dichas mediciones deberán cumplir las siguientes condiciones:

- a) Indicar los sistemas de medición de banda ancha y banda angosta, especificando su número de serial y los certificados de calibración vigente. La fecha de última calibración no podrá haberse realizado en un período superior a un año;
- b) Garantizar que la presentación de las mediciones serán avaladas con la firma de un ingeniero eléctrico, electrónico, de telecomunicaciones u otra carrera con especialización afín, que haya tenido experiencia demostrada en mediciones relacionadas con este tipo de estudios. De todas formas el operador deberá garantizar la idoneidad de este profesional;
- c) Cumplir con los requisitos contemplados en el Programa de Salud Ocupacional de la empresa para la cual laboran.

En el caso de realizar las mediciones con terceros, estos deberán inscribirse previamente ante la Dirección de Administración de Recursos de Comunicaciones del Ministerio de Comunicaciones, acreditando experiencia en mediciones del espectro radioeléctrico mediante una (1) certificación de servicio prestado a satisfacción.

Artículo 14. Condiciones de las mediciones. Las mediciones deben estar soportadas por un reporte y memoria del cumplimiento de la metodología de las mismas, el cual deberá ser almacenado, por quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones, por lo menos durante cuatro años, a disposición del Ministerio de la Protección Social y de Ambiente, del Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, y del Ministerio de Comunicaciones para cuando estos lo requieran, con fines de verificar el cumplimiento de las limitantes impuestas a las emisiones radioeléctricas de que trata el presente decreto.

El reporte debe ser entregado a más tardar, dentro de los diez (10) días hábiles después de realizada la solicitud del Ministerio de Comunicaciones.

El reporte debe incluir:

- a) Los resultados de las mediciones realizadas del nivel de intensidad de campo eléctrico (E) o de la intensidad de campo magnético (H) y el nivel de exposición

porcentual irradiado;

b) Copia de los certificados de calibración con vigencia no mayor a un (1) año, expedida por el fabricante o laboratorio debidamente autorizado por el fabricante de todos los instrumentos de medida utilizados;

c) Fotografías de la estación radioeléctrica objeto de medición, en las cuales se debe poder observar:

- Las antenas transmisoras instaladas,
- Las zonas de exposición a campos electromagnéticos respectivas.
- Puertas o demás medios de acceso al sitio.

d) Un plano del emplazamiento en el que delimiten las zonas de rebasamiento, zona ocupacional con su respectivo medio de encerramiento y la zona de público en general;

e) Procedimiento o metodología utilizada para realizar las mediciones.

La medición corresponde a puntos de la zona de campo lejano, luego solamente bastará la medición de una de las tres magnitudes de campo electromagnético (intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético o densidad de potencia), las demás se podrán obtener a partir de las ecuaciones que describe la onda electromagnética plana:

E

$h = -$

H

Donde:

E es la magnitud de la intensidad de campo eléctrico.

H es la magnitud de la intensidad de campo magnético; y

h es la impedancia característica del medio que en el aire vale 377 W

$S = E.H$

Donde:

S es la magnitud de la densidad de potencia.

E es la magnitud de la intensidad de campo eléctrico; y

H es la magnitud de la intensidad de campo magnético.

En caso de realizar modificaciones en las Estaciones radioeléctricas instaladas, que impliquen la alteración de los niveles de campo electromagnético emitidos, los

operadores de Estaciones radioeléctricas deben realizar un nuevo reporte de mediciones. En el reporte de mediciones deben especificarse las modificaciones realizadas, destacando el impacto al nivel de exposición porcentual.

Artículo 15. Metodología de medición. Reglamentado por la Resolución del Min. Comunicaciones 1645 de 2005. La metodología para evaluar la conformidad de las Estaciones radioeléctricas será establecida por el Ministerio de Comunicaciones mediante resolución.

TITULO III

REQUISITOS ÚNICOS

Artículo 16. Requisitos únicos para la instalación de estaciones radioeléctricas en telecomunicaciones. En adelante para la instalación de Estaciones Radioeléctricas para aquellos que operen infraestructura de telecomunicaciones, y para los trámites, que se surtan ante los diferentes entes territoriales, se deberá relacionar la siguiente información:

1. Acreditación del Título Habilitante para la prestación del servicio y/o actividad, bien sea la ley directamente, o licencia, permiso o contrato de concesión para la prestación de servicios y/o actividades de telecomunicaciones, según sea el caso.

2. Plano de localización e identificación del predio o predios por coordenadas oficiales del país, de acuerdo con las publicaciones cartográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y/o levantamientos topográficos certificados, indicando con precisión la elevación del terreno sobre el cual se instalará la estación, la ubicación, distribución y altura de las torres, antenas y demás elementos objeto de instalación y la localización de la señalización de diferenciación de zonas, todo ello mostrando claramente la dimensión y/o tamaño de las instalaciones. Adicionalmente, se debe incluir la relación de los predios colindantes con sus direcciones exactas y los estudios que acrediten la viabilidad de las obras civiles para la instalación de las torres soporte de antenas.

Cuando sea necesario adelantar obras de construcción, ampliación, modificación o demolición de edificaciones, se deberá adjuntar la respectiva licencia de construcción expedida por el curador urbano o la autoridad municipal o distrital competente.

3. El prestador de servicios y/o actividades de telecomunicaciones debe presentar ante la entidad territorial correspondiente (distrito o municipio), dentro de los veinte (20) días hábiles siguientes a su instalación copia, de la Declaración de Conformidad Emisión Radioeléctrica, DCER, con sello de recibido del Ministerio de Comunicaciones, que incluya la estación radioeléctrica a instalar.

Parágrafo 1°. Los procedimientos que conforme a las normas vigentes deben surtirse ante el Ministerio de Comunicaciones, cuando se refiera al uso del espectro electromagnético; la Aeronáutica Civil de Colombia, en cuanto al permiso de instalación de Estaciones Radioeléctricas; el Ministerio de Ambiente, Vivienda y

Desarrollo Territorial o las Corporaciones Autónomas Regionales, cuando se requiera licencia, permiso u otra autorización de tipo ambiental; y ante los curadores urbanos y las Oficinas de Planeación de los Municipios y Distritos para las licencias de construcción y/o de ocupación del espacio público, en su caso, serán los únicos trámites para la instalación de Estaciones Radioeléctricas de Telecomunicaciones.

Parágrafo 2°. Quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones, deberán ubicar las estaciones radioeléctricas, de acuerdo con los reglamentos aeronáuticos y demás normas expedidas por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, UAEAC.

TITULO IV

DISPOSICIONES FINALES

Artículo 17. Fuentes radiantes con frecuencias menores a 300 MHZ. Reglamentado por la Resolución del Min. Comunicaciones 1645 de 2005. Si la fuente radiante utiliza frecuencias menores a los 300 MHz y por lo tanto las regiones de campo cercano poseen varios metros de diámetro, se utilizarán los parámetros que el Ministerio de Comunicaciones determine mediante resolución motivada, para evaluar la conformidad de las estaciones radioeléctricas, la cual deberá ser expedida dentro de los seis meses siguientes a la publicación de este decreto.

Artículo 18. Vigencia. El presente decreto rige a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial.

Publíquese y cúmplase.

Dado en Bogotá, D. C., a 31 de enero de 2005.

ÁLVARO URIBE VÉLEZ

El Ministro de la Protección Social,
Diego Palacio Betancourt.

La Ministra de Comunicaciones,
Martha Elena Pinto de De Hart.

La Ministra de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,
Sandra Suárez Pérez⁹⁶

⁹⁶ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ministerio de Protección Social. Decreto 195 de 31 de enero de 2005. Bogotá D.C., 2005.

3.2.2 Normativa internacional. ICNIRP

Prefacio. En 1974, la Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación (IRPA) formó un grupo de trabajo para Radiaciones No- Ionizantes, el cual examinó los problemas suscitados en el campo de la protección contra los varios tipos de Radiaciones No- Ionizantes (RNI). En el Congreso de la IRPA en París en 1977, este grupo de trabajo se convirtió en Comité Internacional para las Radiaciones No- Ionizantes (INIRC)

En cooperación con la División de Salud Ambiental de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la IRPA/ INIRC desarrolló un número de documentos sobre criterios de salud en relación a las RNI, como parte del Programa de Criterios de Salud Ambiental de la OMS, auspiciado por Programa de Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP). Cada documento incluye una visión panorámica de las características físicas, mediciones e instrumentación, fuentes, y aplicaciones de las RNI, una revisión total de la literatura sobre los efectos biológicos y una evaluación de los riesgos a la salud provenientes de la exposición a las RNI. Estos criterios de salud han proveído la base de datos científica para el subsiguiente desarrollo de los límites de exposición y los códigos de práctica relacionados a las RNI.

En el VIII Congreso Internacional de la IRPA (Montreal, mayo 18-22, 1992), fue establecida una nueva organización científica independiente- la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No- Ionizantes (ICNIRP)- como sucesora de la IRPA/ INIRC. Las funciones de la Comisión son investigar los peligros que pueden ser asociados con las diferentes formas de RNI, desarrollar recomendaciones internacionales sobre límites de exposición para las RNI, y tratar todos los aspectos sobre protección contra las RNI.

Los efectos biológicos reportados como resultado de la exposición a campos eléctricos y magnéticos estáticos y de frecuencia extremadamente baja- ELF han sido revisadas por la UNEP/ OMS/ IRPA (1984, 1987). Aquellas publicaciones y otras, incluyendo UNEP/ OMS/ IRPA (1993) y Allen y col. (1991) proveyeron la base científica para estas recomendaciones.

Durante la preparación de estas recomendaciones, la composición de la comisión fue como sigue: A. Ahlbom (Suecia); U. Bergqvist (Suecia); J. H. Bernhardt, Presidente desde Mayo de 1996 (Alemania); J. P. Cesarini (Francia); L. A. Court,, hasta Mayo de 1996 (Francia); M. Grandolfo, Vicepresidente hasta Abril de 1996 (Italia); M. Hietanen, desde Mayo de 1996 (Finlandia); A. F. McKinlay, Vicepresidente desde Mayo de 1996 (Reino Unido); M. H. Repacholli, Presidente hasta Abril de 1996, Presidente Emérito desde Mayo de 1996 (Australia); D. H. Sliney (Estados Unidos de América); J. A. J. Stolwijk (Estados Unidos de América); M. L. Swicort, hasta Mayo de 1996 (Estados Unidos de América); L. D. Szabo (Hungría); M. Taki (Japón); T. S. Tenforde (Estados Unidos de América); H. P. Jamment (Miembro Emérito, fallecido) (Francia); R. Matthes, Secretario Científico (Alemania).

Propósito y campo de acción. El principal objetivo de esta publicación es establecer recomendaciones para limitar la exposición a los CEM con el objetivo de proveer protección contra efectos adversos a la salud conocidos. Un efecto adverso a la salud causa un deterioro detectable de la salud de los individuos expuestos o sus descendencia; un efecto biológico, por otro lado, puede o no puede resultar en un efecto adverso a la salud.

Estudios sobre efectos directos e indirectos de los CEM son descritos; los efectos directos son el resultado de la interacción directa de los campos con el cuerpo, los efectos indirectos envuelven la interacción con un objeto a un potencial eléctrico diferente del cuerpo. Resultados de estudios de laboratorio y epidemiológicos, criterios básicos de exposición y niveles de referencia para evaluación práctica del peligro son discutidos y las recomendaciones presentadas se aplican a la exposición ocupacional y poblacional

Las recomendaciones para los campos electromagnéticos de alta frecuencia y de 50/60 Hz fueron publicadas por el IRPA/ INIRC en 1988 y 1990 respectivamente, pero son sustituidas por las presentes recomendaciones, las cuales cubren todo el rango de frecuencias de los CEM variables en el tiempo (hasta 300 GHz). Los campos magnéticos estáticos son cubiertos por las recomendaciones ICNIRP emitidas en 1994 (ICNIRP, 1994).

Para establecer los límites de exposición, la Comisión reconoce la necesidad de reconciliar diferentes opiniones de científicos. La validez de los reportes científicos tiene que ser considerada y las extrapolaciones de experimentos en animales a efectos en los seres humanos tienen que ser realizadas. Las restricciones en estas recomendaciones fueron basadas solamente en datos científicos, el conocimiento disponible a la fecha, sin embargo se debe indicar que dichas restricciones proveen un adecuado nivel de protección de la exposición a CEM variables en el tiempo. Dos clases de recomendaciones son presentadas

Restricciones básicas: Restricciones a la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo que están basados 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 (SAR), y la densidad de potencia (S), Sólo la densidad de potencia en aire, fuera del cuerpo, puede ser rápidamente medida en individuos expuestos.

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.

Estas recomendaciones no están dirigidas a producir estándares funcionales, los cuales están destinados a limitar las emisiones de los CEM bajo condiciones específicas de prueba, tampoco se trata sobre las técnicas usadas para medir cualquiera de las cantidades físicas que caracterizan a los campos magnéticos. Eléctricos y electromagnéticos.

Descripciones amplias de la instrumentación y las técnicas de medición para determinar de manera precisa tales cantidades pueden ser encontradas en otros documentos (NCRP 1981; IEEE 1992; NCRP 1993; DIN VDE 1995).

Respetar las presentes recomendaciones puede no necesariamente excluir interferencias con, o efectos sobre, dispositivos médicos tales como prótesis metálicas, marcapasos y desfibriladores cardiacos, e implantes cocleares. La interferencia con marcapasos puede ocurrir a niveles por debajo de los niveles de referencia recomendados. Consejos para evitar estos problemas están fuera del alcance del presente documento; pero están disponibles en documentos como (UNEP /OMS /IRPA 1993).

Estas recomendaciones serán periódicamente revisadas y actualizadas con los avances realizados en la identificación de los efectos adversos a la salud provenientes de los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo.

Cantidades y unidades. Mientras que los campos eléctricos están asociados solamente con la presencia de la carga eléctrica, los campos magnéticos son el resultado del movimiento físico de las cargas eléctricas (corriente eléctrica). Un campo eléctrico E ejerce fuerzas sobre una carga eléctrica y se expresa en voltios por metro ($V m^{-1}$). Similarmente los campos magnéticos pueden ejercer fuerzas en las cargas eléctricas; pero solamente cuando las cargas están en movimiento. Los campos eléctricos y magnéticos tienen magnitud y dirección (son vectores): un campo magnético puede ser especificado en dos formas- como densidad de flujo magnético B , expresado en teslas (T), o como intensidad de campo magnético H , expresado en amperios por metro ($A m^{-1}$), las dos cantidades están relacionadas por:

$$B = \mu_0 H \quad (1)$$

Donde μ es la constante de proporcionalidad (la permeabilidad magnética); en el vacío o en el aire, así como también en materiales no-magnéticos (incluyendo materiales biológicos) $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (H m⁻¹). Por lo tanto cuando se describa un campo magnético para protección debería especificarse solamente una de las cantidades B o H.

En la región de campo lejano, el modelo de onda plana es una buena aproximación de la propagación del campo electromagnético. Las características de onda plana, son:

Los frentes de onda tienen una geometría plana.

Los vectores E y H y la dirección de propagación son mutuamente perpendiculares.

La fase de los campos E y H son las mismas, y el cociente de las amplitudes E/H es constante a través del espacio. En espacio libre, la relación E/H = 377 ohmios que es la impedancia característica del espacio libre.

La densidad de potencia S, es decir la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación, esta relacionada a los campos eléctricos y magnéticos por la expresión.

$$S = EH = E^2 / 377 = H^2 \cdot 377 \quad (2)$$

La situación en el campo cercano es más complicada ya que los máximos y mínimos de los campos E y H no ocurren en los mismos puntos a lo largo de la dirección de propagación tal como es en la región de campo lejano. En la región de campo cercano, la estructura del campo electromagnético puede ser altamente no homogénea y habrá variaciones substanciales de la impedancia de onda plana de 377 ohmios, es decir podría haber campos eléctricos puros en algunas regiones y campos magnéticos puros en otras. Las exposiciones en el campo cercano son más difíciles de especificar porque se deben medir separadamente el campo eléctrico y el campo magnético y porque los patrones de los campos son mucho más complicados; en esta situación la densidad de potencia ya no es una cantidad apropiada para expresar las restricciones a la exposición (como en el campo lejano).

La exposición a CEM variables en el tiempo resulta en corrientes internas dentro del cuerpo y absorción de energía en los tejidos que dependen de los mecanismos de acoplamiento y de la frecuencia involucrada. El campo eléctrico interno y la densidad de corriente están relacionados por la ley de Ohm.

$$J = \sigma E \quad (3)$$

Donde σ es la conductividad eléctrica del medio.

Las cantidades dosimétricas en estas recomendaciones, tomando en cuenta los diferentes rangos de frecuencia y ondas son las que siguen.

Densidad de corriente, J, en el rango de frecuencia hasta 10 MHz.

Corriente, I, en el rango de frecuencia hasta 110 MHz.

Tasa específica de absorción de energía, SAR, en el rango de frecuencia de 100 kHz-10GHz.

Absorción de energía específica, SA, para campos pulsantes en el rango de frecuencia de 300 MHz- 10GHz

Densidad de potencia, S, en el rango de frecuencia de 10-300GHz.

Un resumen general de los CEM y cantidades dosimétricas y unidades usadas en estas recomendaciones es proporcionada en el Cuadro 4⁹⁷.

Cuadro 5. Cantidades eléctricas, magnéticas electromagnéticas y dosimétricas y las unidades SI correspondientes

Cantidad	Símbolo	Unidades
Conductividad	σ	siemens por metro ($S m^{-1}$)
Corriente	I	amperio (A)
Densidad de corriente	J	amperio por metro cuadrado ($A m^{-2}$)
Frecuencia	f	Hz (Hz)
Campo eléctrico	E	voltio por metro ($V m^{-1}$)
Campo magnético	H	amperio por metro ($A m^{-1}$)
Densidad de flujo magnético	B	Tesla (T)
Permeabilidad magnética	μ	henrio por metro ($H m^{-1}$)
Permitividad	ϵ	faraday por metro ($F m^{-1}$)
Densidad de potencia	S	vatio por metro cuadrado ($W m^{-2}$)
Absorción específica de energía	SA	joule por kilogramo ($J kg^{-1}$)
Tasa de absorción específica de energía	SAR	vatio por kilogramo ($W kg^{-1}$)

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.4>.

⁹⁷ ICNIRP Op cit., Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

Bases para limitar la exposición. Estas recomendaciones para limitar la exposición, han sido desarrolladas siguiendo una revisión exhaustiva de toda la literatura científica publicada. Los criterios aplicados en el curso de las revisiones fueron diseñados para evaluar la credibilidad de los diversos hallazgos reportados (Repacholi y Stolwijk 1991; Repacholi y Cardis 1997); sólo efectos establecidos, fueron usados como la base para restricciones de la exposición propuestas. La inducción de cáncer proveniente de exposiciones a los CEM de largo plazo no fue considerada como efecto establecido; luego estas recomendaciones están basadas en efectos inmediatos a la salud proveniente de exposiciones de corto plazo, tales como la estimulación en los nervios periféricos y músculos, choques eléctricos y quemaduras causadas por tocar objetos conductores, y la generación de temperaturas elevadas en los tejidos resultante de la absorción de energía durante la exposición a CEM. En el caso de efectos potenciales de largo plazo por la exposición, tales como un incremento en el riesgo de cáncer, 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 50/60Hz sustancialmente más bajos que los recomendados por esta recomendación.

Los efectos in vitro para exposiciones de corto plazo a CEM de ELF o amplitud modulada de ELF son resumidos. Las respuestas transitorias de las células y los tejidos a la exposición a los CEM ha sido observado, pero sin una clara relación exposición-respuesta. Estos estudios son de valor limitado en la evaluación de los efectos a la salud porque muchas de las respuestas no han sido demostradas in vivo. Por lo tanto, los estudios in vitro por si mismo no fueron considerados para proporcionar información que pudiera servir como una base primaria para evaluar los posibles efectos a la salud provenientes de los CEM.

Mecanismos de acoplamiento entre campos y el cuerpo. Hay tres tipos de mecanismos de acoplamiento básicos establecidos a través de los cuales interactúan los campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo con la materia viva (UNEP /OMS/IRPA 1993):

- Acoplamiento a campos eléctricos de baja frecuencia.
- Acoplamiento a campos magnéticos de baja frecuencia
- Absorción de energía de los campos electromagnéticos.

Acoplamiento a los campos eléctricos de baja frecuencia. La interacción de campos eléctricos variables en el tiempo con el cuerpo humano resulta en un flujo de cargas eléctricas (corriente eléctrica), la polarización de la dirección de las cargas (formación de dipolos eléctricos), y la reorientación de dipolos eléctricos ya es presente en el tejido. Las magnitudes relativas de estos diferentes efectos dependen de las propiedades eléctricas del cuerpo - que son, la conductividad eléctrica (que gobierna el flujo de corriente eléctrica) y la permitividad (que gobierna la magnitud del efecto de polarización). La conductividad eléctrica y la permitividad varían con el tipo de tejido y también dependen de la frecuencia del campo

aplicado. Los campos eléctricos externos al cuerpo inducen una carga superficial en el cuerpo; esto produce corrientes inducidas en el cuerpo, la distribución de los cuales depende de las condiciones de exposición, del tamaño y forma del cuerpo, y de la posición del cuerpo frente al campo.

Acoplamiento a campos magnéticos de baja frecuencia. La interacción física de los campos magnéticos variables en el tiempo con el cuerpo humano genera campos eléctricos inducidos y la circulación de corrientes eléctricas. Las magnitudes de los campos inducidos y de la densidad de corriente son proporcionales al radio de la espira, la conductividad eléctrica del tejido, y la tasa de cambio y la magnitud de la densidad de flujo magnético. Para una magnitud y frecuencia dada del campo magnético, los campos eléctricos inducidos son más fuertes cuando las dimensiones de la espira son mayores. La trayectoria exacta y la magnitud resultante de las corrientes inducidas en cualquier parte del cuerpo dependerán de la conductividad eléctrica del tejido.

