



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**NORMAS PARA EVITAR DAÑOS POR RADIACIÓN
ELECTROMAGNÉTICA CON EL USO DE LA TELEFONÍA CECULAR**

Adolfo López Mota

Asesorado por el Ing. Julio César Solares Peñate

Guatemala, septiembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NORMAS PARA EVITAR DAÑOS POR RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA
CON EL USO DE LA TELEFONÍA CELULAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

ADOLFO LÓPEZ MOTA

ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Byron Idilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

NORMAS PARA EVITAR DAÑOS POR RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON EL USO DE LA TELEFONÍA CELULAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha noviembre de 2010.


Adolfo López Mota



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 5 de julio de 2013

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Guzmán:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: "**NORMAS PARA EVITAR DAÑOS POR RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON EL USO DE LA TELEFONÍA CELULAR**", desarrollado por el estudiante **Adolfo López Mota**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Asesor

JULIO CESAR SOLARES P.
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
COLEGIADO No. 2330

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 54. 2013
Guatemala, 9 de JULIO 2013.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

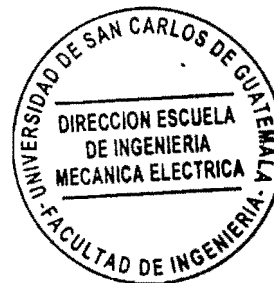
Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
“NORMAS PARA EVITAR DAÑOS POR RADIACIÓN
ELECTROMAGNÉTICA CON EL USO DE LA TELEFONÍA
CELULAR”, del estudiante Adolfo López Mota que cumple con los
requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Area Electrónica



S/O

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

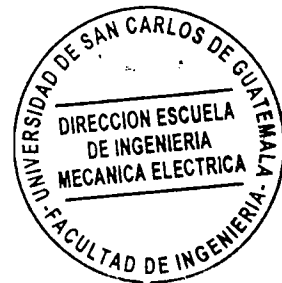


FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 54. 2013.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ADOLFO LÓPEZ MOTA titulado: “NORMAS PARA EVITAR DAÑOS POR RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON EL USO DE LA TELEFONÍA CELULAR”, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 02 DE AGOSTO 2,013.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado **NORMAS PARA EVITAR DAÑOS POR RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON EL USO DE LA TELEFONÍA CELULAR**, presentado por el estudiante universitario: **Adolfo López Mota**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, Septiembre de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi Padre Celestial

Él es quien me concede este privilegio, al haberme ayudado durante toda la carrera, y a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi madre	Alicia Mota de López (q.e.p.d.), por su amor, amistad y confianza, que me inspiraron a que procurara alcanzar mi mayor potencial.
Mi padre	Enrique Omar López Gil (q.e.p.d.), por su amistad, esfuerzo para proveerme lo necesario y por instarme a dar lo mejor de mí en los estudios y en la vida.
Mi hermano	Benjamín López Mota, por su amistad, interés en mi bienestar, y ayuda para que yo pudiera alcanzar esta y otras metas importantes.
Mis demás hermanos	Héctor, Jorge, Eleonora, Eduardo, Fernando, Alejandro, Beatriz, Margot y Raquel López Mota, por el apoyo y la confianza que me han dado para alcanzar este triunfo.
Ing. Julio César Solares Peñate	Por su ayuda para poder realizar este trabajo de graduación.
Familiares, catedráticos, amigos y compañeros	Por su amistad, enseñanza y ayuda que me han brindado para lograr el éxito en los estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. LA TELEFONÍA CELULAR COMO FUENTE DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	1
1.1. Mecanismos de interacción entre la radiación electromagnética emitida por la telefonía celular y los seres humanos.....	1
1.1.1. Variación en la interacción de acuerdo con la distancia desde las antenas.....	1
1.1.2. Mecanismos de interacción.....	2
1.1.2.1. Capacidad de ionización y de rompimiento de enlaces de los campos electromagnéticos de la telefonía celular.....	2
1.1.2.2. Efectos térmicos.....	4
1.2. Dosimetría	5
1.2.1. Métodos experimentales para determinar la SAR	6
1.2.2. Métodos numéricos para determinar la SAR.....	8
1.3. Características de la radiación proveniente de las estaciones base.....	9