El cuerpo no es eléctricamente homogéneo; sin embargo la densidad de las corrientes inducidas puede ser calculada usando modelos anatómicamente y eléctricamente realistas del cuerpo y métodos computacionales, los cuales tienen un alto grado de resolución anatómica.

Absorción de energía de los campos electromagnéticos. La exposición a los campos eléctricos y magnéticos normalmente produce una absorción de energía insignificante y un incremento no mensurable de temperatura en el cuerpo. Sin embargo la exposición a los campos electromagnéticos a frecuencias por encima de los 100 kHz puede producir una absorción de energía y un incremento de temperatura significativos. En general, la exposición a campos electromagnéticos uniformes (onda plana) ocasiona una deposición y una distribución de la energía dentro del cuerpo altamente no uniformes, las cuales deben ser evaluadas mediante mediciones dosimétricas y cálculos matemáticos.

Con respecto a la absorción de energía por el cuerpo humano, los campos electromagnéticos pueden ser divididos en cuatro rangos (Durney y col. 1985): Frecuencias de alrededor de 100 kHz a menos de 20 MHz, en las cuales la absorción en el tórax decrece rápidamente con la disminución de la frecuencia, y absorción significativa puede ocurrir en el cuello y las piernas.

Frecuencias en el rango por encima de los 20 MHz a 300 MHz, en las cuales una absorción relativamente alta puede ocurrir en todo el cuerpo, y aún valores más altos si se consideran las resonancias parciales del cuerpo (Ej. cabeza).

Frecuencias en el rango por encima de los 300 MHz a varios GHz, en las cuales ocurre una absorción no- uniforme significativamente local.

Frecuencias por encima de los 10 GHz, en las cuales la absorción de energía ocurre principalmente en la superficie del cuerpo.

En los tejidos, el SAR es proporcional al cuadrado de campo eléctrico interno. La distribución del SAR promedio y del SAR puede ser calculada o estimada a partir de

medidas de laboratorio. Los valores de SAR dependen de los siguientes factores: Los parámetros de campos incidentes, por Ej., la frecuencia, la intensidad, polarización, y la configuración fuente-objeto (campo cercano o lejano).

Las características del cuerpo expuesto, es decir su tamaño, su geometría interna y externa y las propiedades dieléctricas de sus tejidos varios.

Los efectos de la tierra eléctrica y los efectos de reflexión de otros objetos en el campo cercano del cuerpo expuesto.

Cuando el eje mayor del cuerpo humano es paralelo al vector del campo eléctrico, y bajo condiciones de exposición de onda plana (Por Ej. exposición de campo lejano), el SAR de cuerpo entero alcanza valores máximos. La cantidad de energía absorbida depende de un número de factores, incluyendo el tamaño del cuerpo expuesto. "Hombre de referencia estandarizado" (ICRP 1994), si no tiene conexión a tierra eléctrica, tiene una frecuencia de resonancia de la absorción cercana a los 70 MHz. Para individuos más altos, la frecuencia de resonancia de la absorción es un tanto más baja, y para adultos más bajos, niños, bebés, e individuos sentados puede exceder los 100 MHz. Los valores de los niveles de referencia del campo eléctrico están basados en la dependencia con respecto a la frecuencia de la absorción humana; en individuos con conexión a tierra eléctrica, las frecuencias resonantes son más bajas por un factor de 2 (UNEP /OMS/IRPA 1993).

Para algunos dispositivos que operan a frecuencias por encima de 10 MHz (Ej. calentadores dieléctricos, teléfonos móviles), la exposición humana puede ocurrir bajo condiciones de campo cercano. La dependencia de la frecuencia de absorción de energía, bajo estas condiciones, es muy diferente que la descrita para condiciones de campo lejano. Los campos magnéticos pueden ser dominantes para ciertos dispositivos tales como teléfonos móviles, bajo ciertas condiciones de exposición.

La utilidad de cálculos matemáticos de modelos numéricos; así como las mediciones de corrientes inducidas e intensidad de campo en los tejidos, para evaluar la exposición de campo cercano ha sido demostrada para teléfonos móviles, walkie-talkies, torres de radiodifusión, fuentes de comunicación entre barcos y calentadores dieléctricos (Kuster y Balzano 1992; Dimbylow y Mann 1994; Jokela y col. 1994; Gandhi 1995; Tofani y col. 1995). La importancia de estos estudios se basa en su demostración de que la exposición a los campos cercanos puede producir un SAR alto localizado (Ej. en la cabeza, muñecas y tobillos) y que el SAR de cuerpo entero y el SAR localizado son fuertemente dependientes de la distancia de separación entre la fuente de alta frecuencia y el cuerpo. Finalmente, los datos de SAR obtenidos mediante mediciones son consistentes con la información obtenida de los cálculos matemáticos con modelación numérica. El SAR promedio de cuerpo entero y el SAR localizado son cantidades convenientes para comparar los efectos observados bajo condiciones variadas de exposición. Una discusión en detalle del SAR se puede encontrar en (UNEP /OMS/IRPA 1993).

A frecuencias mayores de 10 GHz, la profundidad de penetración del campo en los tejidos es pequeña, y el SAR no es una buena medida para evaluar la energía

absorbida; la densidad de potencia incidente del campo (en $W m^{-2}$) es una cantidad dosimétrica más apropiada.

Mecanismos de acoplamiento indirecto. Hay dos mecanismos de acoplamiento indirecto:

Corrientes de contacto que resultan cuando el cuerpo humano entra en contacto con un objeto a un potencial eléctrico diferente (Ej. cuando el cuerpo o los objetos están cargados por un CEM).

Acoplamiento a los CEM de dispositivos médicos adheridos, o implantados en un individuo (no considerados en este documento).

La carga de un objeto conductor por parte de CEM causa corrientes eléctricas que pasan a través del cuerpo humano en contacto con dicho objeto (Tenforde y Kaune 1987; UNEP /OMS /IRPA 1993). La magnitud y distribución espacial de tales corrientes dependen de la frecuencia, del tamaño del objeto, del tamaño de la persona, y del área de contacto; las descargas transitorias chispas- pueden ocurrir cuando un individuo y un objeto conductor expuesto a campos intensos entran en una situación de proximidad cercana.

Base biológica para limitar la exposición (hasta 100 Khz). Los siguientes párrafos proveen una revisión general de literatura relevante acerca de los efectos biológicos y a la salud que producen los campos eléctricos y magnéticos con rangos de frecuencia hasta 100 kHz, en el cual el principal mecanismo de interacción es la inducción de corrientes en tejidos. Para rangos de frecuencia entre 0 a 1Hz, la base biológica para las restricciones básicas y los niveles de referencia son proveídos por ICNIRP (1994). Revisiones más detalladas están disponibles en otros lugares (NRPB 1991, 1993; UNEP/WHO/IRPA 1993; Blanck 1995; NAS 1996; Polk y Postow 1996; Ueno 1996).

Efectos directos de los campos eléctricos y magnéticos

Estudios epidemiológicos. Han habido muchas revisiones de estudios epidemiológicos del riesgo de cáncer en relación a la exposición a los campos en frecuencia de potencia (NRPB 1992, 1993, 1994b; ORAU 1992; Savitz 1993; Brezo 1996; Stevens y Davis 1996; Tenforde 1996; NAS 1996).

Revisiones similares se han publicado sobre el riesgo de resultados reproductivos adversos asociados a la exposición a CEM (Chernoff y col. 1992; Brent y col. 1993; Shaw y Croen 1993; NAS 1996; Tenforde 1996).

Resultados en la reproducción. Los estudios epidemiológicos acerca de resultados en el embarazo no han provisto de ninguna evidencia consistente de efectos reproductivos adversos en la mujeres que trabajaban con monitores de video (VDU) (Bergqvist 1993; Shaw y Croen 1993; NRPB 1994a; Tenforde 1996). Por ejemplo, el meta-análisis no reveló ningún exceso de riesgo de aborto espontáneo o de malformación en estudios combinados que comparaban a mujeres

embarazadas usando las VDU con mujeres que no usaban las VDU (Shaw y Croen 1993). Otros dos estudios se concentraron en mediciones reales de los campos eléctricos y magnéticos emitidos por VDUs; uno sugería una asociación entre los campos magnéticos de ELF y el aborto (Lindbohm y col. 1992), mientras que el otro no encontró ninguna asociación (Schnorr y col. 1991). Un estudio prospectivo que incluyó una gran cantidad de casos, con altas tasas de participación, y evaluación detallada de la exposición (Bracken y col. 1995) señaló que ni el peso del recién nacido, ni la tasa de crecimiento intrauterina fue relacionado con la exposición al campo ELF. Los resultados reproductivos adversos no fueron asociados a niveles más altos de exposición. Las mediciones de la exposición incluyeron la capacidad real de las líneas de potencia fuera de los hogares, mediciones de siete días de exposición individual, mediciones de 24 horas en el hogar, incluyendo el uso de mantas eléctricas, de camas de agua caliente, y de las VDU. La mayoría de la información actualmente disponible no logra demostrar una asociación entre la exposición ocupacional a VDU y los efectos reproductivos adversos (NRPB 1994a; Tenforde 1996).

Estudios residenciales del cáncer. Una controversia considerable rodea la posibilidad de una conexión entre la exposición a los campos magnéticos ELF y un elevado riesgo de cáncer. Varios informes acerca de este tema han aparecido desde el reporte de Wertheimer y Leeper (1979) en el cual se establecía una asociación entre la mortalidad por cáncer en niños y la proximidad de los hogares a líneas de distribución de potencia con "alta configuración de corriente". La hipótesis básica que emergió del estudio original era que la contribución a los campos magnéticos residenciales ambientales de 50/60 Hz por parte de fuentes externas tales como líneas de potencia podría estar ligada a un riesgo creciente de cáncer en niños.

Hasta la fecha ha habido más de una docena de estudios sobre cáncer en niños y la exposición a los campos magnéticos en frecuencias de potencia en hogares próximos a líneas de potencia. Estos estudios estimaron la exposición a campos magnéticos mediante mediciones de corta duración o en base a la distancia entre el hogar y la línea de potencia y, en la mayoría de los casos, la configuración de línea; algunos estudios también tomaron en cuenta la carga de línea. Los resultados referentes a leucemia son los más consistentes. Más de 13 estudios (Wertheimer y Leeper 1979; Fulton y col. 1980; Myers y col. 1985; Tomenius 1986; Savitz y col. 1988; Coleman y col. 1989; London y col. 1991; Feychting y Ahlbom 1993; Olsen y col. 1993; Verkasalo y col. 1993; Michaelis y col. 1997; Linet y col. 1997; Tynes y Haldorsen 1997), todos menos cinco señalaron estimaciones de riesgo relativo de entre 1,5 y 3,0.

Tanto las mediciones directas del campo magnético y el cálculo basado en líneas de potencia vecinas son aproximaciones gruesas a las exposiciones que han ocurrido en varios momentos antes de que los casos de leucemia fueran diagnosticados, además no está claro cual de los dos métodos proporciona el estimado más válido. Aunque, de hecho, los resultados sugieren que el campo magnético puede desempeñar un rol en asociación con el riesgo de leucemia, hay incertidumbre debido a la pequeña cantidad de la muestra y debido a la correlación entre el campo magnético y la proximidad a las líneas de potencia (Feychting y col.

1996).

Poco se sabe sobre la etiología de la mayoría de los tipos de cáncer en niños, pero varios intentos por controlar factores de confusión potenciales tales como el estatus socioeconómico y la contaminación atmosférica por humos de los desfogues de los vehículos motorizados han tenido pocos resultados. Los estudios que han examinado el uso de aparatos eléctricos (sobre todo mantas eléctricas) en lo referente a cáncer y a otros problemas de salud han señalado resultados generalmente negativos (Preston-Martin y col. 1988; Verreault y col. 1990; Vena y col. 1991, 1994; Li y col. 1995). Solamente dos estudios de caso-control han evaluado el uso de aparatos en lo referente al riesgo de la leucemia en la niñez. Uno fue conducido en Denver (Savitz y col. 1990) y sugirió una conexión con el uso de mantas eléctricas en prenatales; el otro, realizado en Los Ángeles (London y col. 1991), encontró una asociación entre la leucemia y los niños usando los secadores de pelo y mirando televisión monocromática.

El hecho de que los resultados para la leucemia basada en la proximidad de hogares a las líneas de potencia son relativamente consistentes llevó al Comité de Ciencias de la Academia Nacional de los E.E.U.U. a concluir que los niños que viven cerca de líneas de potencia parecen estar en riesgo creciente de leucemia (NAS 1996). Debido a la pequeña magnitud de las muestras, los intervalos de confianza en los estudios individuales son amplios; cuando se toman en conjunto, sin embargo, los resultados son consistentes, con un riesgo combinado de 1,5 (NAS 1996). En contraste, las mediciones de corto plazo del campo magnético en algunos de los estudios no proporcionaron ninguna evidencia de una asociación entre la exposición a los campos de 50/60 Hz y el riesgo de leucemia o de ninguna otra forma de cáncer en niños. El Comité de la NAS no fue convencido de que este aumento en riesgo fuera explicado por la exposición a los campos magnéticos, puesto que no había asociación evidente cuando la exposición era estimada por lecturas de contadores de campo magnético en los hogares de los casos de leucemia y en los hogares de los casos de control. Se sugirió que hubo una confusión por un cierto factor de riesgo desconocido para la leucemia en la niñez, asociado a la residencia en la cercanía de líneas de potencia, pero no se postuló ningún factor probable.

Después de que el Comité de la NAS terminó su revisión, los resultados de un estudio realizado en Noruega fueron reportados (Tynes y Haldorsen 1997). Este estudio incluyó 500 casos de todos los tipos de cáncer en la niñez. Cada exposición individual era estimada por el cálculo del nivel del campo magnético producido en la residencia por las líneas de transmisión próxima, estimada haciendo el promedio de un año completo. No se observó ninguna asociación entre el riesgo de leucemia y los campos magnéticos para residencia cuando se realizó el diagnóstico. La distancia de la línea de potencia, la exposición durante el primer año de la vida, la exposición de las madres en la época de la concepción y la exposición a niveles más altos que el nivel medio de los casos-control no mostró ninguna asociación con leucemia, cáncer cerebral, o linfoma. Sin embargo, el número de casos expuestos era pequeño.

También un estudio realizado en Alemania ha sido reportado después de la

terminación de la revisión de la NAS (Michaelis y col. 1997). Este fue un estudio caso-control de la leucemia de la niñez basada en 129 casos y 328 controles. La tasa de exposición abarcó mediciones del campo magnético en un periodo de 24 horas en el dormitorio del niño en la residencia donde el niño había estado viviendo por el periodo más largo antes de la fecha del diagnóstico. Un riesgo relativo elevado de 3,2 fue observado para niveles mayores a 0,2 μ T.

Un estudio grande de caso-control en los E.E.U.U. (638 casos y 620 controles) para probar si la leucemia linfoblástica aguda de la niñez está asociada a la exposición a campos magnéticos 60-Hz fue publicado por Linet y col. (1997). Las exposiciones del campo magnético fueron determinadas usando mediciones promedio durante 24 horas con ponderación en tiempo en el dormitorio y mediciones de 30 segundos en las otras habitaciones. Las mediciones fueron tomadas en los hogares en los cuales el niño había vivido un 70% de los últimos 5 años anteriores al diagnóstico, o el período correspondiente para los controles. Los códigos de los alambres fueron evaluados para pares caso-control residencialmente estables en los cuales ambos no habían cambiado su residencia durante los años anteriores al diagnóstico. El número de tales pares para los cuales se pudo realizar la evaluación fueron 416. No hubo ninguna indicación de alguna asociación entre la el código de alambre y la leucemia. En cuanto a las mediciones del campo magnético, los resultados son más intrigantes. Para los puntos de corte de 0,2 μ T los análisis emparejados y no emparejados dieron riesgos relativos de 1,2 y 1,5, respectivamente. Para un punto de corte de 0,3 μ T, el riesgo relativo para sujetos no-emparejados se estimó en 1,7 basados en 45 casos expuestos. Por lo tanto los resultados de las mediciones sugieren una asociación positiva entre los campos magnéticos y el riesgo de leucemia. Este estudio es una contribución importante en términos de tamaño, número de sujetos en categorías de exposición alta, oportunidad con respecto a la ocurrencia de leucemia (generalmente dentro de los 24 meses después del diagnóstico), otras mediciones utilizadas para obtener datos de exposición, y calidad de análisis permiten múltiples confusiones potenciales. Las debilidades potenciales incluyen el procedimiento para la selección del control, las tasas de participación, y los métodos usados para el análisis estadístico de los datos. Los instrumentos usados para las mediciones no tuvieron en cuenta ningún tipo de campos transitorios o armónicos de orden superior. El tamaño de este estudio es tal que sus resultados, combinados con los de otros estudios, debilitarían perceptiblemente (sin embargo no necesariamente invalidan) la asociación previamente observada con resultados del código del alambre.

A través de los años también ha habido intereses substanciales en conocer si es que hay una asociación entre la exposición del campo magnético y el cáncer de cerebro en niños, el segundo tipo frecuente de cáncer encontrado en niños. Tres estudios recientemente completados después de la revisión del Comité NAS fallaron en proporcionar un soporte para una asociación entre, cáncer al cerebro y la exposición a campos magnéticos en niños; indistintamente si la fuente de los campos fueron las líneas de potencia o mantas eléctricas, o si es que el campo magnético se estimó por cálculos o por código de los alambres (Guenel y col. 1996; Preston-Martin y col. 1996a, b; Tynes y Haldorsen 1997).

Los datos sobre cáncer en adultos y la exposición residencial a campos magnéticos

son escasos (NAS 1996). Los pocos estudios publicados hasta la fecha (Wertheimer y Leeper 1979; McDowall 1985; Severson y col. 1988; Coleman y col. 1989; Schreiber y col. 1993; Feychting y Ahlbom 1994; Li y col. 1996; Verkasalo 1996; Verkasalo y col. 1996), todos muestran hasta cierto punto una pequeña cantidad de casos expuestos, y ninguna conclusión puede ser desarrollada.

El juicio de ICNIRP es que los resultados de las investigaciones epidemiológicas en exposiciones a campos CEM y cáncer incluyendo leucemia en niños, no son suficientemente fuertes, por la ausencia de un soporte de investigaciones experimentales, para formar una base científica para establecer recomendaciones sobre la exposición. Este juicio también está en concordancia con revisiones recientes (NRPB 1992, 1994b; NAS 1996; CRP 1997).

Estudios Ocupacionales. Una gran cantidad de estudios epidemiológicos se han realizado para evaluar conexiones posibles entre la exposición a los campos de ELF y el riesgo del cáncer entre trabajadores de ocupaciones eléctricas. El primer estudio de este tipo (Milham 1982) aprovechó una base de datos de certificados de defunción que incluyó títulos e información del trabajo sobre mortalidad por cáncer. Como método grueso de evaluar la exposición, Milham clasificó los títulos del trabajo según la exposición presumida del campo magnético y encontró exceso de riesgo para la leucemia entre trabajadores eléctricos. Un estudio subsecuente (Savitz y Ahlbom 1994) hizo uso de bases de datos similares; los tipos de cáncer para los cuales las tasas se elevaron variaron a través de estudios, particularmente cuando se caracterizaron subtipos de cáncer. Incrementos de riesgo de varios tipos de leucemia y de tumores del tejido nervioso, y, en algunos pocos casos, cáncer de pecho masculino y femenino, fueron reportados (Demers y col. 1991; Matanoski y col. 1991; Tynes y col. 1992; Loomis y col. 1994). Estos estudios produjeron resultados inconsistentes, y además aproximaban en forma muy gruesa la evaluación de la exposición. También fallaron en controlar ciertos factores de confusión tales como la exposición a solventes de benceno en el lugar de trabajo.

Tres estudios recientes han intentado superar algunas de las deficiencias en el trabajo anterior midiendo la exposición del campo de ELF en el lugar de trabajo y tomando en consideración la duración del trabajo (Floderus y col. 1993; Thériault y col. 1994; Savitz y Loomis 1995). Se observó un riesgo elevado de cáncer entre individuos expuestos, pero el tipo de cáncer varío de estudio en estudio. Floderus y col. (1993) encontraron una asociación significativa con leucemia; también fue observada por Thériault y col. (1994), pero solamente fue débil y no significativa, y no se observó ninguna conexión por Savitz y Loomis (1995). Para los subtipos de la leucemia había incluso mayor inconsistencia, pero las muestras en los análisis eran pequeños. Para los tumores del tejido nervioso, Floderus y col. (1993) encontraron un exceso de glioblastoma (astrocytoma III.IV), mientras que Thériault y col. (1994) y Savitz y Loomis (1995) encontraron solamente la evidencia sugestiva para un aumento en el glioma (astrocytoma I.II). Si hay verdaderamente una conexión entre la exposición ocupacional a los campos magnéticos y el cáncer, mayor consistencia y asociaciones más fuertes deberían esperarse de los estudios recientes basados en datos más sofisticados de la exposición.

Los investigadores también han estudiado la posibilidad de que los campos

eléctricos de ELF tengan relación con el cáncer. Las tres facilidades eléctricas que participaron en el estudio de campos magnéticos de Theriault y col. (1994) también analizaron datos del campo eléctrico. Se reportó que era más probable que trabajadores con leucemia de una de las empresas hayan estado expuestos a campos eléctricos que los trabajadores del grupo de control. Además, la asociación era más fuerte en un grupo que había sido expuesto a altos campos eléctricos y magnéticos combinados (Molinero y col. 1996). En la segunda facilidad, los investigadores no señalaron ninguna asociación entre la leucemia y una exposición acumulativa más alta a los campos eléctricos en el lugar de trabajo; pero algunos de los análisis mostraron una asociación con el cáncer de cerebro (Guénel y col. 1996). Una asociación con el cáncer de colon también fue reportada, aunque en otros estudios de grandes poblaciones de trabajadores de las facilidades de electricidad este tipo de cáncer no se ha encontrado. En la tercera facilidad, no se observó ninguna asociación entre los campos eléctricos altos y el cáncer de cerebro o leucemia pero este estudio fue más pequeño y menos probable que detectara cambios pequeños (Baris y col. 1996).

Una asociación entre la enfermedad de Alzheimer y la exposición ocupacional a los campos magnéticos, ha sido sugerida recientemente (Sobel y Davanipour 1996). Sin embargo, este efecto no se ha confirmado.

Estudios de laboratorio. Los párrafos siguientes proporcionan una evaluación resumida y crítica de los estudios de laboratorio en los efectos biológicos de campos eléctricos y magnéticos de frecuencias debajo de los 100 kHz. Hay discusiones separadas sobre los resultados obtenidos en estudios en voluntarios expuestos bajo condiciones controladas y en laboratorio estudiándose en células, tejido, y sistemas animales.

Estudios en voluntarios. La exposición a un campo eléctrico variable en el tiempo puede dar lugar a la percepción del campo como un resultado de la carga eléctrica alterna inducida en la superficie del cuerpo, el cual causa que los vellos del cuerpo vibren. Varios estudios han mostrado que la mayoría de gente puede percibir campos eléctricos de 50/60 Hz mayores que 20 kV m^{-1} , y que una pequeña minoría puede percibir campos por debajo de 5 kV m^{-1} (UNEP/ OMS/ IRPA 1984; Tenforde 1991).

Pequeños cambios en la función cardíaca ocurrieron en los humanos voluntarios expuestos a campos eléctricos y magnéticos combinados de 60-Hz (9 kV m^{-1} , $20 \mu\text{T}$) (Cook y col. 1992; Graham y col. 1994). El ritmo cardíaco de descanso estaba levemente, pero significativamente, reducido (por 3 a 5 latidos por minuto) durante o inmediatamente después de la exposición. Esta respuesta estaba ausente en contacto con campos más fuertes (12 kV m^{-1} , $30 \mu\text{T}$) o más débiles (6 kV m^{-1} , $10 \mu\text{T}$) y reducida si el sujeto estaba mentalmente alerta. Ningunos de los sujetos en estos estudios podían detectar la presencia de los campos, y no hubo resultados consistentes en una batería de pruebas sensoriales y perceptivas.

No se observó ningún tipo de efectos fisiológicos o psicológicos adversos en

estudios del laboratorio de la gente expuesta a los campos de 50-kHz en el rango de 2 a 5 mT (Sander y col. 1982; Ruppe y col. 1995). No hubo cambios observados en la química de la sangre, cantidad de células de la sangre, gases de la sangre, niveles del lactato, electrocardiograma, electroencefalograma, temperatura de la piel, o niveles de la hormona de la circulación en estudios realizados por Sander y col. (1982) y Graham y col. (1994). Estudios recientes en voluntarios no pudieron mostrar algún efecto de la exposición a campos magnéticos de 60 Hz en el nivel nocturno de melatonina en la sangre (Graham y col. 1996, 1997; Selmaoui y col. 1996).

Campos magnéticos suficientemente intensos de ELF pueden provocar en los nervios periféricos y en el tejido muscular una estimulación directa, y se han utilizado clínicamente pulsos cortos del campo magnético para estimular los nervios en las extremidades para chequear la integridad de los caminos nerviosos. El estímulo de los nervios periféricos y de los músculos también ha sido reportado en voluntarios expuestos a gradientes de campos magnéticos de 1 kHz en sistemas experimentales de proyección de imagen de resonancia magnética. Las densidades de flujo magnético umbral eran varios militesla, y las densidades de corriente inducidas correspondientes en los tejidos periféricos eran cerca de 1 A m^{-2} ; para los pulsos de campo producidos por gradientes rápidamente conmutados. Los campos magnéticos variables en el tiempo que inducen densidades de corriente sobre 1 A m^{-2} en el tejido, producen la excitación de los nervios y son capaces de producir efectos biológicos irreversibles tales como fibrilación cardíaca (Tenforde y Kaune 1987; Reilly 1989). En un estudio que utilizaba grabaciones electromiográficas del brazo humano (Polson y col. 1982), se encontró que un campo pulsado con dB/dt mayor de 10^4 T s^{-1} era necesario para estimular el tronco nervioso medio. También se ha encontrado que un parámetro importante en el estímulo de tejidos excitables es la duración del estímulo magnético.

Umbral menor que 100 mA m^{-2} se pueden derivar de estudios de las funciones visuales y mentales en voluntarios humanos. Cambios en el tiempo de respuesta para las pruebas de razonamiento complejo, han sido señalados en los voluntarios sujetos a corrientes eléctricas débiles en frecuencias de potencia pasadas a través de electrodos colocados en la cabeza y los hombros; las densidades de corriente fueron estimadas entre 10 y 40 mA m^{-2} (Stollery 1986, 1987). Finalmente, muchos estudios han señalado que los voluntarios experimentaron sensaciones visuales débiles y titilantes, conocidas como fosfenos magnéticos, durante la exposición a los campos magnéticos de ELF entre 3 a 5 mT (Silny 1986). Estos efectos visuales también se pueden inducir por la aplicación directa de corrientes eléctricas débiles a la cabeza. En 20 Hz, densidades de corriente de cerca de 10 mA m^{-2} en la retina han sido estimadas como el umbral para la inducción de fosfenos, que está por encima de las densidades de corriente endógena típicas en tejidos eléctricamente excitables. Umbral más altos se han observado para frecuencias más bajas y más altas (Lovsund y col. 1980; Tenforde 1990).

Algunos estudios han sido desarrollados en 50 Hz sobre potenciales visualmente evocados que exhibieron umbrales para los efectos en densidades de flujo del

orden de 60 mT (Silny 1986). Consistentemente con estos resultados, no se obtuvo ningún efecto para potenciales visualmente evocados que fueron obtenidos por Sander y col. (1982), usando campos de 50-Hz y 5 mT, o Graham y col. (1994), con campos eléctricos y magnéticos combinados en 60 Hz de 12 kV m^{-1} y 30 iT , respectivamente.

Estudios celulares y animales. A pesar de que se han emprendido un gran número de estudios para detectar efectos biológicos de los campos eléctricos y magnéticos de ELF, pocos estudios sistemáticos han definido las características del umbral del campo que produce perturbaciones significativas en las funciones biológicas. Esta bien establecido que la corriente eléctrica inducida puede estimular el tejido nervioso y muscular directamente una vez que la densidad de corriente inducida excede los valores del umbral (UNEP/ OMS/ IRPA 1987; Bernhardt 1992; Tenforde 1996). Densidades de corriente que no pueden estimular tejidos excitables directamente; pueden sin embargo afectar la actividad eléctrica en curso e influenciar la excitabilidad neuronal. Se sabe que la actividad del sistema nervioso central es sensible a los campos eléctricos endógenos generados por la acción de las células nerviosas adyacentes, a niveles por debajo de los requeridos para el estímulo directo.

Muchos estudios han sugerido que la transducción de señales eléctricas débiles en el rango de ELF implica interacciones con la membrana de la célula, conduciendo a respuestas bioquímicas citoplásmicas que a su vez implican cambios en estados funcionales y proliferativos de la célula. A partir de modelos simples del comportamiento de células en campos débiles se ha calculado que una señal eléctrica en el campo extracelular debe ser mayor que aproximadamente $10\text{-}100 \text{ mV m}^{-1}$ (que corresponde a una densidad corriente inducida de cerca de $2,20 \text{ mA m}^{-2}$) para exceder el nivel del ruido físico y biológico endógeno en membranas celulares (Astumian y col. 1995). La evidencia existente también sugiere que varias características estructurales y funcionales de las membranas se pueden alterar en respuesta a los campos inducidos de ELF en o debajo de 100 mV m^{-1} (Sienkiewicz y col. 1991; Tenforde 1993). Se han señalado alteraciones neuroendocrinas (Ej. supresión de la síntesis de melatonina nocturnal) como respuesta a los campos eléctricos inducidos de 10 mV m^{-1} o menos, correspondientes a densidades de corriente inducidas de aproximadamente 2 mA m^{-2} o menos (Tenforde 1991, 1996). Sin embargo, no hay evidencia clara que estas interacciones biológicas de los campos de baja frecuencia conducen a efectos de salud adversos.

Se ha mostrado que los campos eléctricos y las corrientes inducidas en niveles que excedían a los de las señales bioeléctricas endógenas presentes en los tejidos, causan un número de efectos fisiológicos que aumentan en severidad conforme aumenta la densidad de corriente inducida (Bernhardt 1979; Tenforde 1996). En el rango $10\text{-}100 \text{ mA m}^{-2}$ de densidad de corriente, se han señalado efectos en los tejidos y en las funciones cognitivas del cerebro (NRPB 1992; NAS 1996). Cuando la densidad de corriente inducida excede de 100 a varios cientos de mA m^{-2} , para las frecuencias aproximadamente entre 10 Hz y 1 kHz, se exceden los umbrales

para el estímulo neuronal y neuromuscular. Las densidades de corriente umbral aumentan progresivamente en las frecuencias debajo de varios Hz y por encima de 1 kHz. Finalmente, en densidades de corriente extremadamente altas que exceden a 1 A m^{-2} pueden ocurrir problemas severos y potencialmente peligrosos para la vida, pudiendo ocurrir efectos tales como extrasístoles cardiacos, fibrilación ventricular, tétanos muscular, y fallas respiratorias. La severidad y la probabilidad de irreversibilidad de los efectos en los tejidos llegan a ser mayores con la exposición crónica a densidades de corrientes inducidas del nivel $10 - 100 \text{ mA m}^{-2}$. Por lo tanto parece apropiado limitar la exposición humana a los campos que inducen densidades de corrientes no mayores que 10 mA m^{-2} en la cabeza, el cuello, y el tronco en frecuencias de pocos Hz hasta 1 kHz. Se ha postulado que las fuerzas magnetomecánicas oscilatorias y los torques en partículas biogénicas de magnetita en tejido cerebral podrían proporcionar un mecanismo para la transducción de señales de campos magnéticos de ELF. Kirschvink y col. (1992b) propusieron un modelo por el cual las fuerzas magnéticas de ELF en partículas de magnetita se visualizan como producto de la apertura y cierre de los canales sensibles a la presión iónica en membranas. Sin embargo, una dificultad con este modelo es la dispersión de las partículas de magnetita concerniente al número de células en tejido del cerebro. Por ejemplo, se ha reportado que el tejido del cerebro humano contiene algunos millones de partículas de la magnetita por gramo, distribuido en 10^5 clusters discretos de 5-10 partículas (Kirschvink y col. 1992a). El número de células en el tejido cerebral excede al número de partículas de magnetita por un factor de alrededor de 100, y es difícil considerar cómo la interacción magnetomecánica oscilante de un campo ELF con magnetita de cristal puede afectar a un número significativo de canales iones sensibles a la presión en el cerebro. Claramente se necesitan estudios adicionales para revelar el papel biológico de la magnetita y de los mecanismos posibles a través de los cuales este mineral podría desempeñar un papel en la transducción de las señales magnéticas de ELF.

Un tema importante para evaluar los efectos de campos electromagnéticos es la posibilidad de efectos teratogénicos y en el desarrollo. En base a las evidencias científicas publicadas, es improbable que los campos de baja frecuencia tengan efectos nocivos en el desarrollo embrionario y postnatal de las especies mamíferas (Chernoff y col. 1992; Brent y col. 1993; Tenforde 1996). Además, la evidencia actualmente disponible indica que las mutaciones somáticas y los efectos genéticos son poco probables como resultado de la exposición a los campos eléctricos y magnéticos con frecuencias por debajo de 100 kHz (Cridland 1993; Sienkiewicz y col. 1993).

Hay numerosos informes en la literatura acerca de los efectos in vitro de los campos de ELF en las propiedades de la membrana de la célula (transporte de iones e interacción de mitógenos con los receptores superficiales de la célula) y cambios en las funciones celulares y las características del crecimiento (Ej. incremento de la proliferación y las alteraciones del metabolismo, la expresión de genes, la biosíntesis de proteínas, y las actividades enzimáticas) (Cridland 1993; Sienkiewicz y col. 1993; Tenforde 1991, 1992, 1993, 1996). Una atención

considerable se ha centrado en efectos de los campos de baja frecuencia sobre el transporte del Ca^{++} a través de la membrana de la célula y de la concentración intracelular de este ión (Walleczek y Liburdy 1990; Liburdy 1992; Walleczek 1992), RNA mensajero y patrones de síntesis de proteína (Goodman y col. 1983; Goodman y Henderson 1988, 1991; Greene y col. 1991; Phillips y col. 1992), y la actividad de las enzimas tales como la ornitina descarboxilasa (ODC) que se relacionan con la proliferación de las células y la formación de tumores (Byus y col. 1987, 1988; Litovitz y col. 1991, 1993). Sin embargo, antes de que estas observaciones se puedan utilizar para definir límites de exposición, es esencial establecer su reproductibilidad y su importancia para ocasionar cáncer u otros resultados adversos de la salud. Este punto es subrayado por el hecho de que han habido dificultades en la replicación de algunas de las observaciones dominantes de los efectos del campo sobre la expresión de genes y la síntesis de proteínas (Lacy-Hulbert y col. 1995; Saffer y Thurston 1995). Los autores de estos estudios de replicación identificaron varias deficiencias en los estudios anteriores, incluyendo un control de temperatura pobre, carencia en las muestras de un control interno apropiado, y el uso de técnicas de baja resolución para analizar la producción de transcritos del RNA mensajero. Se reportó que el aumento transitorio en la actividad del ODC como respuesta a la exposición del campo es de pequeña magnitud y no se asocia con la síntesis de novo de la enzima (a diferencia de los promotores químicos de los tumores tales como ésteres del phorbol) (Byus y col. 1988). Los estudios sobre ODC han implicado sobre todo preparaciones celulares; mayores estudios son necesarios para demostrar si hay efectos sobre ODC in vivo, aunque hay un informe que sugiere efectos sobre ODC en un análisis de la proliferación del tumor mamario de la rata (Mevissen y col. 1995).

No hay evidencia que los campos de ELF alteran la estructura del DNA y de la cromatina, y no se espera ninguno efecto como mutaciones ni transformaciones neoplásicas. Esto es sustentado por resultados de los estudios de laboratorio diseñados para detectar daños en el DNA y a nivel cromosómico, presencia de mutaciones e incremento en la frecuencia de transformación en respuesta a la exposición del campo de ELF (NRPB 1992; Murphy y col. 1993; McCann y col. 1993; Tenforde 1996). La carencia de efectos sobre la estructura del cromosoma sugiere que los campos de ELF, si tienen algún efecto en el proceso de la carcinogénesis, lo más probable es que actúen como promotores y no como los iniciadores, realizando la proliferación de células genéticamente alteradas más bien que causando la lesión inicial en DNA o la cromatina. Una influencia en el desarrollo de los tumores se podría realizar mediante efectos epigenéticos de estos campos, tales como alteraciones en los caminos de las señales de las células o la expresión de genes. El foco de estudios recientes por lo tanto se ha centrado en la detección de efectos posibles de los campos de ELF en las fases de la promoción y de la progresión del desarrollo del tumor seguido de una iniciación por cancerígenos químicos.

Estudios in vitro de crecimiento en células tumorales y el desarrollo de tumores trasplantados en roedores no han proporcionado ninguna evidencia fuerte para los posibles efectos cancerígenos de la exposición a los campos de ELF (Tenforde 1996). Varios estudios que se centran en la relevancia directa del cáncer humano

han desarrollado pruebas in vivo para la actividad de promoción de los tumores por los campos magnéticos de ELF en piel, hígado, cerebro, y tumores mamarios en roedores. Tres estudios acerca de la promoción del tumor en la piel (McLean y col. 1991; Rannug y col. 1993a, 1994) no pudieron mostrar ningún efecto de la exposición continua o intermitente a los campos magnéticos en frecuencias de potencia en la promoción de tumores químicamente inducidos. Se reportó un efecto de co-promoción del desarrollo del tumor de piel en ratón, de un campo de 60 Hz y 2 mT, con un éster del phorbol para en las etapas iniciales del experimento, pero la significancia estadística de ello fue perdida por la terminación del estudio en la semana 23 (Stuchly y col. 1992). Los estudios anteriores realizados por los mismos investigadores mostraron que para una, exposición del campo de 60 Hz y 2 mT no se promovió el crecimiento de las células de la piel con DMBA-iniciado (McLean y col. 1991).

Los experimentos en el desarrollo de los focos transformadores del hígado iniciados por un cancerígeno químico y promovidos por el éster del phorbol en ratas parcialmente hepatectomizadas no revelaron ningún efecto de la promoción o de la co-promoción de la exposición a campos de 50 Hz en un rango de intensidad de 0,5 a 50 μ T (Rannug y col. 1993b, 1993c).

Los estudios sobre el desarrollo del cáncer mamario en roedores tratados con un iniciador químico sugirieron un efecto de promoción del cáncer de la exposición a los campos magnéticos en frecuencias de potencia en el rango 0,01 a 30 mT (Beniashvili y col. 1991; Löscher y col. 1993; Mevissen y col. 1993, 1995; Baum y col. 1995; Löscher y Mevissen 1995). Estas observaciones de la incidencia creciente del tumor en las ratas expuestas a los campos magnéticos se ha presumido están relacionadas con la supresión inducida por el campo de la melatonina pineal y la consecuente elevación en los niveles de hormonas esteroides y el riesgo de cáncer de pecho (Stevens 1987; Stevens y col. 1992). Sin embargo, son necesarios esfuerzos de replicación por laboratorios independientes antes de que se puedan trazar las conclusiones con respecto a las implicaciones de estos resultados para definir un efecto promotor de los tumores mamarios por parte de los campos magnéticos de ELF. Debe también notarse que los estudios recientes no han encontrado ninguna evidencia de un efecto significativo de la exposición a los campos magnéticos de ELF sobre los niveles de melatonina en seres humanos (Graham y col. 1996, 1997; Selmaoui y col. 1996).

Efectos indirectos de los campos magnéticos y eléctricos. Los efectos indirectos de los campos electromagnéticos pueden ser resultado de un contacto físico (Ej. tacto o roce) entre una persona y un objeto, tal como una estructura metálica en el campo, con un potencial eléctrico diferente. El resultado de tal contacto es el flujo de carga eléctrica (corriente del contacto) que pudo haberse acumulado en el objeto o en el cuerpo de la persona. En el rango de frecuencia hasta aproximadamente 100 kHz, el flujo de corriente eléctrica de un objeto en el campo al cuerpo del individuo puede dar lugar al estímulo de los músculos y/o los nervios periféricos. Con el aumento de niveles de la corriente esto se puede manifestar como una percepción, dolor por descarga eléctrica y/o quemadura, falta de habilidad para soltar el objeto, dificultad en la respiración y en corrientes muy altas, fibrilación ventricular cardiaca (Tenforde y Kaune 1987). Los valores de

umbral para estos efectos dependen de la frecuencia, el umbral más bajo ocurre en las frecuencias entre 10 y 100 Hz. Los umbrales para las respuestas de los nervios periféricos permanecen bajos para frecuencias de hasta varios kHz. Con la ingeniería y/o controles de administración apropiados, e incluso mediante el uso de ropa de protección para el personal, se puede evitar que estos problemas ocurran. Descargas de chispa pueden ocurrir cuando un individuo se acerca a un objeto con un potencial eléctrico diferente, sin realmente tocarlo (Tenforde y Kaune 1987; UNEP/WHO/IRPA 1993). Cuando un grupo de los voluntarios, quienes estaban aislados eléctricamente de la tierra, mantuvieron la punta de un dedo cerca de un objeto puesto a tierra, el umbral para la percepción de descargas de chispa era tan bajo como $0,6-1,5 \text{ kV m}^{-1}$ en el 10% de casos. El nivel de umbral del campo reportado como causante de molestia bajo estas condiciones de exposición estuvo en el orden de $2,0-3,5 \text{ kV m}^{-1}$. Corrientes de contacto grandes pueden dar lugar a la contracción de los músculos. En los voluntarios masculinos, el umbral del percentil 50 para no poder soltar un conductor cargado ha sido reportado como 9 mA en 50/60 Hz, 16 mA en 1 kHz, cerca de 50 mA en 10 kHz, y cerca de 130 mA en 100 kHz (UNEP/ OMS/ IRPA 1993).

Las corrientes de umbral para varios efectos indirectos de campos con frecuencias hasta 100 kHz se resumen en el Cuadro 5. (UNEP/ OMS/ IRPA 1993)⁹⁸.

Cuadro 6. 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

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.16>.

⁹⁸ Ibíd., Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

Con la posible excepción de tumores mamarios, hay poca evidencia proveniente de los estudios de laboratorio que los campos magnéticos en frecuencias de potencia tienen un efecto de promover tumores. Aunque son necesarios estudios futuros en animales para clarificar los efectos posibles de los campos de ELF en las señales producidas en células y en la regulación endocrina - ambas podrían influenciar el desarrollo de tumores promoviendo la proliferación de células iniciadas - solamente se puede concluir que actualmente no hay evidencia convincente para los efectos cancerígenos de estos campos y que estos datos no se pueden utilizar como base para desarrollar las recomendaciones para la exposición.