1.3.1.	Radiación según el tipo de celda	10
1.3.1.1.	Macrocelas	11
1.3.1.2.	Microcelda	13
1.3.1.3.	Picocelda	14
1.3.2.	Ejemplos de mediciones de niveles de exposición alrededor de estaciones base	14
1.3.2.1.	Niveles de exposición a ondas electromagnéticas cerca de 17 estaciones base de macrocelas en el Reino Unido	15
1.3.2.2.	Exposición del público en general cerca de micro y picoceldas GSM en Reino Unido	16
1.3.2.3.	Mediciones alrededor de estaciones base en cinco ciudades de Australia.....	19
1.4.	Características de la radiación de los teléfonos móviles.....	19
2.	VARIACIÓN EN LOS PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN CON LOS CAMBIOS EN LA TECNOLOGÍA CELULAR.....	23
2.1	Primera generación	23
2.1.1	Servicio de telefonía móvil avanzada (AMPS)	24
2.1.2.	Sistema de comunicación de acceso total (TACS)	28
2.1.3.	Sistema telefónico móvil nórdico (NMT)	29
2.1.4	Sistema de teléfono y telégrafo japonés (NTT).....	30
2.2	Segunda generación	31
2.2.1	Sistema global para comunicación móvil (GSM).....	31

2.2.2	IS-54/136. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).....	35
2.2.3	Sistema de acceso múltiple por división de código (CDMA) IS – 95A.....	37
2.3	Generación 2.5.....	40
2.3.1	Servicio de radio de paquete general (GPRS)	41
2.3.2	Sistema de tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM (EDGE)	41
2.3.3	IS-95B.....	42
2.4	Tercera generación.....	42
2.4.1	CDMA de banda ancha (WCDMA).....	42
2.4.2.	Sistema de acceso múltiple por división de código 2000 (CDMA 2000).....	45
3.	RECOMENDACIONES DE LA ICNIRP PARA LIMITAR LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA, RELACIONADAS CON EL USO DE LA TELEFONÍA CELULAR	47
3.1	Propósito y campo de acción de las normas.....	47
3.2	Bases biológicas utilizadas para limitar la exposición	48
3.3	Límites para la exposición ocupacional y del público en general	49
3.4	Restricciones básicas	50
3.5	Niveles de referencia	51
3.6	Exposición simultánea a frecuencias múltiples	54
3.7	Comparación con los límites de exposición de otras normas	57
3.7.1	Estándar del IEEE.....	57