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 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 ELF 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 base para la conexión hipotética entre la leucemia de la niñez y la residencia cercana a las líneas de potencia es desconocida; si la conexión no se relaciona con los campos eléctricos y magnéticos de ELF generados por las líneas de potencia, luego factores de riesgo desconocidos para la leucemia tendrían que ser relacionados a las líneas de potencia de manera indeterminada. En ausencia de una base de estudios de laboratorio, los datos epidemiológicos son escasos para permitir que se establezcan recomendaciones para la exposición. Han habido informes de un riesgo creciente de ciertos tipos de cáncer, tales como leucemia, tumores del tejido nervioso y, de un número limitado, de cáncer de pecho, entre trabajadores eléctricos. En la mayoría de los estudios, los títulos del trabajo fueron utilizados para clasificar sujetos según niveles presumidos de la exposición del campo magnético. Algunos estudios más recientes, sin embargo, han utilizado métodos más sofisticados de tasa de exposición; todos estos estudios sugirieron un riesgo creciente de leucemia o de tumores del cerebro pero eran en gran parte contrarios con respecto al tipo de cáncer para el cual el riesgo era incrementado. Los datos son escasos para proporcionar una base para las recomendaciones de exposición al campo de ELF. En una gran cantidad de estudios epidemiológicos, no se ha proporcionado ninguna evidencia consistente de efectos reproductivos adversos.

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 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 fosfenos 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. Una reducción de la síntesis de melatonina pineal nocturna se ha observado en varias especies de roedores después de la exposición a los campos eléctricos y magnéticos débiles de ELF, pero no se ha señalado ningún efecto consistente en los seres humanos expuestos a los campos de ELF bajo condiciones controladas. Estudios que implicaban exposiciones a campos magnéticos de 60 Hz, hasta 20 μ T, no han señalado efectos confiables sobre niveles de melatonina en sangre.

Base biológica para limitar la exposición (100 kHz- 300 GHz). Los párrafos siguientes proporcionan una revisión general de la literatura relevante de los efectos biológicos y los efectos potenciales en la salud de campos electromagnéticos de frecuencias de 100 kHz a 300 GHz. Revisiones más detalladas pueden ser encontradas en (NRPB 1991; UNEP/ OMS/ IRPA 1993; McKinlay y col. 1996; Polk y Postow 1996; Repacholi 1998).

Efectos directos de los campos electromagnéticos. Estudios epidemiológicos. Solamente un número limitado de estudios se ha realizado sobre los efectos en la reproducción y el y el riesgo de cáncer en individuos expuestos a la radiación de microonda. Un resumen de la literatura fue publicado por UNEP/ OMS/ IRPA (1993).

Resultados en la reproducción. Dos estudios extensos en mujeres tratadas con microondas diatérmicas para calmar el dolor de contracciones uterinas durante el trabajo no encontraron ninguna evidencia de efectos nocivos sobre el feto (Daels 1973, 1976). Sin embargo, los resultados de siete estudios del embarazo entre trabajadoras expuestas a la radiación de microondas cuyos objetivos eran investigar defectos de nacimiento entre sus descendientes produjeron resultados positivos y negativos. En algunos de los estudios epidemiológicos más grandes de soldadores femeninos de plástico y de fisioterapeutas que trabajaban con dispositivos de diatermia de onda corta, no encontraron efectos estadístico significativos sobre índices del aborto o de la malformación fetal (Kallen y col. 1982). Por el contrario, otros estudios en poblaciones similares de mujeres trabajadoras encontraron un incremento del riesgo de aborto y defectos en el nacimiento (Larsen y col. 1991; Ouellet-Hellstrom y Stewart 1993). Un estudio de trabajadores masculinos en radares no encontró ninguna asociación entre la exposición a microondas y el riesgo de síndrome de Down en su descendencia (Cohen y col. 1977). 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.

Estudios del cáncer. Los estudios sobre el riesgo de cáncer y la exposición a microondas son pocos y generalmente falta la evaluación cuantitativa de la

exposición. Dos estudios epidemiológicos de trabajadores en radares en la industria aeronáutica y en las fuerzas armadas los E.E.U.U. no encontraron ninguna evidencia de incremento de morbilidad o de mortalidad por alguna causa (Barron y Baraff 1958; Robinette y col. 1980; UNEP/ OMS/ IRPA 1993). Resultados similares fueron obtenidos por Lillienfeld y col. (1978) en un estudio de los empleados en la embajada de los E.E.U.U. en Moscú, quienes fueron crónicamente expuestos a una baja radiación de microonda. Selvin y col. (1992) no señalaron ningún aumento en el riesgo de cáncer entre los niños crónicamente expuestos a la radiación de un transmisor grande de microonda cerca de sus hogares. Estudios más recientes no pudieron mostrar aumentos significativos en tumores del tejido nervioso entre trabajadores y personal militar expuestos a los campos de microondas (Beall y col. 1996; Grayson 1996). Por otra parte, no hay exceso de mortalidad total evidente entre los usuarios de teléfonos móviles (Rothman y col. 1996a, 1996b), pero sigue siendo demasiado temprano para observar un efecto sobre la incidencia o mortalidad de cáncer.

Ha habido un informe sobre el riesgo creciente de cáncer entre personal militar (Szmigielski y col. 1988), pero los resultados del estudio son difíciles de interpretar porque ni el tamaño de la población ni los niveles de exposición se indica claramente. En un estudio posterior, Szmigielski (1996) encontró un incremento en los índices de leucemia y de linfoma en el personal militar expuesto a los campos de CEM, pero la tasa de exposición de CEM no estaba bien definida.

Algunos estudios recientes de poblaciones que vivían cerca de transmisores de CEM han sugerido un aumento de incidencia local de leucemia (Hocking y col. 1996; Dolk et en 1997a, 1997b), pero los resultados son poco concluyentes. Como un todo, los resultados del pequeño número de estudios epidemiológicos publicados proporcionan solamente información limitada sobre el riesgo de cáncer.

Estudios de laboratorio. Los párrafos siguientes proporcionan una evaluación resumida y crítica de los estudios de laboratorio sobre los efectos biológicos de campos electromagnéticos de frecuencias en el rango 100 kHz - 300 GHz. Hay discusiones separadas sobre resultados de estudios en voluntarios expuestos bajo condiciones controladas y estudios de laboratorio sobre células, tejidos, y sistemas animales.

Estudios en voluntarios. Los estudios por Chatterjee y col. (1986) demostraron que, conforme la frecuencia aumenta de aproximadamente 100 kHz hasta 10 MHz, el efecto dominante de la exposición a un campo electromagnético de alta intensidad cambia del estímulo del nervio y del músculo a la calefacción. En 100 kHz la sensación primaria era la de un nervio que zumbaba, mientras que en 10 MHz era uno de calor en la piel. En este rango de frecuencia, por lo tanto, los criterios básicos de protección sanitaria deben ser por ejemplo evitar el estímulo de tejidos excitables y los efectos térmicos. En las frecuencias a partir de 10 MHz a 300 GHz, la calefacción es el efecto principal de la absorción de la energía electromagnética, y las subidas de temperatura de más de 1-2 °C pueden tener efectos de salud adversos tales como agotamiento por calor y ataque de calor (ACGIH 1996). Los estudios de trabajadores en ambientes térmicos agotadores han mostrado el empeoramiento del funcionamiento de tareas simples conforme la

temperatura del cuerpo se eleva a un nivel que se acerca al estrés de calor fisiológico (Ramsey y Kwon 1988). Una sensación de calor ha sido señalada por voluntarios que experimentaban una corriente de alta frecuencia de cerca de 100-200 mA a través de una extremidad. El valor del SAR resultante es poco probable que produzca un incremento localizado de la temperatura de más de 1 °C en las extremidades (Chatterjee y col. 1986; Chen y Gandhi 1988; Hoque y Gandhi 1988), que se ha sugerido como el límite superior de incremento de temperatura sin efectos perjudiciales a la salud (UNEP /OMS/ IRPA 1993). Datos sobre los voluntarios reportados por Gandhi y col. (1986) para las frecuencias hasta 50 MHz y por Tofani y col. (1995) para las frecuencias de hasta 110 MHz (el límite superior a la banda de la radiodifusión en FM) reportan un nivel de referencia para corrientes en las extremidades de 100 mA para evitar efectos térmicos excesivos (Dimbylow 1997).

Ha habido varios estudios de respuestas termorreguladoras de voluntarios en descanso expuestos a CEM en sistemas de proyección de imagen por resonancia magnética (Shellock y Cruess 1987; Magin y col. 1992). En general, éstos han demostrado que la exposición por hasta 30 minutos, bajo condiciones en las cuales el SAR de todo el cuerpo era menos de 4 W kg^{-1} , causó un aumento en la temperatura del cuerpo de menos de 1 °C.

Estudios celulares y animales. Hay numerosos informes sobre respuestas del comportamiento y fisiológicas de los animales de laboratorio, incluyendo roedores, perros, y los primates, a interacciones térmicas de CEM en frecuencias por encima de los 10 MHz. La termosensibilidad y las respuestas termorreguladoras se asocian al hipotálamo y a los receptores térmicos situados en la piel y en partes internas del cuerpo. Las señales aferentes que reflejan el cambio de temperatura convergen en el sistema nervioso central y modifican la actividad principal de los sistemas de control neuroendocrino, accionando las respuestas fisiológicas y del comportamiento necesarias para el mantenimiento de la homeostasis.

La exposición de animales de laboratorio a CEM que producían una absorción en exceso de aproximadamente 4 W kg^{-1} ha revelado un modelo característico de la respuesta termorreguladora, en el cual la temperatura del cuerpo inicialmente sube y luego se estabiliza siguiendo la activación de los mecanismos termorreguladores (Michaelson 1983). La fase temprana de esta respuesta es acompañada por un aumento en el volumen de la sangre debido al movimiento del líquido del espacio extracelular hacia la circulación y por aumentos en el ritmo cardíaco y la presión intraventricular de la sangre. Estos cambios cardiodinámicos reflejan las respuestas termorreguladoras que facilitan la conducción del calor a la superficie del cuerpo. La exposición prolongada de animales a niveles de radiación de microondas que elevan la temperatura del cuerpo conduce en última instancia al colapso de estos mecanismos termorreguladores.

Varios estudios en roedores y monos también han demostrado un componente comportamental de las respuestas termorreguladoras. Una disminución del rendimiento para la realización de tareas por las ratas y los monos se ha observado en valores del SAR en el rango $1\text{-}3 \text{ W kg}^{-1}$ (Stern y col. 1979; Adair y Adams 1980;

de Lorge y Ezell 1980; D'Andrea y col. 1986). En los monos, la alteración del comportamiento causada por el sistema termorregulador se inicia cuando la temperatura de la región hipotalámica se incrementa en valores tan pequeños como 0.2-0.3°C (Adair y col. 1984). El hipotálamo es considerado ser el centro control del proceso termorregulatorio normal, y su actividad puede ser modificada por un pequeño aumento de temperatura local bajo condiciones en que la temperatura rectal se mantenga en un nivel constante. A niveles de absorción de energía electromagnética que causa un aumento de la temperatura corporal en exceso de 1- 2 °C, una gran cantidad de efectos fisiológicos han sido caracterizados en estudios con células y sistemas animales (Michaelson y Elson 1996). Estos efectos incluyen alteraciones en funciones neurales y neuromusculares; incremento de la permeabilidad de la barrera sangre-cerebro; debilitamiento ocular (opacidad de la lente y anomalías córneas); cambios en el sistema inmunológico asociados al estrés; cambios hematológicos; cambios reproductivos (Ej. producción reducida de esperma); teratogenicidad; y cambios en la morfología de la célula, agua y contenido electrolítico, y funciones de la membrana. Bajo condiciones de exposición parcial del cuerpo a CEM intenso, los daños térmicos son significativos pudiendo ocurrir en tejidos sensibles tales como el ojo y los testículos. La exposición a las microondas de 2-3 horas de duración ha producido cataratas en los ojos de los conejos para valores del SAR entre 100-140 W kg⁻¹ que produjeron temperaturas lenticulares de 41-43°C (Guy y col. 1975). No se observó ninguna catarata en monos expuestos a los campos de microonda de intensidades similares o más altas, posiblemente debido a la diferencia entre los modelos de absorción de la energía en los ojos de monos y el de los conejos. A muy altas frecuencias (10-300 GHz), la absorción de la energía electromagnética se confina en gran parte de las capas epidérmicas de la piel, de los tejidos subcutáneos, y de la parte externa del ojo. En el extremo superior del rango de frecuencia, la absorción es cada vez más superficial. El daño ocular en estas frecuencias puede ser evitado si la densidad de potencia de la microonda es menor de 50 W m⁻² (Slaney y Wolbarsht el 1980; UNEP / OMS/ IRPA 1993).

Ha habido un interés reciente en los posibles efectos cancerígenos de la exposición a los campos de microondas en el rango de frecuencia de los sistemas de comunicaciones intensivamente usados, incluyendo los teléfonos móviles portátiles y los transmisores de las estaciones base. Los resultados de la investigación en esta área han sido resumidos por ICNIRP (1996). Brevemente, hay muchos informes que sugieren que los campos de microondas no son mutagénicos, y por lo tanto la exposición a estos campos es poco probable que pueda iniciar la carcinogénesis (NRPB 1992; Cridland 1993; UNEP /OMS/ IRPA 1993). Por el contrario, algunos informes recientes sugieren que la exposición de roedores a los campos de microondas en los niveles del SAR del orden de 1 W kg⁻¹ puede producir roturas del DNA de los tejidos del testículo y del cerebro (Sarkar y col. 1994; Lai y Singh 1995, 1996), aunque ICNIRP (1996) y Williams (1996) precisaron las deficiencias metodológicas que habrían podido influenciar perceptiblemente estos resultados.

En un estudio grande de ratas expuestas a las microondas por hasta 25 meses, un exceso de tumores malignos primarios fue observado en las ratas expuestas en

relación al grupo de control (Chou y col. 1992). Sin embargo, la incidencia de tumores benignos no se diferenció entre los grupos, y no hay un tipo específico de tumor más frecuente en el grupo expuesto que en ratas de almacén de la misma variedad mantenidas bajo las mismas condiciones libres de patógenos. Tomado como un todo, los resultados de este estudio no se pueden interpretar como indicadores de un efecto iniciador de tumor de los campos de microondas.

Varios estudios han examinado los efectos de la exposición a las microondas en el desarrollo de células de tumor pre-iniciadas. Szmigielski y col. (1982) observaron una tasa incrementada de células trasplantadas del sarcoma del pulmón en ratas expuestas a las microondas a altas densidades de potencia. Es posible que ésta se produjo por un debilitamiento del sistema inmunológico en respuesta al estrés térmico de la exposición a las microondas. Estudios recientes usando niveles atérmicos de radiación de microondas no han encontrado ningún efecto sobre el desarrollo de melanoma en ratones o del glioma cerebral en ratas (Santini y col. 1988; Salford y col. 1993). Repacholi y col. (1997) han señalado que la exposición de 100 ratones hembras transgénicos $E\mu$ -pim1 a los campos 900 de MHz, pulsantes en 217 Hz con anchos de pulso de 0,6 μ s por hasta 18 meses, produjeron una incidencia doble de linfoma comparada con 101 controles. Ya que los ratones estuvieron libres para vagar en sus jaulas, la variación en el SAR fue amplia (0,01-4,2 $W\ kg^{-1}$). Dado que el índice metabólico de descanso de estos ratones es 7-15 $W\ kg^{-1}$, sólo el extremo superior del rango de la exposición pudo haber producido un calentamiento leve. Así, parece que este estudio sugiere que un mecanismo no-termal pueda actuar, y necesita ser investigado más a fondo. Sin embargo, antes de asumir cualquier riesgo sobre la salud, un número de preguntas deben ser tratadas. El estudio necesita ser replicado, limitando la movilidad de los animales para disminuir la variación del SAR de la exposición y para determinarse si hay una respuesta dependiente de la dosis. Estudios adicional son necesarios para determinar si los resultados se pueden encontrar en otros modelos de animales, para poder generalizar los resultados a los seres humanos. Es también esencial evaluar si los resultados encontrados en animales transgénicos son aplicables a los seres humanos.

Consideraciones especiales para formas de onda pulsantes y de amplitud modulada

Comparadas con la radiación de onda continua (CW), los campos pulsantes de microondas con la misma tasa promedio de deposición de energía en tejidos son generalmente más eficaces en producir una respuesta biológica, especialmente cuando hay un umbral bien definido que se debe exceder para obtener el efecto (ICNIRP 1996). El efecto auditivo de las microondas es un ejemplo bien conocido de esto (Frey 1961; Frey y Messenger 1973; Lin 1978): la gente con una audición normal puede percibir campos de pulso-modulados con frecuencias de cerca de 200 MHz a 6,5 GHz. La sensación auditiva ha sido descrita diversamente como un zumbido, un clic, o un estallido, dependiendo de las características de la modulación del campo. Los efectos auditivos de las microondas se han atribuido a una interacción termoelástica en la corteza auditiva del cerebro, con un umbral de percepción de cerca de 100-400 $mJ\ m^{-2}$ para pulsos de duración menores de 30 μ s

en 2,45 GHz (que corresponde a un SAR de $4,16 \text{ mJ kg}^{-1}$). En exposiciones repetidas o prolongadas los efectos auditivos de la microonda pueden ser agotadores y potencialmente dañinos.

Algunos informes sugieren que la retina, el diafragma, y el endotelio córneo del ojo del primate son sensibles a niveles bajos de radiación de microondas pulsantes (Kues y col. 1985; UNEP/ OMS/ IRPA 1993). Los cambios degenerativos en las células sensibles a la luz de la retina fueron señalados para niveles de energía absorbidos de hasta sólo 26 mJ kg^{-1} . Después de la administración del timolol maleato, que se utiliza en el tratamiento del glaucoma, el umbral para el daño retiniano por los campos pulsantes cayó a $2,6 \text{ mJ kg}^{-1}$. Sin embargo, un intento en un laboratorio independiente de replicar parcialmente estos resultados para campos CW (es decir, no pulsantes) fracasaron (Kamimura y col. 1994), por lo tanto es imposible actualmente evaluar las implicaciones potenciales a la salud de los resultados iniciales (Kues y col. 1985).

Se ha reportado que la exposición a los campos pulsantes intensos de microonda suprime la respuesta de alarma en ratones conscientes y la evocación de movimientos del cuerpo (NRPB 1991; Sienkiewicz y col. 1993; UNEP /OMS/ IRPA 1993). El nivel umbral de la absorción específica de energía en el cerebro medio que evocó los movimientos del cuerpo fue 200 J kg^{-1} para pulsos de $10 \mu\text{s}$. El mecanismo para estos efectos de las microondas pulsantes permanece sin determinarse pero se cree que está relacionado con el fenómeno auditivo de las microondas. Los umbrales auditivos para los roedores están un orden de magnitud por debajo del umbral para los seres humanos, entre $1\text{-}2 \text{ mJ kg}^{-1}$ para pulsos $< 30 \mu\text{s}$ de duración. Se ha reportado que los pulsos de esta magnitud también afectan el metabolismo de los neurotransmisores y la concentración de los receptores neurales implicados en las respuestas al estrés y a la ansiedad en diversas regiones del cerebro de la rata.

El tema de interacciones atómicas de CEM de alta frecuencia se ha centrado en gran parte en informes de efectos biológicos de los campos de amplitud-modulada (AM) bajo condiciones in vitro de valores de SAR muy por debajo de los que producen un calentamiento cuantificable del tejido. Estudios iniciales en dos laboratorios independientes reportaron que los campos VHF de amplitud modulada en frecuencias extremadamente bajas ($6\text{-}20 \text{ Hz}$) produjeron una pequeña, pero estadísticamente significativa, liberación de Ca^{++} de las superficies de las células del cerebro de polluelo (Bawin y col. 1975; Blackman y col. 1979). Un intento subsecuente de replicar estos resultados, usando el mismo tipo de campo de AM, fracasó (Albert y col. 1987). Otros estudios de los efectos de los campos AM en la homeostasis del Ca^{++} han producido resultados positivos y negativos. Por ejemplo, los efectos de los campos AM en los enlaces de Ca^{++} a las superficie de la célula se han observado con células de neuroblastoma, células pancreáticas, tejido cardiaco, y células de cerebro de gato, pero no con células nerviosas de rata cultivadas, músculo esquelético del polluelo, o células cultivadas del cerebro de rata (Postow y Swicord 1996).

También se ha reportado que los campos de amplitud modulada alteran la actividad eléctrica del cerebro (Bawin y col. 1974), inhiben la actividad citotóxica del linfocito T (Lyle y col. 1983), disminuyen las actividades de la kinasa de AMP no cíclico-dependiente en los linfocitos (Byus y col. 1984), y causan un aumento transitorio en la actividad citoplásmica de la ornitina decarboxilasa que es una enzima esencial para la proliferación de las células (Byus et eal. 1988; Litovitz y col. 1992). En contraste, no se ha observado ningún efecto en una variedad amplia de otros sistemas celulares y límites funcionales, incluyendo capping de linfocitos, transformación neoplásica de células, y las características eléctricas y propiedades enzimáticas de varias membranas (Postow y Swicord 1996). De importancia relevante para los efectos cancerígenos potenciales de campos pulsantes es la observación de Balcer-Kubiczek y Harrison (1991) que la transformación neoplásica fue acelerada en las células C3H/10T1/2 expuestas a las microondas 2,450 MHz cuyos pulsos eran modulados a 120 Hz. El efecto era dependiente de la intensidad del campo, pero ocurría solamente cuando un químico promotor de tumor, TPA, estaba presente en el medio de cultivo de célula. Esto sugiere que las microondas pulsantes, pueden ejercer efectos co- cancerígenos conjuntamente con un agente químico que aumente el índice de la proliferación de células transformadas. Hasta la fecha, no ha habido intentos de réplica, y su implicación para los efectos de salud humana no es clara.

La interpretación de varios efectos biológicos observados de los campos electromagnéticos AM es además complicada por la existencia aparente de “ventanas” de respuesta en los dominios de la densidad de potencia y de la frecuencia. No hay modelos aceptados que expliquen adecuadamente este fenómeno, que desafía el concepto tradicional de una relación monotónica entre la intensidad de campo y la severidad de los efectos biológicos que resultan.

Como un todo, la literatura sobre efectos no térmicos de los campos electromagnéticos es compleja, la validez de los efectos reportados ha sido pobremente establecida, y la importancia de los efectos en la salud humana es tan incierta, que es imposible utilizar este cuerpo de información como base para fijar límites de exposición humana a estos campos.

Efectos indirectos de campos electromagnéticos. En el rango de frecuencia de cerca de 100 kHz.- 110 MHz, shocks eléctricos y quemaduras pueden darse en un individuo que toca un objeto de metal que no esta conectado a tierra, y ha adquirido una carga en un campo, o del contacto de un individuo cargado y un objeto de metal puesto a tierra. Debe observarse que la frecuencia superior para corrientes de contacto (110 MHz) es impuesta por una carencia de datos para frecuencias más altas, más bien que por la ausencia de estos efectos. Sin embargo, 110 MHz, es el límite superior de la frecuencia de la banda de radiodifusión en FM. Las corrientes de umbral que dan lugar a efectos biológicos, que se extienden en severidad desde la percepción hasta el dolor se han medido en experimentos controlados en voluntarios (Chatterjee y col. 1986; Tenforde y Kaune 1987; Bernhardt 1988); éstos se resumen en la Tabla 3. En general, se ha mostrado que las corrientes de umbral que producen la percepción y el dolor varían poco en el rango de frecuencia 100 kHz- 1 MHz y es poco probable que varíen significativamente en el rango de

frecuencia hasta cerca de 110 MHz. Según lo observado anteriormente para frecuencias más bajas, las variaciones significativas entre las sensibilidades de hombres, mujeres, y niños también existen para los campos de frecuencia más altas. Los datos en Tabla 3 representan el rango de valores del percentil 50 para personas de diversas tallas y diversos niveles de la sensibilidad a corrientes de contacto⁹⁹.

Cuadro 7. Rangos de corrientes umbral para efectos indirectos, incluyendo niños, mujeres y hombres

Efecto Indirecto	Umbral de corriente (mA) a una frecuencia dada	
	100 kHz	1 MHz
Percepción al tocar	25- 40	25-40
Dolor en el dedo que hace contacto	33- 55	28- 50
Descarga dolorosa/ umbral let-go	112- 224	No determinado
Descarga severa/ dificultad para respirar	160- 320	No determinado

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.23>.

Resumen de los estudios biológicos y estudios epidemiológicos (100 kHz-300 GHz). La evidencia experimental disponible indica que la exposición a CEM de seres humanos en reposo por aproximadamente 30 minutos produciendo un SAR en todo el cuerpo entre de 1 y 4W kg⁻¹ resulta en un aumento de la temperatura del cuerpo de menos de 1°C. Datos sobre animales indican un umbral del SAR en el mismo rango. Para respuestas del comportamiento la exposición a campos más intensos, que producen valores del SAR por encima de 4 W kg⁻¹, pueden colapsar la capacidad termorreguladora del cuerpo y producir niveles dañinos de calentamiento de los tejidos. Muchos estudios de laboratorio con roedores y primates no humanos han demostrado el amplio espectro de daños a los tejidos resultantes de un calentamiento parcial o total del cuerpo que produce incrementos de temperatura mayores de 1-2°C. La sensibilidad al daño térmico de los diferentes tipos de tejido varía extensamente, pero el umbral para los efectos irreversibles en

⁹⁹ *Ibíd.*, Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

tejidos más sensibles es mayor de 4 W kg^{-1} , bajo condiciones ambientales normales. Estos datos forman la base para una restricción de la exposición ocupacional de $0,4 \text{ W kg}^{-1}$, que proporciona un margen grande de seguridad para otras condiciones limitantes, tales como temperatura ambiente, humedad, o niveles de actividad física.

Los datos del laboratorio y los resultados de un número limitado de estudios en humanos (Michaelson y Elson 1996), dejan claro que los ambientes térmicos agotadores y el uso de drogas o del alcohol pueden comprometer la capacidad termorreguladora del cuerpo. Bajo estas condiciones, se deben introducir factores de seguridad para proporcionar una protección adecuada a los individuos expuestos. 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°C . Los estudios epidemiológicos en trabajadores expuestos y en el público en general no han mostrado ningún efecto de salud importante asociado a los ambientes de exposición típicos. 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.

La exposición a CEM pulsantes de suficiente intensidad conduce a ciertos efectos predecibles tales como el fenómeno auditivo de las microondas y varias respuestas del comportamiento. Los estudios epidemiológicos en trabajadores expuestos y público en general han proporcionado una información limitada y no han podido demostrar ningún efecto en la salud. Los informes del daño retiniano severo han sido desafiados posteriormente por intentos fallidos de replicar los resultados.

Una gran cantidad de estudios de los efectos biológicos de CEM de amplitud-modulada, conducidos sobre todo con niveles bajos de exposición, han dado lugar a resultados positivos y negativos. El análisis completo de estos estudios revelan que los efectos de los campos varían extensamente con los parámetros de exposición, los tipos de células, los tejidos implicados, y los límites biológicos examinados. En general, los efectos de la exposición de sistemas biológicos a niveles atérmicos de CEM de amplitud-modulada son pequeños y muy difíciles de relacionarse con potenciales efectos a la salud. No hay evidencia convincente de ventanas de densidad de potencia y de frecuencia en la respuesta a estos campos.

Shocks y quemaduras pueden ser efectos indirectos adversos de CEM de alta frecuencia que implican el contacto humano con objetos metálicos en un campo. En las frecuencias de 100 kHz.-110 MHz (el límite superior de la banda de radiodifusión

en FM), los niveles umbral de la corriente de contacto que producen efectos significativos que se extienden de la percepción al dolor severo no varían perceptiblemente en función de la frecuencia del campo. El umbral para la percepción se extiende a partir del 25 a 40 mA en individuos de diversas tallas, y para el dolor desde aproximadamente 30 a 55 mA; sobre 50 mA puede haber quemaduras severas en el lugar de contacto del tejido con un conductor metálico en el campo.

- **Recomendaciones para limitar la exposición a los CEM**

- ❖ **Limitaciones en la exposición ocupacional y del público en general.** La población expuesta ocupacionalmente consiste de adultos que generalmente están expuestos bajo condiciones conocidas y que son entrenados para estar conscientes del riesgo potencial y para tomar las protecciones adecuadas. En contraste, el público en general comprende individuos de todas las edades y de estados de salud variables, y puede incluir grupos o individuos particularmente susceptibles. En muchos casos los miembros del público no están conscientes de su exposición a los CEM. Más aún, no se puede esperar que los miembros individuales del público, tomen precauciones razonables para minimizar o evitar su exposición. Son estas consideraciones que soportan la adopción de restricciones más estrictas a la exposición del público que para la exposición de la población expuesta ocupacionalmente.

- ❖ **Restricciones básicas y niveles de referencia.** Las restricciones en los efectos de la exposición son basadas en los efectos sobre la salud ya establecidos y son llamadas restricciones básicas. Dependientes de la frecuencia, las cantidades físicas usadas para especificar las restricciones básicas de la exposición a los CEM, son la densidad de corriente, el SAR, la densidad de potencia. La protección contra efectos adversos sobre la salud requiere que estas restricciones básicas no sean excedidas.

Los niveles de referencia de la exposición son proveídos para comparación con valores medidos de cantidades físicas. El cumplimiento con todos los niveles de referencia dados en estas recomendaciones asegurara el cumplimiento de las restricciones básicas. Si los valores medidos son más altos que los niveles de referencia, no necesariamente implica que las restricciones básicas son excedidas, pero si es necesario un análisis más detallado para evaluar el cumplimiento de las restricciones básicas.

- ❖ **Justificación general de los factores de seguridad.** Hay información insuficiente sobre los efectos biológicos producidos en personas y en animales de experimento debido a la exposición a CEM como para proporcionar factores de seguridad estricta para todos los rangos de frecuencia y todas las modulaciones. Adicionalmente, parte de la incertidumbre con respecto al factor de seguridad apropiado proviene de la falta de conocimiento concerniente a la apropiada dosimetría (Repacholi 1998). Las siguientes variables fueron consideradas para determinar los factores de seguridad para campos de alta frecuencia:

Efectos debido a la exposición a CEM bajo condiciones ambientales adversas (temperaturas altas, etc.), y/o niveles de actividad altos.

La sensibilidad térmica potencialmente más alta en ciertos grupos de la población tales como las personas frágiles y/o ancianas, los infantes y los niños pequeños, y gente con enfermedades o que están tomando medicinas que comprometen su tolerancia térmica.

Los siguientes factores adicionales fueron tomados en cuenta para la obtención de los niveles de referencia para campos de alta frecuencia.

La absorción de la energía electromagnética varía según el tamaño y la orientación del campo.

Se puede producir una mayor absorción localizada de la energía, debido a la reflexión, concentración y dispersión del campo incidente.

Restricciones básicas. Diferentes bases científicas fueron usadas en el desarrollo de las restricciones básicas para varios rangos de frecuencia.

Entre 1 Hz y 10 MHz, las restricciones básicas están dadas en términos de la densidad de corriente, para prevenir daños funcionales en el sistema nervioso.

Entre 100 kHz y 10 GHz, las restricciones básicas son proveídas en términos del SAR para prevenir el estrés térmico de todo el cuerpo y un calentamiento localizado excesivo en los tejidos. En el rango de 100 kHz – 100 MHz, las restricciones son proveídas en términos de la densidad de corriente y del SAR.

Entre 10 y 300 GHz, son proveídas en términos de la densidad de potencia para prevenir el calentamiento excesivo en los tejidos o cerca de la superficie del cuerpo.

En el rango de frecuencia de unos pocos Hz a 1 kHz, para niveles de densidad de corriente inducida por encima de 100 mA m^{-2} , los umbrales para cambios agudos en la excitabilidad del sistema nervioso central y otros efectos agudos como la reversión del potencial evocado visualmente, son excedidos. En vista de las condiciones de seguridad ya mencionadas, se decidió que en el rango de las frecuencias de 4 Hz a 1 kHz, la exposición ocupacional debería estar limitada a campos que induzcan densidades de corriente menores a 10 mA m^{-2} , es decir para usar un factor de seguridad de 10. Para el público en general un factor adicional de 5 es aplicado, dando una restricción básica de la exposición de 2 mA m^{-2} . Por debajo de 4 Hz y por encima de 1 kHz, la restricción básica basada en la densidad de corriente inducida se incrementa progresivamente, correspondiendo al incremento del umbral para la estimulación de los nervios para estos rangos de frecuencia¹⁰⁰.

¹⁰⁰ Ibíd., Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

Cuadro 8. Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10GHz

Características de la exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para cabeza y tronco (mA m^{-2}) (rms)	SAR promedio en todo el cuerpo (Wkg^{-1})	SAR localizado cabeza y tronco (Wkg^{-1})	SAR localizado (extremidades) (Wkg^{-1})
Exposición ocupacional	hasta 1 Hz	40	--	--	--
	1 – 4 Hz	$40/f$	--	--	--
	4 Hz - 1 kHz	10	--	--	--
	1 – 100 kHz	$F/100$	--	--	--
	100 kHz - 10 MHz	$F/100$	0,4	10	20
	10 MHz - 10 GHz	--	0,4	10	20
Exposición al público en general	hasta 1 Hz	8	--	--	--
	1 – 4 Hz	$8/f$	--	--	--
	4 Hz - 1 kHz	2	--	--	--
	1 – 100 kHz	$F/500$	--	--	--
	100 kHz - 10 MHz	$F/500$	0,08	2	4
	10 MHz - 10 GHz	--	0,08	2	4

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.28>.

Notas

1. f es la frecuencia en Hz.
2. Debido a que el cuerpo humano no es eléctricamente homogéneo, las densidades de corriente deberían ser promediadas sobre una sección transversal de 1 cm^2 , perpendicular a la dirección de la corriente.
3. Para frecuencias hasta 100 kHz, los valores de la densidad de corriente pico pueden obtenerse multiplicando el valor rms (de la Tabla 4) por 1,414. Para pulsos de duración t_p , la frecuencia equivalente a aplicarse en las restricciones básicas debería ser calculado según: $f = 1/(2t_p)$.
4. Para frecuencias hasta 100 kHz y para campos magnéticos pulsantes, la densidad de corriente máxima asociada con los pulsos puede ser calculada de los tiempos de subida / bajada y la máxima tasa de cambio de la densidad de flujo magnético. Luego la densidad de corriente inducida puede ser comparada con la restricción básica apropiada.
5. Todos los valores del SAR, deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos.

6. La masa para promediar el SAR localizado es cualquier de tejido contiguo de 10 g de masa; el máximo SAR así obtenido debería ser el valor usado para la estimación de la exposición.

7. Para pulsos de duración t_p , la frecuencia equivalente a aplicarse en las restricciones básicas debería ser calculado según: $f = 1/(2t_p)$. Adicionalmente en el rango de frecuencias de 0,3 a 10 GHz y para exposición localizada en la cabeza, con el objeto de evitar el efecto auditivo causado por la expansión termoelástica, se recomienda una restricción básica adicional. Esta restricción es que la SA promediada sobre 10 g de tejido no debe exceder 10 mJ kg^{-1} para trabajadores y 2 mJ kg^{-1} para el público en general.

Los efectos biológicos y a la salud establecidos en el rango de frecuencias de 10 MHz a unos pocos GHz son consistentes con las respuestas al incremento de temperatura del cuerpo en más de 1°C . Este nivel de incremento de temperatura resulta de la exposición de individuos bajo condiciones ambientales moderadas a un SAR de cuerpo entero de 4 W kg^{-1} por cerca de 30 minutos. Por lo tanto se ha escogido un SAR de cuerpo entero promedio de $0,4 \text{ W kg}^{-1}$ como la restricción que provee protección adecuada para exposición ocupacional. Un factor de protección adicional de 5 es introducido para exposición al público dando un límite de SAR de cuerpo entero promedio de $0,08 \text{ W kg}^{-1}$. Las restricciones básicas más bajas para exposición al público en general toman en cuenta el factor que su edad o su estado de salud puede diferir del de los trabajadores¹⁰¹.

Cuadro 9. 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

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.27>.

Notas:

1. Las densidades de potencia deben ser promediadas sobre cualquier área expuesta de 20 cm^2 y sobre cualquier periodo de $68/_^{1,05}$ minutos ($_$ en GHz) para compensar la profundidad de penetración progresivamente corta conforme se

¹⁰¹ *Ibíd.*, Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

incrementa la frecuencia.

2. Las densidades de potencia máximos espaciales, promediadas sobre 1 cm^2 no deberían exceder 20 veces los valores antes mencionados

En el rango de baja frecuencia, actualmente hay pocos datos relativos a los efectos en la salud de los transitorios de corriente. El ICNIRP, por lo tanto recomienda que las restricciones basadas en las densidades de corrientes inducidas provenientes de campos transitorios o picos de muy corta duración, sean consideradas como valores instantáneos que no deberían ser promediados.

Las restricciones básicas para densidades de corriente, SAR de cuerpo entero promedio, y SAR localizado para frecuencias entre 1Hz y 10 GHz son presentadas en la Tabla 4, y aquellas para densidades de potencia para frecuencias de 10 – 300 GHz son presentadas en el Cuadro 9.

- **Niveles de Referencia.** Los niveles de referencia son obtenidos, cuando es apropiado, a partir de las restricciones básicas mediante el uso de modelos matemáticos y por extrapolación de los resultados de las investigaciones de laboratorio en frecuencias específicas.

Para el caso de campos de baja frecuencia, se desarrollaron diversos modelos de medición y de cómputo para derivar los niveles de referencia de intensidad de campo a partir de las restricciones básicas¹⁰².

Cuadro 10. Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos (valores rms no perturbados)

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (Vm^{-3})	Intensidad de Campo Magnético (Am^{-1})	Densidad de Flujo Magnético (μT)	Densidad de Potencia (Wm^{-3})
Hasta 1 Hz	–	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	–
1 – 8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	–
8 – 25 Hz	20 000	$2 \times 10^5 / f$	$2,5 \times 10^5 / f$	–
0,025 – 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	–
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	–
0,065 – 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2 / f$	–
1 – 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2 / f$	–
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2000 MHz	$3 f^{0,5}$	$0,008 f^{0,5}$	$0,01 f^{0,5}$	$f / 40$
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.28>.

¹⁰² Ibíd., Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

Cuadro 11. 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 (μT)	Densidad de Potencia (Wm ⁻²)
Hasta 1 Hz	–	3,2 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴	–
1 – 8 Hz	10 000	3,2 x 10 ⁴ / f ²	4 x 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	1,375f ^{0,5}	0,0037f ^{0,5}	0,0046f ^{0,5}	f/ 200
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

Fuente; ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.29>.

Notas

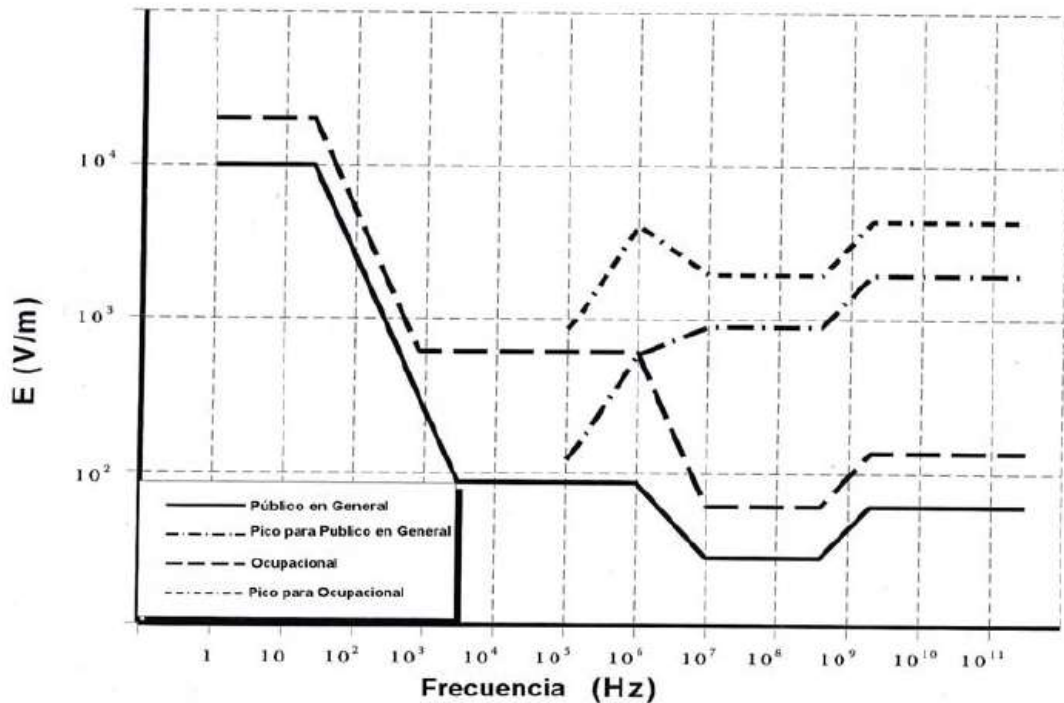
1. f esta en la frecuencia que se indica en la columna Rango de Frecuencias.
2. Asumiendo que se cumplen las restricciones básicas y que se pueden excluir los efectos indirectos adversos los valores de las intensidades de campo pueden ser excedidos.
3. Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , y B^2 , deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos.
4. Para valores pico en frecuencias hasta 100 kHz ver Tabla 4, nota 3.
5. Para valores pico en frecuencias mayores a 100 kHz, ver las Figuras 1 y 2. Entre 100 kHz y 10 MHz los valores pico de las intensidades de campo son obtenidas de la interpolación desde 1,5 veces el valor de pico en 100 kHz hasta 32 veces el valor de pico en 10 MHz. Para frecuencias mayores a 10 MHz se sugiere que el valor de pico de la densidad de potencia de onda plana equivalente, promediada sobre el

ancho del pulso, no exceda por 1000 veces las restricciones de S_{eq} , o que la intensidad de campo no exceda en 32 veces los niveles de exposición en intensidad de campo dados en esta tabla.

6. Para frecuencias mayores a 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , y B^2 , deben ser promediados sobre cualquier periodo de $68/f^{1.05}$ minutos (en GHz).

7. No se provee valores de campo eléctrico para frecuencias menores a 1 Hz, los cuales efectivamente son campos eléctricos estáticos. Para la mayoría de gente la molesta percepción de cargas electricas en su superficie no ocurriera para intensidades de campo menores a 25 kVm^{-1} . Las descargas tipo chispas causantes de estrés y molestia deberían ser evitadas¹⁰³.

Gráfico 1. Niveles de Referencia ICNIRP para exposición a campos eléctricos variables en el tiempo



Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf> p.30.

¹⁰³ Ibíd., Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

Cuadro 12. Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10GHz

Características de la exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para cabeza y tronco (mA m ⁻²) (rms)	SAR promedio en todo el cuerpo (Wkg ⁻¹)	SAR localizado cabeza y tronco (Wkg ⁻¹)	SAR localizado (extremidades) (Wkg ⁻¹)
Exposición ocupacional	hasta 1 Hz	40	--	--	--
	1 – 4 Hz	40/f	--	--	--
	4 Hz - 1 kHz	10	--	--	--
	1 – 100 kHz	F/100	--	--	--
	100 kHz - 10 MHz	F/100	0,4	10	20
	10 MHz - 10 GHz	--	0,4	10	20
Exposición al público en general	hasta 1 Hz	8	--	--	--
	1 – 4 Hz	8/f	--	--	--
	4 Hz - 1 kHz	2	--	--	--
	1 – 100 kHz	F/500	--	--	--
	100 kHz - 10 MHz	F/500	0,08	2	4
	10 MHz - 10 GHz	--	0,08	2	4

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.26>.