4.	ESTUDIOS DE POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS CREADOS POR LA TELEFONÍA CELULAR	63
4.1	Estudios biológicos.....	64
4.1.1	Revisión de la ICNIRP.....	65
4.1.2	Monografía del grupo de trabajo de la IARC.....	66
4.1.3	Reporte del grupo consejero de la HPA.....	66
4.2	Estudios con animales.	67
4.2.1	Revisión de la ICNIRP	68
4.2.2.	Monografía del grupo de trabajo de la IARC.....	69
4.2.3.	Reporte del grupo consejero de la HPA.....	70
4.3	Estudios con voluntarios.....	71
4.3.1	Revisión de la ICNIRP	71
4.3.2.	Monografía del grupo de trabajo de la IARC.....	72
4.3.3.	Reporte del grupo consejero de la HPA.....	72
4.4	Estudios epidemiológicos.	73
4.4.1	Revisión de la ICNIRP	73
4.4.2.	Monografía del grupo de trabajo de la IARC.....	76
4.4.3.	Reporte del grupo consejero de la HPA.....	78
4.5	Estudio Internacional <i>Interphone</i>	78
4.5.1	Datos del estudio.....	79
4.5.2.	Resultados del estudio	79
	CONCLUSIONES.....	81
	RECOMENDACIONES	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	<i>Phantom</i> utilizado para evaluar el cumplimiento de normas de exposición a teléfonos celulares	7
2.	Tipos de celdas de la telefonía celular	10
3.	Estaciones base empleadas en macroceldas.....	11
4.	Ejemplo de patrón de radiación vertical de una macrocelda.....	12
5.	Antenas de microceldas	13
6.	Antena de una picocelda.....	14
7.	Potencia total en 118 ubicaciones, debida a las estaciones base seleccionadas	16
8.	Densidad de potencia total debida a las 20 estaciones base estudiadas, en función de la distancia a las antenas.....	18
9.	Distribución del campo generado por un teléfono móvil	20
10.	Muestra de datos de salida del sistema SYNEHA para tecnología AMPS.....	27
11.	Distribución de las ranuras de tiempo para redes GSM	33
12.	Muestra de datos de salida del sistema SYNEHA para tecnología GSM.....	34
13.	Muestra de datos de salida del sistema SYNEHA para tecnología TDMA IS-136.....	36
14.	Muestra de datos de salida del sistema SYNEHA para tecnología CDMA.....	38
15.	Resumen de potencia pico por tecnología y tipo de ruta	39

16.	Resumen de potencia promedio por tecnología y ruta	40
17.	Niveles de referencia ICNIRP para exposición a campos eléctricos variables en el tiempo	53
18.	Niveles de referencia ICNIRP para exposición a campos magnéticos variables en el tiempo.....	54

TABLAS

I.	Energía por fotón correspondiente a frecuencias utilizadas en la telefonía celular.....	3
II.	Datos técnicos de las 20 microceldas y picoceldas estudiadas.....	17
III.	Mediciones llevadas a cabo a distancias específicas de torres de estaciones base.....	19
IV.	Rangos de potencia de distintos tipos de móviles AMPS.....	26
V.	Rangos de potencia de distintos tipos de dispositivos del sistema TACS.....	28
VI.	Niveles de potencia de dispositivos móviles NMT 450.....	29
VII.	Niveles de potencia de estaciones móviles NMT 900.....	30
VIII.	Frecuencias de operación de WCDMA para FDD y TDD.....	43
IX.	Clases de potencia para equipo del usuario para FDD.....	44
X.	Clases de potencia para equipo del usuario para TDD.....	44
XI.	Potencia de estaciones móviles de CDMA 2000.....	45
XII.	Restricciones básicas para campos electromagnéticos en el rango 10 MHz – 10 GHz.....	51
XIII.	Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (valores rms no perturbados).....	52

XIV.	Niveles de referencia para exposición del público en general a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (valores rms no perturbados).....	53
XV.	Restricciones básicas para densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz.....	55
XVI.	Restricciones básicas para campos electromagnéticos en el rango 100 KHz – 3 GHz.....	58
XVII.	MPE para el límite mayor (personas en ambientes controlados).....	59
XVIII.	Nivel de acción (MPE para el público en general cuando no hay un programa de seguridad de RF).....	60
XIX.	Niveles de referencia para exposición del público en general en diversos países, para tres frecuencias específicas utilizadas en la telefonía celular, datos de abril de 2011.....	61
XX.	Niveles de referencia para exposición ocupacional en diversos países, para tres frecuencias específicas utilizadas en la telefonía celular, datos de abril de 2011.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
σ	Conductividad eléctrica
B	Densidad de flujo magnético
ρ	Densidad de masa
S	Densidad de potencia
eV	Electrón voltio
f	Frecuencia
E	Intensidad de campo eléctrico
H	Intensidad de campo magnético
j	Joule
λ	Longitud de onda
s	Segundo
T	Temperatura

GLOSARIO

ADN	Ácido desoxirribonucleico; ácido nucleico de doble cadena. que contiene la información genética esencial de un ser vivo, codificada bajo la forma de secuencias específicas de los nucleótidos que lo constituyen,
Apoptosis	Modalidad específica de muerte celular, implicada en el control del desarrollo y el crecimiento.
Biología	Ciencia que estudia a los seres vivos y los fenómenos vitales en todos sus aspectos.
Bps	Tasa de transmisión dada en bits por segundo.
Calor específico	Es la capacidad de calor por unidad de masa. En el Sistema Internacional se utiliza la unidad de J/(kg.K); es la cantidad de energía requerida para elevar la temperatura de un kilogramo de masa en un grado Kelvin.
Conductividad	Propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor o la electricidad.