Los efectos biológicos y a la salud establecidos en el rango de frecuencias de 10 MHz a unos pocos GHz son consistentes con las respuestas al incremento de temperatura del cuerpo en más de 1 °C. Este nivel de incremento de temperatura resulta de la exposición de individuos bajo condiciones ambientales moderadas a un SAR de cuerpo entero de 4 W kg⁻¹ por cerca de 30 minutos. Por lo tanto se ha escogido un SAR de cuerpo entero promedio de 0,4 W kg⁻¹ como la restricción que provee protección adecuada para exposición ocupacional. Un factor de protección adicional de 5 es introducido para exposición al público dando un límite de SAR de cuerpo entero promedio de 0,08 Wkg⁻¹. Las restricciones básicas más bajas para exposición al público en general toman en cuenta el factor que su edad o su estado de salud puede diferir del de los trabajadores¹⁰⁴.

Cuadro 13. 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

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.26>.

¹⁰⁴ Ibíd., Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

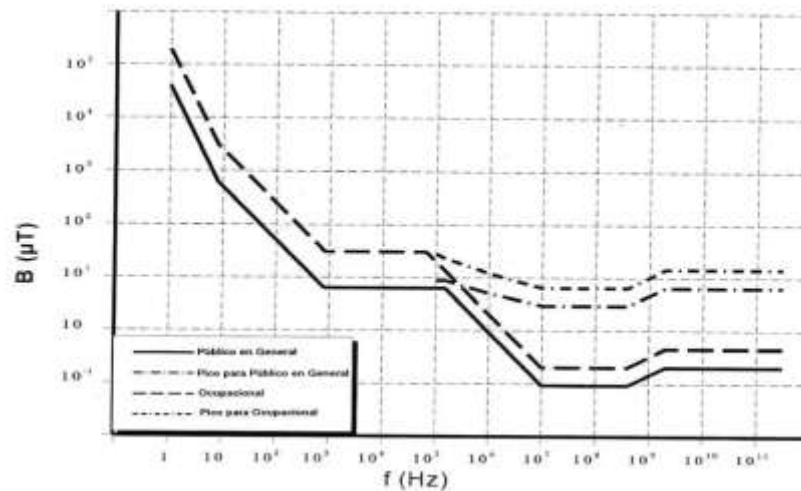
1. Las densidades de potencia deben ser promediadas sobre cualquier área expuesta de 20 cm^2 y sobre cualquier periodo de $68 / f^{1,05}$ minutos (f en GHz) para compensar la profundidad de penetración progresivamente corta conforme se incrementa la frecuencia.

2. Las densidades de potencia máximas espaciales, promediadas sobre 1 cm^2 no deberían exceder 20 veces los valores antes mencionados

En el rango de baja frecuencia, actualmente hay pocos datos relativos a los efectos en la salud de los transitorios de corriente. El ICNIRP, por lo tanto recomienda que las restricciones basadas en las densidades de corrientes inducidas provenientes de campos transitorios o picos de muy corta duración, sean consideradas como valores instantáneos que no deberían ser promediados.

Las restricciones básicas para densidades de corriente, SAR de cuerpo entero promedio, y SAR localizado para frecuencias entre 1Hz y 10 GHz son presentadas en la Tabla 4, y aquellas para densidades de potencia para frecuencias de 10 – 300 GHz son presentadas en la Tabla 5.

Gráfico 2. Niveles de Referencia ICNIRP para exposición a campos magnéticos variables en el tiempo



Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.30>

Niveles de referencia para corrientes por contacto y corrientes inducidas. Hasta 110 MHz, que incluye la banda de frecuencias de transmisión de radio FM, se dan niveles de referencia para corrientes de contacto por encima de las cuales se tiene que practicar precaución con el fin de evitar shock y quemaduras¹⁰⁵.

¹⁰⁵ Ibíd., Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

Cuadro 14. Niveles de referencia para corrientes de contacto variables en el tiempo de objetos conductores

Tipo de Exposición	Rango de Frecuencias	Corriente de Contacto Máxima (mA)
Exposición Ocupacional	Hasta 2,5 kHz.	1,0
	2,5 - 100 kHz.	0,4 <i>f</i>
	100 kHz. – 110 MHz	40
Exposición de Público en General	Hasta 2,5 kHz.	0,5
	2,5 - 100 kHz.	0,2 <i>f</i>
	100 kHz. – 110 MHz	20

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf.p.33>.

En el Cuadro 13 se indican los niveles de referencia para las corrientes de contacto. la exposición debido a que los límites de la corriente en los que se presentan respuestas biológicas en niños y mujeres en edad adulta por contacto, son aproximadamente 1/2 y 2/3, respectivamente, de los límites para el caso de los hombres en edad adulta.

f= frecuencia en Khz.

Nota: *f* es la frecuencia en kHz

- **Magnitudes entre los estándares**

- ❖ Para los cuatro estándares la restricción en la banda comprendida entre 30MHz y 300MHz aproximadamente presenta el menor límite de todo el espectro, y es igual en todos los casos. Esto ocurre a causa del consenso existente en la comunidad científica respecto al hecho de que dicha banda es potencialmente la más peligrosa. Es allí donde el cuerpo humano presenta resonancia (i.e. mayor absorción de energía) para exposición completa debido a sus dimensiones, siendo esto válido para un amplísimo rango de estaturas y pesos. Más aún, en dicha banda los efectos de la radiación han sido claramente determinados, así como los umbrales que deben ser superados a fin de ocasionarlos.

- ❖ A altas frecuencias, o sea a frecuencias mayores que la de resonancia del cuerpo humano, el parámetro de referencia es la densidad de potencia porque en ese caso la absorción de energía es superficial. Consecuentemente, la tasa de absorción específica podría no indicar una situación peligrosa, dado que cualquier cubo de ponderación tendría una distribución de absorción demasiado irregular,

solo una de sus caras estaría expuesta a un nivel de radiación significativo.

- ❖ Todos los estándares se basan en la misma evidencia científica.
- ❖ Las curvas para los límites de exposición muestran formas similares; se observa que todas las pendientes son del mismo signo en todo el espectro exceptuando en unas bandas muy angostas, debido a que los cambios de pendiente no ocurren en la misma frecuencia para todos los estándares.
- **Diferencias entre los estándares.** Las bandas de frecuencia en las que los límites están definidos son diferentes para cada estándar. En el Cuadro 14 se indican dichas bandas para cada una de las magnitudes de interés¹⁰⁶.

Cuadro 15. Banda de definición de cada uno de los estándares

	IEEE	FCC	ICNIRP	Health Canada
E (V/m)	3 kHz– 300 MHz	300 kHz-300 MHz	1 Hz – 300 GHz	3 kHz – 300 GHz
H(A/m) / B (T)	3 kHz– 300 MHz	300 kHz-300 MHz	0 – 300 GHz	3 kHz – 300 GHz
S (W/m ²)	100 MHz-300 GHz	300 kHz-100 MHz	10 MHz – 300 GHz	30 MHz – 300 GHz

Fuente: ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado 25 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.p.36.

- ❖ Los límites para exposición máxima presentan diferencias importantes en algunas bandas. Como puede verse en la Figura 2, en la banda 10kHz – 1MHz se encuentra que el límite determinado por la IEEE y la FCC es aproximadamente siete veces mayor que el dado por la ICNIRP. Aunque todos los estándares se basan en la misma evidencia, algunos toman enfoques más conservativos que otros.
- ❖ La recomendación de la FCC es la única de las estudiadas que no especifica la exposición máxima en términos de corrientes de contacto e inducidas.
- ❖ Las recomendaciones dadas por la ICNIRP son las más conservativas de las cuatro, dando límites de máxima exposición menores o iguales a los demás en todos los casos exceptuando la banda 3kHz – 300 kHz para densidad de flujo magnético, donde es dos veces mayor que el estándar canadiense. Este límite en particular fue modificado recientemente debido a que la evidencia científica sugirió que el límite dado antes era demasiado exigente porque el campo magnético en dicha banda no contribuye significativamente al deterioro de la salud humana.
- ❖ Las recomendaciones de la ICNIRP y de Health Canada son las únicas que hacen patente la distinción entre exposición ocupacional y no ocupacional en todos los valores de MPE, haciendo consistente el margen de seguridad requerido para el

¹⁰⁶ Ibíd., Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

segundo caso en toda la banda de frecuencia y para todas las magnitudes (E, B, S, J, SAR). Por el contrario, las pautas americanas coinciden en asignar límites iguales a ambientes controlados y no controlados en algunos casos. Esto pone en evidencia dos posiciones claras frente a las diferencias entre exposición ocupacional y no ocupacional: por un lado el enfoque conservativo, que considera que dentro del público general puede haber individuos especialmente susceptibles a la radiación no ionizante, además de que su exposición puede ser permanente, y por el otro el enfoque que sólo considera que el público puede estar expuesto durante más tiempo que los trabajadores, permanentemente en el peor de los casos¹⁰⁷.

¹⁰⁷ Ibíd., Disponible en Internet: <http://www.ICNIRP.com.pdf>.

5. MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

5.1 TIPOS DE MEDICIÓN

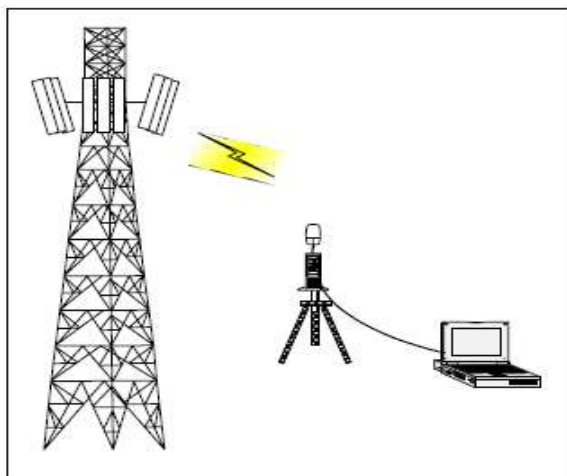
Siguiendo los procedimientos estipulados en la “Norma Técnica sobre Protocolos de Medición de Radiaciones No Ionizantes” (Normativa nacional Decreto 195 de 2005) y de acuerdo a las “Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen con los límites de exposición de las personas” (Recomendación UIT-T K.61), se realizaron dos tipos de mediciones:

Medición Tipo 1 (en banda ancha)

Medición Tipo 2 (en banda estrecha)

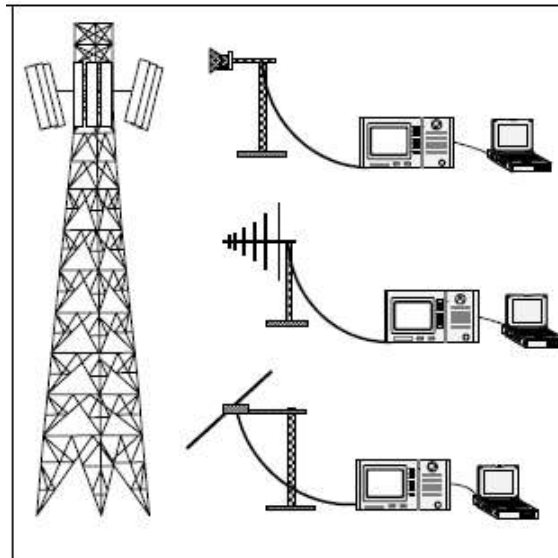
- **Medición Tipo Uno.** Basada en el Analizador de Campos Electromagnéticos controlado por una computadora portátil a través del puerto serial utilizando un cable de fibra óptica y un convertor O/E almacenándose las lecturas de las mediciones en los ejes X, Y y Z como porcentaje de los límites de exposición ocupacionales recomendados por ICNIRP.
- **Medición Tipo Dos.** La Medición Tipo 2 está basada en la utilización de un Analizador de Espectros en conjunción con distintas antena de acuerdo con los rangos de frecuencia a evaluar.

Figura 12. Medición Tipo Uno



Fuente: ORNETTA, Víctor Cruz. mediciones y evaluación de las radiaciones no ionizantes de cuarenta estaciones bases de servicios de comunicaciones móviles en la ciudad de Lima. Perú: Inictel, julio de 2005. p. 6. 1 archivo computador.

Figura 13. Medición Tipo Dos



Fuente: ORNETTA, Víctor Cruz. mediciones y evaluación de las radiaciones no ionizantes de cuarenta estaciones bases de servicios de comunicaciones móviles en la ciudad de Lima. Perú: Inictel, julio de 2005. p. 6. 1 archivo computador.

5.2 EQUIPO DE MEDICIÓN

Una solución sencilla para la seguridad de la RF básica mediciones, el HI-2200 RF Estudio de este medidor ofrece un sistema de medición incluyendo sondas intercambiables.

HI-2200 RF Survey Meter es una sonda ligera e instrumento de medición de fácil acceso en los lugares menos permitidos, como las torres, edificios etc. El módulo tiene una pantalla fácil de usar medio espacial y temporal en una gran pantalla LCD. Las características adicionales incluyen la capacidad de registro de datos, unidades de lectura seleccionable por el usuario, y el umbral de alarma ajustables, y un puerto RS-232 Interfaz de datos.

- **Comunicaciones móviles:** Con una mayor dependencia de todas las formas de comunicación electrónica, la necesidad de controlar la exposición personal es una preocupación constante. El tamaño compacto y sencillo de funcionamiento de los controles de HI-2200 RF, ofrecen la solución perfecta para todos los proveedores de servicios de telecomunicaciones. Emisión, estaciones de radio, televisión; de alta potencia de transmisión, son requeridos por los legisladores de los gobiernos en la mayoría de los países para limitar la exposición a la radiofrecuencia para el público y en general los empleados, necesario para un entorno seguro. La magnitud de onda que maneja el HI-2200 RF esta en el rango de 0Hz-5GHz y se pueden medir radiaciones desde las radiaciones radiales,

telefonía celular, TV, radar y microondas.

Figura 14. HI-2200 RF Survey Meter



Fuente: Ets-lindgren [en línea] HI-2200 RF Survey Meter Description. Estados Unidos: ets, 2000 [consultado abril de 2009]. Disponible en Internet: <http://www.ets-lindgren.com/page/?i=HI-2200>

Un lugar de trabajo seguro para los empleados es una responsabilidad importante para todas las empresas. Exposición a los CEM empleado las normas de seguridad existen en la mayoría de los países. IEEE, ICNIRP, las normas nacionales y proporcionar directrices para los trabajadores de exposición a la RF.

HI-2200 RF Estudio costo del medidor es un medio eficaz de vigilancia de seguridad en el trabajo.

Figura 15. HI-2200 RF Survey Meter



Fuente: Ets-lindgren [en línea] HI-2200 RF Survey Meter Description. Estados Unidos ets, 2000 [consultado abril de 2009]. Disponible en Internet: <http://www.ets-lindgren.com/page/?i=HI-2200>

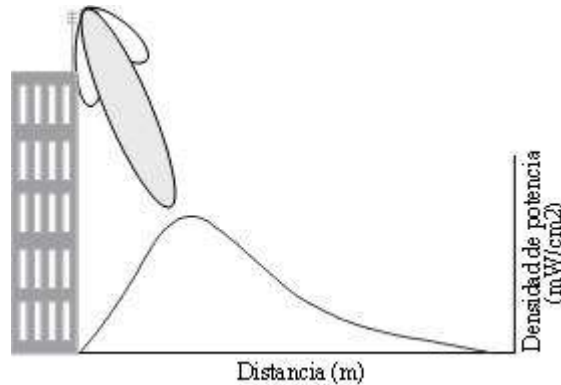
5.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Para la medición del campo electromagnético se deben tener en cuenta algunos factores importantes como: características del sitio, distancia a la fuente de radiación, las variables a medir, las unidades de medida, el tipo de medición; además, se debe estar familiarizado con las normas relacionadas con este tipo de mediciones. Igualmente se deben conocer los límites de exposición permitidos, contar con los instrumentos de medición requeridos y conocer el patrón de radiación de la fuente (ver Figura 16).

Un campo electromagnético cuenta con dos componentes, una eléctrica y otra magnética, el campo eléctrico se mide habitualmente en voltios por metro (V/m) y el magnético en amperios por metro (A/m.) La densidad de potencia, que es la combinación de los dos componentes, se mide en miliwatios por centímetro cuadrado (mW/cm^2), siendo esta última mucho más útil cuando el lugar de medida está muy lejos de la fuente emisora, zona que se conoce como de campo



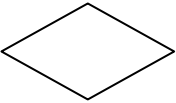
lejano. En campo lejano, el campo eléctrico E y el magnético H, se encuentran relacionados de manera conocida ($E = Z \times H$), por lo que conociendo una de estas magnitudes, queda definida la otra y, por tanto, la densidad de potencia. En la zona de campo cercano (zona cercana a la fuente) se hace necesaria la medición de ambas componentes de campo para poder caracterizarlo completamente.

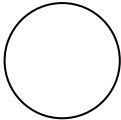
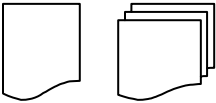
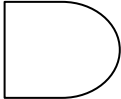
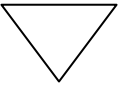

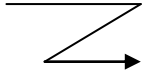

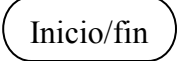
Figura 16. Perfil típico del campo emitido por una estación base de telefonía celular



Fuente: APONTE, Guillermo y ESCOBAR, Adolfo. Información Tecnológica: Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali [en línea]. Colombia: scielo, 2007 [consultado 09 de septiembre del 2008]. Disponible en Internet: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071807642007000300006&script=sci_abstract.

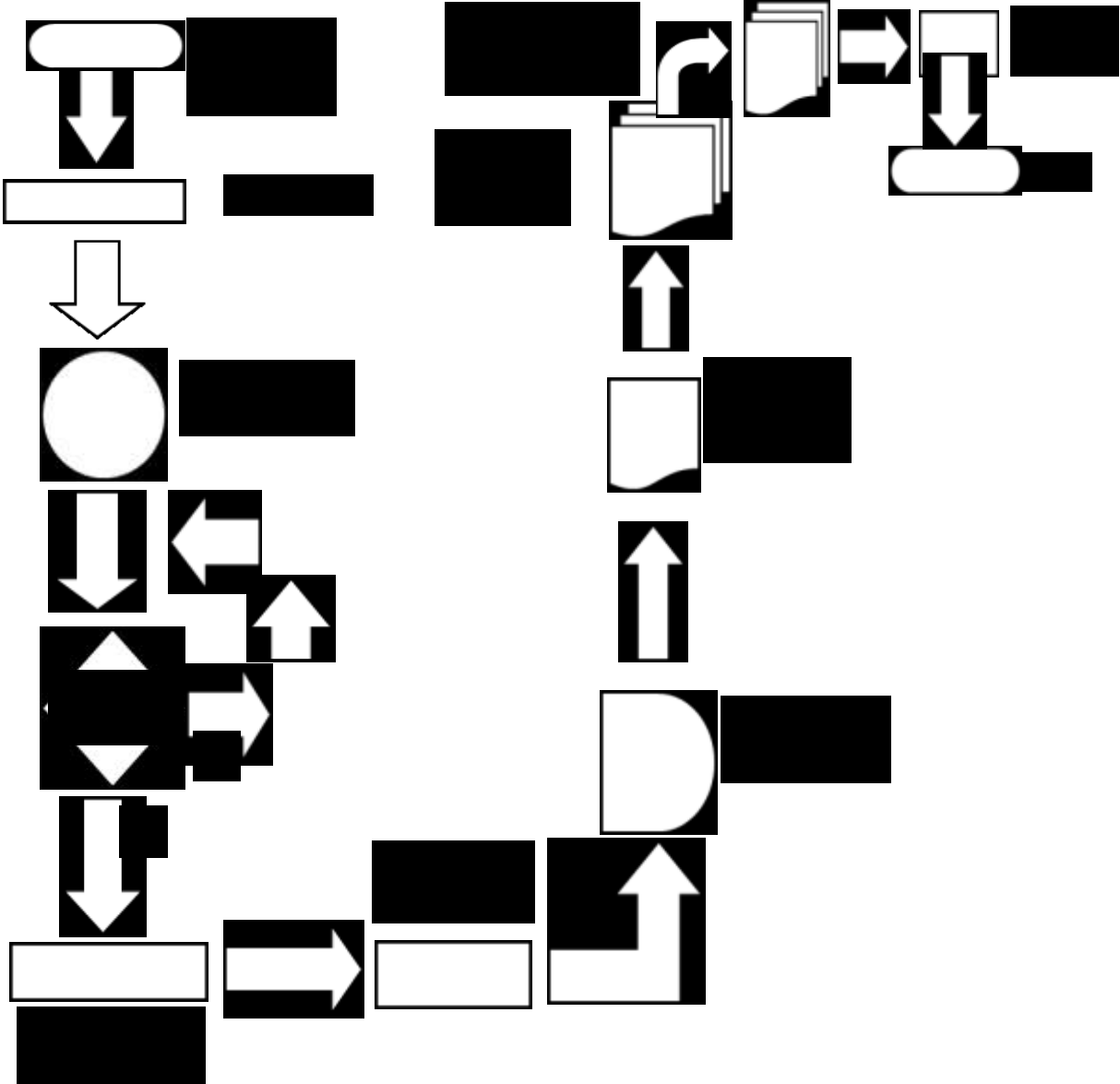
Cuadro 14. Significado diagrama de flujo

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Actividad: Rectángulo. Se utiliza para denotar cualquier clase de actividad u operación, es decir cada vez que ocurra un cambio en un ítem. Se debe incluir en el rectángulo una breve descripción de la actividad. Se utiliza para todos los diagramas.
	Movimiento: Transporte: Flecha ancha Indica el movimiento (material, personas, maquinaria, información) entre locaciones, por ejemplo : envío de un producto a bodega, envío de una carta por correo. Se utiliza en el diagrama ANSI
	Decisión: Diamante. Se utiliza en aquellos puntos del proceso donde se debe tomar una decisión. Los diferentes flujos en la decisión se marcan con las palabras SI_NO, VERDADERO_FALSO Se utiliza para todos los diagramas excepto el de bloque, puesto que en este diagrama se supone siempre el sí

	<p>Inspección: círculo grande: se utiliza un círculo grande para indicar que el flujo del proceso se ha detenido para evaluarse la calidad. También puede representar que se requiere una firma de aprobación. Dentro del círculo se describe la inspección realizada. Se utiliza en el diagrama ANSI</p>
	<p>Documentación: Utilice este símbolo para indicar que la actividad realizada incluye información registrada en papel (por ejemplo, informes escritos, cartas, o impresiones por computador) El símbolo puede indicar a su vez el número de copias. Se utiliza en el diagrama ANSI</p>
	<p>Espera: Utilice este símbolo cuando un ítem, o persona debe esperar, o cuando un ítem se coloca en un almacenamiento temporal antes de realizarse la siguiente actividad (por ejemplo, esperar una firma). Se utiliza en el diagrama ANSI</p>
	<p>Almacenamiento: Cuando exista una condición de almacenamiento controlado y se requiera de una orden o solicitud para que el ítem pase a la siguiente actividad (archivar carta). Diagrama ANSI</p>
	<p>Dirección del flujo: Denota la dirección y el orden en los pasos del proceso. Indica el movimiento de un símbolo a otro. Se utiliza en todos los diagramas.</p>
	<p>Transmisión: Identifica aquellos casos en los cuales ocurre la transmisión inmediata de información (por ejemplo transferencia electrónica de datos, fax, llamada telefónica). Se utiliza en el diagrama ANSI.</p>
	<p>Conector: Círculo pequeño: Con una letra o número dentro del mismo, para relacionar puntos del diagrama. Todos los diagramas. Conector de página: Unir páginas en la diagramación del proceso</p>
	<p>Elipse o Círculo alargado: Indica principio o fin del proceso Todos los diagramas</p>

(Ver Figura 17, página siguiente).

Figura 17. Simbología del proceso



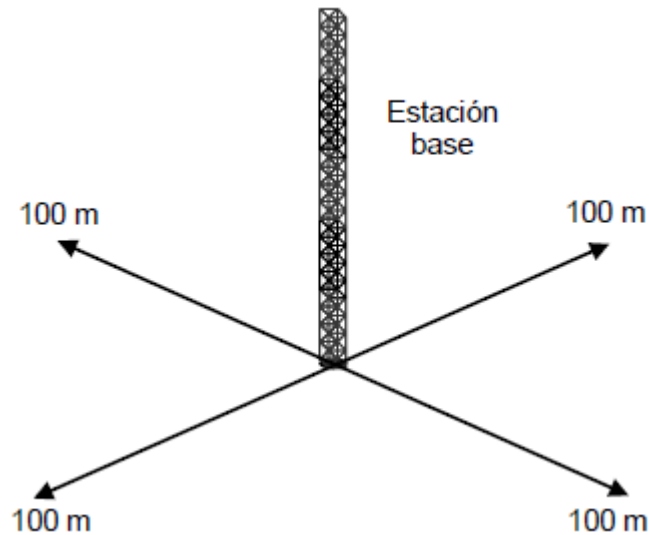
5.3.1 Medición de emisión. Medición del valor promedio de la intensidad de campo eléctrico o magnético debidos a una fuente de radiofrecuencia determinada, la cual opera a una frecuencia específica. Para ello se utilizan equipos de medición en banda angosta.

5.3.2 Medición de inmisión. Medición del campo electromagnético producto del aporte de múltiples fuentes de radiofrecuencia, que operan a distintas frecuencias. En este tipo de mediciones se utilizan equipos de banda ancha. Para evaluar la exposición poblacional se realiza la medición de inmisión, ya que las personas están expuestas simultáneamente a muchas fuentes de radiación. En el proyecto se empleó un medidor de inmisión de campo electromagnético isotrópico, modelo HI-2200 RF Survey Meter de la marca NARDA (Fig. 4). Este medidor utiliza diferentes sondas de medición, dependiendo de si se desea medir el campo eléctrico o el magnético y de la banda de frecuencia en la que se desea realizar la medición. Para hacer la medición, previamente se debe recorrer el sitio con el objetivo de reconocer el tipo de instalación y determinar los puntos de mayor interés para medir. Los aspectos a tener en cuenta durante este reconocimiento son los siguientes:

Primero, identificar las zonas accesibles para el público en general, próximas a la antena radiante más cercana. Luego, verificar si existen lugares de residencia habitual, a distancias cortas de las antenas radiantes, especialmente en la dirección de máxima radiación. Después de esto, observar si se encuentran edificios u otros obstáculos, estimando de qué manera su presencia puede afectar al proceso de medida, fundamentalmente debido a reflexiones; comprobar si existen escuelas, hospitales, parques públicos, etc., situados en lugares próximos a las estaciones base. Por último, identificar las fuentes de señal radioeléctrica en las inmediaciones del entorno de medida y su posible incidencia en la medición. Las mediciones deben considerar las cuatro direcciones ortogonales a partir de la estación base (perfiles), como se observa en la Fig. 19 y distancias de aproximadamente 2, 12, 50 y 100 metros desde el soporte de la estación base. El medidor debe estar a una altura de 1.8 metros sobre el suelo y se debe dejar midiendo por un período de 6 minutos.

(Ver Figura 18, página siguiente).

Figura 18. Perfiles de medición



Fuente: APONTE, Guillermo y ESCOBAR, Adolfo. Información Tecnológica: Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali [en línea]. Colombia: scielo, 2007 [consultado 09 de septiembre del 2008]. Disponible en Internet: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071807642007000300006&script=sci_abstract.

Los anteriores requerimientos se pueden cumplir cuando se mide un sistema que radia de manera omnidireccional y situado en campo despejado, como es el caso de las emisoras de radio AM, generalmente ubicadas en las afueras de la ciudad. Cuando se realizan mediciones dentro de la ciudad, por ejemplo sobre estaciones de telefonía celular y de radio FM, las distancias y la dirección de los puntos de medición están condicionadas por la ubicación del sistema (direcciones en que está radiando) y por los lugares expuestos a radiación. Se puede también realizar mediciones a alturas diferentes a 1.8 metros, tal es el caso de las escuelas, donde 1 metro puede ser un valor acorde con la altura promedio de los niños.

Durante el proyecto se efectuaron mediciones en 70 sitios distribuidos en distintas zonas de la ciudad de Cali, con el propósito de conocer y cuantificar los niveles de inmisión de campo electromagnético en estos puntos, para tener una muestra representativa de los niveles de campo electromagnético existentes en la ciudad. Los 70 sitios se escogieron, de un listado de 200 lugares, entregado por la Personería Municipal de la ciudad, donde a finales del año 2004 se encontraban estaciones base de telecomunicaciones.

En el Cuadro 16 se describen los sitios en donde se realizaron las mediciones. Algunos de ellos eran de interés especial, ya que se encontraban dentro o cerca de escuelas, hospitales o lugares representativos de la ciudad. El Cuadro 15

muestra una distribución del número de sistemas medidos de acuerdo a su tipo y cantidad.

Cuadro 15. Descripción de los sitios de medición

Lugar	Cantidad	Porcentaje
Azotea	1	1,43
Calle	69	98,57

Una vez realizadas las mediciones con el analizador de campo electromagnético, se procede a escoger el valor más representativo obtenido por cada sector de la estación en estudio. Dicho punto será tomado como un punto de medición detallada, lo que se realizó con un analizador de espectros.

Protocolo Utilizado. El protocolo de medición utilizado es la aprobada por la normativa sobre exposición a los campos electromagnéticos (Normativa nacional Decreto 195 de 2005) que básicamente es aplicable a estaciones radioeléctricas cuya emisión se encuentra en el rango de 1kHz- 300GHz TITULO II

Aplicación y Desarrollo Artículo 4°. (Público en general).

5.3.3 Mediciones de las estaciones bases. Consideraciones Generales

a) Tomando en consideración los acimuts del arreglo de antenas por cada sector de las estaciones base (los puntos de medición están ubicados a 2, 10, 20, 50 y 100 metros de la base de la antena en sentido horizontal y en dirección del haz principal del arreglo de antenas, siempre que los puntos de medición a estas distancias sean accesibles).

b) Las mediciones realizadas con el analizador de campo electromagnético fueron tomadas a una altura de 2 metros sobre el piso (promediación temporal).

Dependiendo del valor medido se procede a establecer sobre el punto de medición una línea vertical con tres puntos de medición localizados a 1.1 m, 1.5 m y 1.7 m. sobre la superficie de referencia (promediación espacial).

c) Para evitar perturbaciones y/o errores en la medición del campo eléctrico, el operador se ubica de tal manera que no esté entre la fuente radiante y la sonda (sensor) del equipo de medición.

d) Una vez realizadas las mediciones de RNI con el analizador de campo electromagnético correspondiente a una estación radioeléctrica (se toma en

consideración el acimut y las distancias de la base del sistema irradiante al punto de medición) se elige un punto de medición por sector para el analizador de espectros en función del valor más representativo obtenido con el Analizador de Campo Electromagnético.

e) La medición de RNI realizada con el analizador de espectros es detallada y consta de 3 características principales:

- Medición de la intensidad de campo eléctrico por bandas de las frecuencias correspondientes a estaciones radioeléctricas de telecomunicaciones.
- Medición de la intensidad de campo eléctrico en 03 polarizaciones (x,y,z) a 2 metros de altura sobre el suelo.
- Tiempo de promediación de 6 minutos en cada polarización¹⁰⁸.

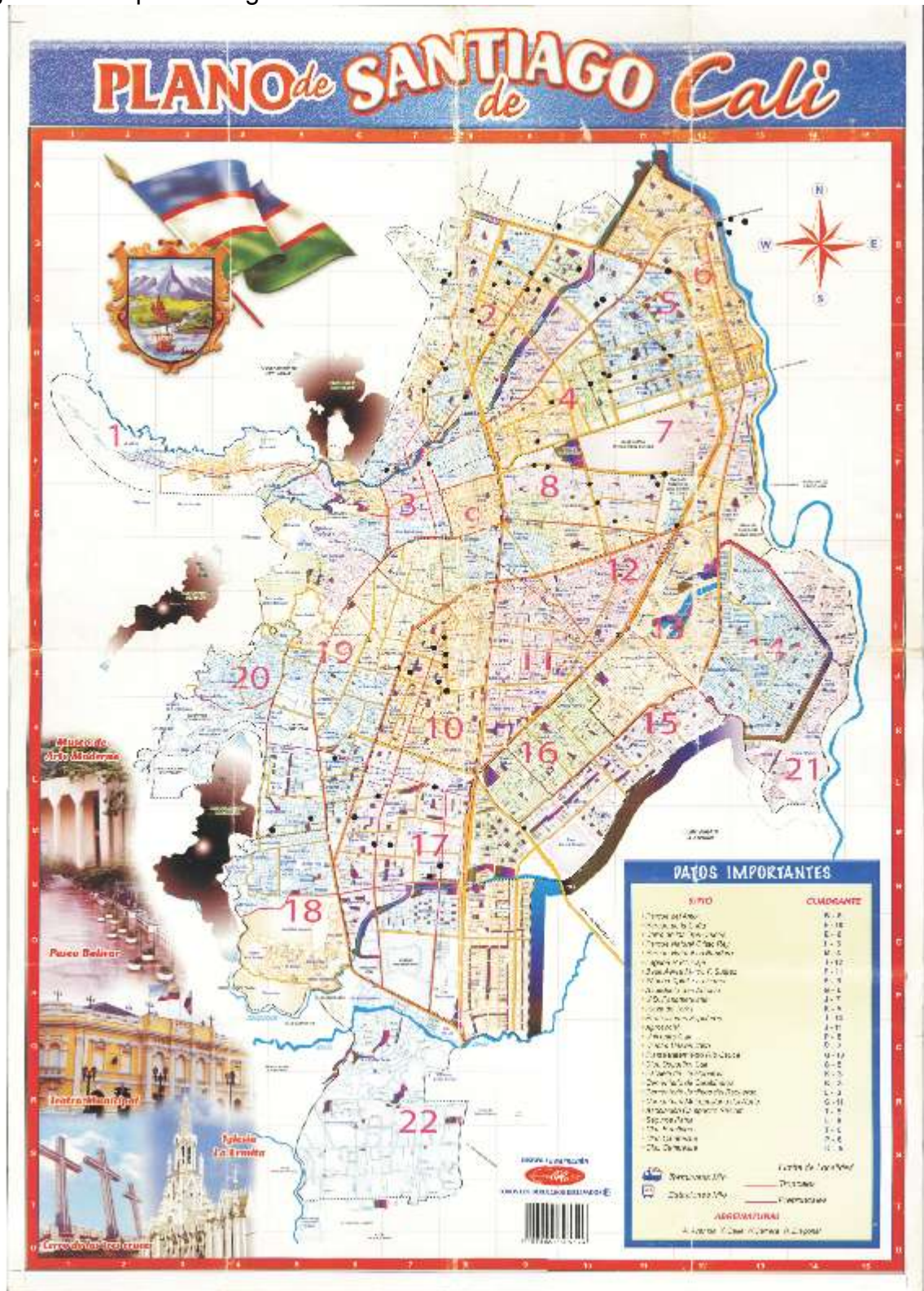
5.4 SITIOS DE MEDICIÓN

Cuadro 16. Sitios de medición en la ciudad de Santiago de Cali

Cra. 66 calle 10A	Cra. 8 calle 34	Cra. 8	Cl. 38 #3N-60	Cl. 44 Cra. 2C
Calle 12 Cra. 66	Salida Cali - Palmira	Cl. 62 Cra. 2	Av. 4 # 38n-68	Cra 2B calle 46C
Calle 3C Cra. 66	Salida Cali - Palmira	Cl. 62 Cra. 1D	Av. 4 # 40N-72	Cra. 3 calle 52
Cra. 66 Cl. 1B	Sameco	Cl. 61 Cra. 1B	Cl. 48 N # 3GN-156	Cra. 2 calle 52
Cra. 60 Cl. 6	Calle 15 # 32	Cra 11a # 37-77	Calle 48 N # 3GN-120	Cra. 2B calle 37
Cl. 15C # 56	Cra 34 calle 14	Cl. 11A Cra. 38	Av. 3 H # 49N-59	Cl. 34 Cra. 6A
Cl. 14 # 33	Calle 13 # 37	Cra 36 # 10-309	Calle 59AN Av. 2an	
Calle 14 # 70	Calle 14 # 39	Centroempresa	Av. 3n # 52n-156	
Cra. 79 calle 15A	Cra 4 # 57	Av. 6 N calle 7	Calle 52 cra 2	
Cra 79 calle 16	Cra 4 calle 56	Calle 53 # 8n-45	Autop Sur # 68-04	
Cra70 calle 13A	calle 50 # 4	Carrefour chipichape	Cl 58 # 15-18	
Cra70 calle 13A	calle 4 # 7A	Carrefour chipichape	Cl 51 # 51-25	
Cra. 1A Cl 70A	Cra. 8 Cl 60	Av. 6 # 28N-65	Cl 50 Cra. 14	
Transv 4	Cra. 8 Cl 58	Cl. 25 AN #6BN-34	Cra. 13 # 45-51	
Transv 4	Cra. 8 Cl 59	Av. 6AN #26N-52	Cl 44 Cra. 11	

¹⁰⁸ ORNETTA, Víctor Cruz. mediciones y evaluación de las radiaciones no ionizantes de cuarenta estaciones bases de servicios de comunicaciones móviles en la ciudad de Lima. Perú: Inictel, julio de 2005. p. 6-7. 1 archivo computador.

Figura 19. Mapa Santiago de Cali con los sitios de medición



6. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES (DENSIDAD DE POTENCIA ($S=E^2/Za$))

En el siguiente cuadro se observa la conversión de campo eléctrico a densidad de potencia. La densidad de potencia viene dada en mW/m^2 . En el primer cuadro esta el valor en campo eléctrico E (0.37) que al remplazarlo en la formula $S = E^2/Za$ quedaría transformado en densidad de potencia S siendo Z una constante con valor de 377. $S= (0.37)^2 / 377= 0.000196$ quedando en la columna siguiente.

Cuadro 17. Resultados de las mediciones (densidad de potencia ($S = E^2/Za$))

cr 66 cll 10A (V/m)	S = E /Za	cil 12 cr 66	Columna2	cil 3C cr 66	Columna3	cr 66 cll 1B	Columna4	cr60 cll6	Columna5	cil 15C # 56	Columna6
0,37	0,000196	3,12	0,001655	0,33	0,000175	0,62	0,000329	1,88	0,000997	0,49	0,00026
0,44	0,000233	2,75	0,001459	0,33	0,000175	0,51	0,000271	1,8	0,000955	0,47	0,00025
0,44	0,000233	2,51	0,001332	0,33	0,000175	0,6	0,000318	1,73	0,000918	0,46	0,00024
0,4	0,000212	2,61	0,001385	0,34	0,000180	0,48	0,000255	1,99	0,000106	0,52	0,00028
0,33	0,000175	0,29	0,000154	0,35	0,000186	0,5	0,000265	2,3	0,001220	0,55	0,00029
cil 14 # 33 (emcali)	Columna1	cil 14 # 33(mov)	Columna2	cil 14 # 70	Columna3	cr 79 cll 15 A	Columna4	cr79 cll16	Columna5	cr 70 cll 13 A	Columna6
3,2	0,001698	2,1	0,001114	0,53	0,000281	0,63	0,000334	1,5	0,000796	1,85	0,00098
2,8	0,001485	2,15	0,001141	0,55	0,000292	0,75	0,000398	1,97	0,001045	1,95	0,00103
2,45	0,001300	2,06	0,001093	1,14	0,000605	0,77	0,000408	1,85	0,000981	0,62	0,00033
2,4	0,001273	1,99	0,001056	1,1	0,000584	1,55	0,000822	1,79	0,000950	0,64	0,00034
2,56	0,001358	1,81	0,000960	1,05	0,000557	1,5	0,000796	1,08	0,000573	0,59	0,00031
cr 70 cll 13	Columna1	cr 1 A cll 70 A	Columna2	(via cali- aero)	Columna3	transversal 4	Columna4	tran 42	Columna5	pte rio cauca	Columna6
1,3	0,000690	0,83	0,000440	0,75	0,000398	3,56	0,001889	4,26	0,002260	1,75	0,00093
1,31	0,000695	0,99	0,000525	2,84	0,001507	3,37	0,001788	3,83	0,002032	1,06	0,00056
1,33	0,000706	1,69	0,000897	2,45	0,001300	3,25	0,001724	2,9	0,001538	1,2	0,00064
1,39	0,000737	1,68	0,000891	2,44	0,001294	3,15	0,001671	2,49	0,001321	5,3	0,00281
1,4	0,000743	1,62	0,000859	3,37	0,001788	3,01	0,001597	2,39	0,001268	4,61	0,00245

Cuadro 17. (Continuación).

puente rio cauca	Columna1	sameco	Columna2	cil 15 # 32	Columna3	cr 34 cil 14	Columna4	cil 13 # 37	Columna5	cil 14 # 39	Columna6
3,18	0,001687	0,56	0,000297	1,82	0,000966	7,27	0,003857	1,8	0,000955	0,37	0,00020
3,15	0,001671	0,47	0,000249	2,7	0,001432	4,65	0,002467	3,3	0,001751	0,36	0,00019
3,08	0,001634	2,05	0,001088	4,68	0,002483	3,45	0,001830	3,99	0,002117	0,93	0,00049
3,65	0,001936	3,5	0,001857	5,49	0,002912	3,4	0,001804	4,1	0,002175	0,95	0,00050
3,4	0,001804	3,1	0,001645	4,55	0,002414	2,6	0,001379	3,98	0,002111	1,1	0,00058
cr 4aN cil 57	Columna1	cr 4aN cil 56	Columna2	cil 50 # 4	Columna3	cil49 # 79	Columna4	cr 8 cil 60	Columna5	cr 8 cil 58	Columna6
1,33	0,000706	3,4	0,001804	6,55	0,003475	5,3	0,002812	4,5	0,002387	4,39	0,00233
0,75	0,000398	2,42	0,001284	5,21	0,002764	4,84	0,002568	3,83	0,002032	3,53	0,00187
4,15	0,002202	3,22	0,001708	3,9	0,002069	4,39	0,002329	3,45	0,001830	3,31	0,00176
3,8	0,002016	3,64	0,001931	3,45	0,001830	3,98	0,002111	3,13	0,001660	3,2	0,00170
4,51	0,002393	3,65	0,001936	3,05	0,001618	3,51	0,001862	2,89	0,001533	2,95	0,00156
cr 8 cil 59	Columna1	cr 8 cil 65	Columna2	cil 62 # 2	Columna3	cil 62 # 1D	Columna4	cil 61 # 1B	Columna5	cr 11A # 37 - 77	Columna6
4,7	0,002493	0,65	0,000345	0,72	0,000382	1,85	0,000981	1,88	0,000997	0,48	0,00025
4,68	0,002483	0,62	0,000329	0,73	0,000387	1,82	0,000966	1,7	0,000902	0,4	0,00021
4,58	0,002430	0,73	0,000387	1,12	0,000594	1,6	0,000849	1,78	0,000944	0,51	0,00027
4,55	0,002414	0,75	0,000398	1,14	0,000605	1,48	0,000785	1,49	0,000790	0,46	0,00024
4,6	0,002440	0,75	0,000398	1,1	0,000584	2,16	0,001146	1,35	0,000716	0,45	0,00024

Cuadro 17. (Continuación).