Cultivo de tejidos	Crecimiento de tejidos o células en un medio sintético bajo condiciones estériles.
dBi	La relación, en decibeles, entre la ganancia de una antena y un radiador isotrópico.
dBm	La relación, en decibeles, entre una potencia dada y 1 mW.
dBW	La relación, en decibeles, entre una potencia dada y 1 W.
<i>Downlink</i>	La transmisión desde la estación base hacia un móvil.
Electroencefalograma	Gráfico que muestra la actividad eléctrica de las áreas superficiales de la corteza cerebral, usando electrodos conectados a amplificadores de corriente, registrando así las diferencias de potencial.
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i> , potencia radiada isotrópica efectiva; es el producto de la potencia de entrada a la antena por la ganancia de esta.
Endocrino	Referido a las glándulas de secreción interna, como la tiroides, el timo, las suprarrenales, la hipófisis, etc.

Enlace de hidrógeno	Un enlace débil entre un átomo de hidrógeno y un átomo en otra molécula o en otra parte de la misma molécula. Es la mayor de las fuerzas intermoleculares.
Enlace químico	La unión cercana entre dos átomos por medio de fuerzas de atracción. Podría ser covalente, iónico o metálico.
Factor de antena, F_A	La relación entre la intensidad del campo eléctrico incidente en una antena y el voltaje de salida de la antena, dado en dBm^{-1} o en m^{-1} .
<i>Forward control channel (FCC)</i>	Son los canales dedicados para la transmisión de señales de control, desde un móvil hacia las estaciones base.
<i>Forward voice channels (FVC)</i>	Canales que transmiten la voz desde las estaciones base hacia los teléfonos.
Gene	Cada una de las porciones o segmentos del genoma que condicionan la transmisión de los caracteres hereditarios.
Glioma	Tumor cerebral maligno que se origina en las células gliales.
<i>Handover</i>	Es la transferencia del enlace hacia un teléfono, desde una estación base a otra.

Hipertermia	Elevación de la temperatura corporal por encima de la cifra normal.
Imágenes de resonancia magnética	Técnica de diagnóstico que produce imágenes computarizadas de los tejidos internos del cuerpo, sin necesidad de introducir instrumentos. Se basa en la resonancia magnética de los átomos del interior, la cual es inducida por la aplicación de ondas de radio.
<i>In vitro</i>	Producido en el laboratorio por métodos experimentales.
Ionización	Proceso por medio del cual un átomo o una molécula quedan cargados positiva o negativamente, al perder o ganar uno más átomos.
Meningioma	Tumor cerebral que raras veces es maligno; se origina en las meninges.
Neuroma acústico	Tumor benigno que se desarrolla en el nervio que conecta al oído con el cerebro.
Patrón de radiación	Se refiere a la distribución relativa de la potencia radiada por una antena, como función de la dirección en el espacio.

P_{dBm}	El valor de la potencia dado en dBm, $P_{dBm} = P_{dBW} + 30.$
P_{dBW}	El valor de la potencia dado en dBW, $P_{dBW} = P_{dBm} - 30.$
<i>Reverse control channel (RCC)</i>	Son los canales utilizados para la transmisión de señales de control desde un móvil hacia las estaciones base.
<i>Reverse voice channels (RVC)</i>	Son los canales que transmiten la voz desde un móvil hacia las estaciones base.
SAR	Tasa de absorción específica de energía. Medida dosimétrica que se define como la derivada respecto del tiempo de un diferencial de energía δW , absorbido o disipado en un diferencial de masa δm , contenido en un elemento de volumen δV , de una densidad dada ρ .
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> . Método de multiplexión en el cual cada teléfono se comunica con la red periódicamente, durante un lapso de tiempo determinado, dejando el resto disponible para otros teléfonos.
Teratógeno	Agente que produce malformaciones en el embrión o feto.