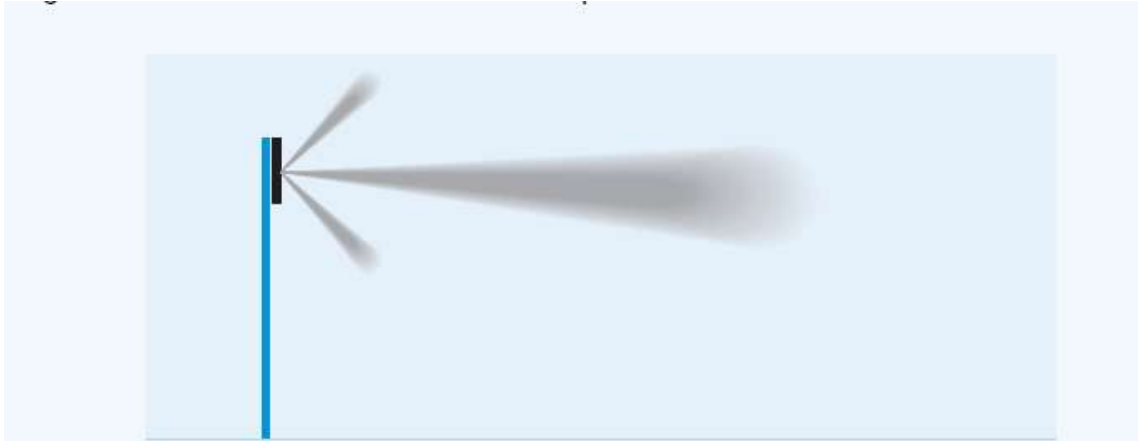
cil 11A cr 38	Columna1	cr 36 # 10 - 309	Columna2	centroempresa	Columna3	aven 6N cil 7	Columna4	cil53#8N-45	Columna5	carrefour chip	Columna6
1,58	0,000838	1,37	0,000727	0,3	0,000159	0,29	0,000154	0,28	0,000149	0,46	0,00024
0,85	0,000451	1,25	0,000663	0,32	0,000170	0,31	0,000164	0,29	0,000154	0,47	0,00025
0,72	0,000382	1,1	0,000584	0,31	0,000164	0,32	0,000170	0,37	0,000196	0,48	0,00025
0,59	0,000313	1,05	0,000557	0,32	0,000170	0,31	0,000164	0,38	0,000202	0,53	0,00028
0,6	0,000318	0,97	0,000515	0,31	0,000164	0,31	0,000164	0,36	0,000191	0,51	0,00027
carrefour chipchape	Columna1	aven 6 # 8N - 65	Columna2	cil 25AN # 6BN - 34	Columna3	aven 6 AN # 24N - 40	Columna4	cil28N # 5A-70	Columna5	aven 2B # 26N - 52	Columna6
0,53	0,000281	0,33	0,000175	0,71	0,000377	0,76	0,000403	0,75	0,000398	0,64	0,00034
0,52	0,000276	0,34	0,000180	0,68	0,000361	0,42	0,000223	0,78	0,000414	0,65	0,00034
0,52	0,000276	0,35	0,000186	0,7	0,000371	0,45	0,000239	0,8	0,000424	0,53	0,00028
0,51	0,000271	0,35	0,000186	0,51	0,000271	0,42	0,000223	0,8	0,000424	0,56	0,00030
0,5	0,000265	0,33	0,000175	0,5	0,000265	0,66	0,000350	0,8	0,000424	0,53	0,00028
cil 38 # 3N - 60	Columna1	avda 4 # 38N - 68	Columna2	avda 4 # 40N - 72	Columna3	cil 48N # 3gN - 156	Columna4	cil48N#3gN-120	Columna5	avda 3H # 49N - 59	Columna6
0,29	0,000154	0,27	0,000143	0,32	0,000170	0,32	0,000170	0,34	0,000180	0,64	0,00034
0,3	0,000159	0,33	0,000175	0,34	0,000180	0,34	0,000180	0,35	0,000186	0,63	0,00033
0,31	0,000164	0,35	0,000186	0,35	0,000186	0,35	0,000186	0,33	0,000175	0,61	0,00032
0,33	0,000175	0,36	0,000191	0,37	0,000196	0,34	0,000180	0,37	0,000196	0,59	0,00031
0,33	0,000175	0,37	0,000196	0,38	0,000202	0,33	0,000175	0,36	0,000191	0,6	0,00032

Cuadro 17. (Continuación).

cil 59N avda 2AN	Columna1	av3N # 52N - 156	Columna2	cil 52 cr 2	Columna3	autop sur # 68 - 04	Columna4	cil58 # 15-18	Columna5	cil 51 # 51 - 25	Columna6
0,32	0,000170	0,3	0,000159	0,38	0,000202	0,39	0,000207	1,12	0,000594	0,28	0,00015
0,33	0,000175	0,31	0,000164	0,43	0,000228	0,4	0,000212	0,87	0,000462	0,38	0,00020
0,32	0,000170	0,31	0,000164	0,42	0,000223	0,4	0,000212	0,85	0,000451	0,39	0,00021
0,31	0,000164	0,32	0,000170	0,56	0,000297	0,4	0,000212	0,84	0,000446	0,39	0,00021
0,31	0,000164	0,33	0,000175	0,53	0,000281	0,4	0,000212	0,82	0,000435	0,39	0,00021
cil 50 cr 14	Columna1	cr 13 # 45 - 51	Columna2	cil 44 cr 11	Columna3	cr 2 C	Columna4	cr2B cil 46C	Columna5	cr 3 cil 52	Columna6
0,38	0,000202	0,54	0,000286	0,47	0,000249	0,3	0,000159	0,55	0,000292	0,85	0,00045
0,45	0,000239	0,31	0,000164	0,4	0,000212	0,32	0,000170	0,56	0,000297	0,83	0,00044
0,44	0,000233	0,41	0,000218	0,43	0,000228	0,36	0,000191	0,54	0,000286	0,77	0,00041
0,46	0,000244	0,42	0,000223	0,44	0,000233	0,37	0,000196	0,53	0,000281	0,75	0,00040
0,47	0,000249	0,45	0,000239	0,44	0,000233	0,37	0,000196	0,52	0,000276	0,69	0,00037
cr 2 cil 52	Columna1	cr 2B cil 37	Columna2	cil 34 cr 6A	Columna3	cr 8 cil 34	Columna4				
0,69	0,000366	0,7	0,000371	0,52	0,000276	0,47	0,000249				
0,27	0,000143	0,79	0,000419	0,53	0,000281	0,54	0,000286				
0,82	0,000435	0,8	0,000424	0,56	0,000297	0,55	0,000292				
0,84	0,000446	0,79	0,000419	0,55	0,000292	0,57	0,000302				
0,65	0,000345	0,72	0,000382	0,56	0,000297	0,58	0,000308				

7. CONCLUSIONES

Figura 20. Ponencia de transmisión de una antena de estación base de telefonía móvil



La evaluación de los niveles de emisión de densidad de potencia en 70 sitios en la Ciudad de Cali, muestra que las antenas medidas están bajo los límites permitidos.

Los límites permisibles de radiación son parámetros de control sobre este factor de riesgo, mas no indica que sean los valores correctos que evitan posibles enfermedades; porque a largo plazo puede desencadenar enfermedades en las personas expuestas a estas emisiones, las cuales se darían a conocer a través de un estudio epidemiológico en los trabajadores institucionales y en el público en general.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda la pauta dada por la ICNIRP para limitar la exposición a la radiación no ionizante [ICNIRP] por las siguientes razones:

- La ICNIRP es la organización no gubernamental para la protección contra la radiación no ionizante formalmente reconocida por la Organización Mundial de la Salud, la Organización Internacional del Trabajo y la Unión Europea [19].
- Esta pauta constituye la base científica para los niveles recomendados en todos los países de la Unión Europea. Todos los países miembros tienen recomendaciones al menos tan estrictas como la propuesta por la ICNIRP [16].
- Los niveles dados por la pauta, siendo los más estrictos, proporcionan la mejor protección a los seres humanos sin presentar un obstáculo para el desarrollo de las tecnologías inalámbricas. La pauta, o versiones más estrictas derivadas de ella, han sido implementada exitosamente en varios países [16]. Estudios han demostrado que gran variedad de instalaciones que emiten radiación no ionizante cumplen la pauta con un margen bastante amplio [20].
- Las pautas dadas por la ICNIRP han sido respaldadas al menos por dos estudios de entidades independientes, que concluyen que los niveles propuestos protegen adecuadamente a la población de los riesgos derivados de la radiación no ionizante [8] [15].
- La distinción entre individuos expuestos en ambientes controlados y el público general es consistente conceptual y cuantitativamente, al introducir márgenes de seguridad para el segundo caso en todas las magnitudes de interés y en toda la banda de frecuencia 0-300 GHz. La importancia de esto radica en que estudios han demostrado la existencia de condiciones externas (ambientales) e internas (predisposición orgánica, condiciones clínicas) que favorecen la potenciación de los efectos nocivos que sobre la salud tiene la radiación no ionizante [19], condiciones que pueden presentarse en el público general.
- La pauta cubre la banda más amplia de frecuencia 0-300 GHz, por lo que presenta un marco de referencia unificado para reglamentar la exposición a radiación no ionizante. Cabe mencionar que es la única que incluye la frecuencia de trabajo de las líneas de distribución de potencia eléctrica (50 Hz y 60 Hz), que reviste particular importancia debido a la actual profusión del servicio.

Al tomar esta recomendación, es importante hacer la distinción entre un límite de emisión y uno de exposición. El límite de emisión establece una cota superior a la potencia que puede aplicarse a una antena. El límite de exposición siempre hace referencia a un individuo, y establece una cota superior a la potencia medida en el punto donde dicho individuo puede

localizarse. Obsérvese que en este caso la potencia total radiada por la antena no está necesariamente limitada puesto que la potencia recibida por el individuo es dependiente de su posición relativa a la antena. A mayor distancia del individuo con respecto a la antena, ésta puede radiar más potencia sin sobrepasar la cota establecida. Esto implica que el estándar de exposición propuesto no limita directamente la potencia emitida, sino que permite manejar la relación potencia-distancia para cumplirlo. Si una antena cumple un estándar de exposición dado y debe ahora satisfacer uno más estricto, la reducción de la potencia no es la única opción (puede además que no sea práctica por limitaciones técnicas). Se tiene también la opción de aumentar o modificar el aislamiento. Adicionalmente, se tiene que el estándar para equipos terminales impone requerimientos sobre las características de recepción de las antenas de comunicaciones: mientras más restrictivo es, se requieren antenas receptoras con mayor sensibilidad (mínima potencia de señal para una recepción adecuada) puesto que un equipo terminal transmitiendo con menor potencia requiere de un receptor más sensible. Este parámetro es independiente de la potencia de emisión de la antena, por lo que esta última puede controlarse sin ataduras, sólo atendiendo a que los aislamientos sean los adecuados para garantizar los niveles de exposición establecidos.

Las recomendaciones dadas anteriormente son direccionadas a las empresas prestadoras del servicio de telefonía móvil igual que a los trabajadores que manipulan dichas antenas, y esto ayudaría a mejorar la calidad de vida de las personas expuestas a este tipo de radiaciones.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, M. y FINN A. Física: Definición de campo eléctrico. 3 ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana, 2001. 222 p.

ANGLESIO, L. et al. Population exposure to electromagnetic fields generated by radio base stations: evaluation of the urban background by using provisional model and instrumental measurements. Radiat Prot Dosimetry 2001. 358 p.

Antenas fijas [en línea]. Colombia: zonatecnologica.es, 2008 [consultado septiembre 13 del 2008]. Disponible en Internet: www.zonatecnologica.es

APONTE, Guillermo y ESCOBAR, Adolfo. Información Tecnológica: Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia [en línea]. Cali, Colombia: scielo, 2007 [consultado 09 de septiembre del 2008]. Disponible en Internet: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071807642007000300006&script=sci_abstract.

ARDOINO, L.; BARBIERI, E. y VECCHIA, P. Determinants of exposure to electromagnetic fields from mobile phones. Radiat Protect Dosim 2004. 406 p. .

Asociación Internacional para la Protección contra las Radiaciones (IRPA) y Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP). 1993a. Alleged radiation risks from visual display units. Health Phys. 232 p.

AVDEEV, PS et al. Experimental determination of maximum permissible exposure to laser radiation of 1.54 p wavelength. Soviet J Quant Electric, 1978. 141 p.

BEICHNER, Robert y SERWAY, Raymond. Física para ciencias e ingeniería: Carga eléctrica, 2 ed. México: Mcgraw-Hill interamericana, 1998. 137 p.

Blog TELECOM [en línea]: Antenas. Colombia: blogtele.com, 2008 [consultado noviembre 25 del 2008]. Disponible en Internet: <http://www.blogtelecom.com>.

CASANOVA, José Raúl y ROJAS, Hernando. Investigación a la Física: Vectores. 4 ed. Bogotá: Editorial Voluntad S.A., 1992. 33 p.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ministerio de Protección Social. Decreto 195 de 31 de enero de 2005. Bogotá D.C., 2005.

CEM [en línea] OMS. Estados Unidos: who.int, 2005 [consultado 21 de octubre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index1.html>.

Comisión de Regulación de Telecomunicaciones – CRT. Proyecto estudio de los límites de la exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno [en línea]. Bogotá D.C.: uniandes, mayo 27 de 2002 [consultado 02 de noviembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://radiogis.uis.edu.co/produccion/tesis/pregrado/GeoRadScanner.CesarCamilo/Documentos/NORMATIVIDAD%20CEM/CRT%20Estudio%20UniAndes/2-InformeFinal.pdf>

DEAZAR, Pedro I. Teoría de campos electromagnéticos [en línea]. Bogotá D.C.: Universidad Francisco José de Caldas, Ingeniería electrónica, 2000 [consultado 02 de diciembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.udistrital.edu.co/comunidad/profesores/pdeaza/html/campos1.html>.

Estaciones base de telefonía móvil [en línea]. Colombia: asocel.org, 2007 [consultado 26 de abril de 2008]. Disponible en Internet: http://www.asocel.org.co/pdf/conferencia_3.pdf

Densidad de potencia [en línea]. Windpower, 2007 [consultado 08 de marzo de 2009]. Disponible en Internet: <http://www.windpower.org/es/tour/wres/powdensi.htm>.

De Regel y col. Environ Health Persp 114:1270-1275 [en línea]. Reproducido con permiso de Environmental Health Perspectives. Estados Unidos: ehponline, 2006 [consultado 28 de julio de 2007]. Disponible en Internet: <http://pwww.ehponline.org>.

Direcciones de flujo de energía. En: Revista Facultad de Ingeniería, (enero-diciembre, 2006). Vol. 9. Arica, Chile: Universidad de Terapaca, p 3-19.

Ets-lindgren [en línea] HI-2200 RF Survey Meter Description. Estados Unidos: ets, 2000 [consultado abril de 2009]. Disponible en Internet: <http://www.ets-lindgren.com/page/?i=HI-2200>.

GARCÍA AMADO, D. y LÓPEZ, Abeledo. Física 2: campos y partículas: 3. ed. Germany: McGraw-Hill interamericana, 1840., p. 69.

Generaciones de la telefonía celular [en línea] Colombia: evdoplus.blogspot, 2005 [consultado 4 de febrero del 2009]. Disponible en internet: <http://evdoplus.blogspot.com/2007/04/las-generaciones-de-la-telefona.html>

Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) [en línea]. Estados Unidos: Editorial International Comisión on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). 2001. 28 p. Disponible en Internet: <http://www.icnirp.de>.

HILLERT L, Ahlbom A. Introducción a los campos magnéticos: Definición

campo magnético: 2. ed. Paris: Editorial Oikos Tau, 1971., p. 189.
ICNIRP [en línea]. Estados Unidos: ICNIRP, 2008 [consultado octubre 25 del 2008]. Disponible en Internet: www.ICNIRP.com.

KELVY Jhon y HOWWARD Grotch. Física para ingeniería 2: Distribuciones de carga. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 137 p.

LORRAIN, P. y CORSON, D. Campos y ondas electromagnéticos: definición de campo eléctrico. 6 ed. Madrid: Limusa Noriega Editores, 1999. 395 p.

MARÍN, Alonso. Física Campo eléctrico y magnético: carga eléctrica. 3 ed. México: Pearson Educación. S.A., 1994. 132 p.

MARTÍNEZ BÚRDALO, A. Martín. Física universitaria: corrientes campos y partículas: 4 ed. California: McGraw-Hill Interamericana, 1997. p. 19.

MEDINA NIETO J. Guadalupe; IBARRA MANZANO, Oscar G. y ROMERO VERA, Francisco. Telefonía celular digital. México: Universidad Autónoma de Guanajuato, Vol. IV, No 11, 2001. p. 49-58.

MOULDER, J. Antenas de telefonía móvil y salud humana [en línea]. Estados Unidos, Wisconsin: Ed. Medical College of Wisconsin, 2000 [consultado el 02 de agosto del 2008]. Disponible en Internet: <http://www.mcw.edu/gcrc/cop>.

INZAURREALDE, Martín; ISI, Jorge y GARDERES, Javier. Nuevas generaciones de telefonía móvil [en línea]. Colombia: cabinas.net, 2001 [consultado enero 19 del 2009]. Disponible en Internet: [http://www.cabinas.net/monografias/tecnologia/generaciones de la telefonia celular.asp](http://www.cabinas.net/monografias/tecnologia/generaciones_de_la_telefonia_celular.asp).

OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO (OIT). Protection from Power Frequency Electric and Magnetic Fields. Occupational Safety and Health Series, No. 69. Ginebra: OIT, 1993.

OLSEN, E.G. y RINGVOLD, A. 1982. Human corneal endothelium and ultraviolet radiation. Acta Ophthalmol, 1982. 60 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Oficina panamericana de la salud [OMS/OPS]. "Proyecto Internacional Sobre campos Electromagnéticos- efectos en la Salud y el medio Ambiente de la exposición a CE [en línea]. Ginebra: who.int. [consultado noviembre de 2008]. Disponible en Internet: www.who.int/emf.

_____. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Asociación Internacional para la Protección contra las Radiaciones (IRPA). Extremely Low Frequency (ELF). Environmental Health Criteria, No. 35, 1984.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Radiofrequency and microwaves. Environmental Health Criteria, No.16. Ginebra: OMS, 1981.

ORNETTA, Víctor Cruz. mediciones y evaluación de las radiaciones no ionizantes de cuarenta estaciones bases de servicios de comunicaciones móviles en la ciudad de Lima. Perú: Inictel, julio de 2005. p. 6. 1 archivo computador.

PORTELA A. y colaboradores. Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante. Volumen 2. Radiación de radiofrecuencias: consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición. Buenos Aires: Dirección Nacional de Calidad Ambiental, 1988.

ROJAS, Melt. Artículo de Tendencias 21: La fuerza del campo magnético terrestre ha disminuido un 10% en los últimos 160 años [en línea]. Colombia: Tendencias21, 2008 [consultado noviembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.articulotendencias21.com>.

ROLLER, D. y BLUM R. Electricidad y Magnetismo: magnitudes físicas. Barcelona: Reverté, 1998. 13 p.

SARAVÍ, F. D. Telefonía móvil (celular) y Salud Humana Saraví F. D. Área de Física Biológica. Departamento de Morfología y Fisiología. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Cuyo. Servicio de Densitometría. Escuela de Medicina Nuclear, Mendoza [en línea]. Argentina: revista medicina, 2007 [consultado 28 de junio de 2007]. Disponible en: http://revista.medicina.edu.ar/vol03_01/08/index.php.

SEARS, Francis W. Física universitaria 2: Ley de Coulomb. Madrid: McGraw-Hill Interamericana, 1988. 108 p.

STERN, David P. y PEREDO, Mauricio. Ondas Electromagnéticas [en línea]. Czechoslovakia; noviembre de 2004 [consultado 09 de agosto de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.iki.rssi.ru/mirrors/stern/Education//Memwaves.html>.

Teléfonos móviles [en línea]. Colombia: telefonosmoviles, 2000 [consultado 26 de septiembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.telefonosmoviles.com/moviles.htm>.

TILLEY, Donald E. Física general: Intensidad de campo eléctrico. 4 ed. México: González C.A. y cols. Arch Environ Health, 1997. 52 p.

US Food and Drug Administration. Electromagnetic compatibility - FDA/CDRH recommendations for EMC/EMI in healthcare facilities [en línea]. Estados Unidos: US Food and Drug Administration, 2002 [consultado noviembre de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.fda.org/cdrh/emc/emc-in-hcf.html>.

Usuarios de telefonía móvil [en línea]. Colombia: Asocel, 2008 [consultado 06 de enero de 2009]. Disponible en Internet: <http://www.ASOCEL.org.co>

VARGAS, Francisco y UBEDA, Alejandro. Informe técnico elaborado por el comité de expertos, campos electromagnéticos y salud pública. Cali: Universidad del Valle, 2004.

WELTI, R. La interacción de campos electromagnéticos de EBF con sistemas biológicos. CIER. Segundas Jornadas de trabajos con tensión [en línea]. Montevideo, Uruguay, 1999 [consultado 2008]. . Disponible en Internet: http://www.iie.fing.edu.uy/relacionamiento/comunidad/rfsalud/resumen_emfysal_udhumana1.pdf

ANEXOS

Anexo A. Formato Encuesta

Control de contaminación electromagnética de antenas de telefonía celular

- ¿Hace cuanto tiempo esta la antena aquí?
- ¿le pidieron permiso para colocarla?
- ¿usted cree que es seguro vivir tan cerca d una antena de telefonía móvil?
- ¿han sentido cambios en la salud?
- ¿tiene hijos?
- ¿al momento de dormir conserva el sueño?
- ¿Tiene mascotas?
- ¿su comportamiento es el mismo?
- ¿se siente cansado constantemente?
- ¿Cómo se garantiza su seguridad de las instalaciones que emiten campos electromagnéticos?