**Tomografía
computarizada**

Técnica de diagnóstico en la que se utiliza una máquina de rayos X, especializada para obtener imágenes de cortes transversales alrededor de un eje fijo, y luego se obtiene una imagen tridimensional por medio del uso de una computadora.

**Tumores de las
glándulas salivales**

Son células anormales que proliferan en los conductos que drenan las glándulas salivales. El tipo más común de estos tumores es benigno, pero también puede haber cancerosos.

Uplink

La transmisión desde un móvil hacia la estación base.

Voxel

Elemento de volumen que representa un valor en el espacio tridimensional.

RESUMEN

Las ondas electromagnéticas emitidas por la telefonía celular alcanzan los tejidos que componen al cuerpo humano. Se ha realizado una gran cantidad de estudios con el fin de encontrar los efectos que estas, así como las provenientes de otros tipos de tecnologías inalámbricas, podrían tener en los seres humanos, para determinar los límites adecuados de exposición, que garanticen evitar daños a la salud de las personas.

Actualmente no se ha llegado a un consenso general respecto de esos efectos y por consiguiente tampoco acerca de los niveles recomendados de exposición. Algunas organizaciones indican que no existen efectos adversos si los niveles de radiación no ocasionan un calentamiento tal, que supere la capacidad autorreguladora del cuerpo, mientras que otros consideran que sí podría haberlos.

El énfasis principal de muchas investigaciones ha sido la posibilidad de tumores en distintas partes de la cabeza, por ser el área que ha estado más expuesta a las ondas provenientes de los teléfonos, los cuales se han utilizado principalmente para llamadas de voz; aunque esto ha cambiado debido a los distintos usos que se les han dado, conforme se han desplegado las distintas generaciones, que incluyen los mensajes de texto y el acceso a internet. Varios países han establecido normas para limitar la exposición de las personas a estas ondas, tanto para el público en general, como para personas expuestas por razón de su trabajo, con base en distintos tipos de criterios. Mientras que por otro lado, en algunos países aún no se ha creado este tipo de lineamientos.

OBJETIVOS

General

Estudiar normas internacionales que establezcan los límites para los niveles de exposición a los campos electromagnéticos, generados por la telefonía celular que ayuden a proteger la salud de los seres humanos.

Específicos

1. Presentar las características de la radiación electromagnética a que están expuestas las personas, debido a la telefonía celular.
2. Dar a conocer parámetros de exposición de distintas tecnologías celulares que se ha considerado que intervienen en la salud humana.
3. Dar a conocer cuáles son las bases, los niveles de exposición recomendados y la protección que brindan normas internacionales relacionadas con los campos electromagnéticos provenientes de la telefonía celular.
4. Mostrar resultados de investigaciones de posibles efectos en la salud, por el uso de la telefonía celular.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo de graduación se estudian las características de la radiación electromagnética ocasionada por la telefonía celular y la forma que se conoce por la cual interactúa con los seres humanos; se dan a conocer características de sistemas utilizados en las primeras tres generaciones de telefonía móvil; se presentan lineamientos internacionales que se han establecido para proteger a las personas de daños ocasionados por esa radiación, y por último se incluyen resultados de distintos tipos de estudios que se han realizado para evaluar los posibles efectos de esas ondas electromagnéticas en las personas.

En el primer capítulo se mencionan medios de interacción de estas ondas con el cuerpo humano, se describe la radiación ocasionada por las estaciones base y por los teléfonos celulares.

En el segundo capítulo se mencionan algunas características de distintas tecnologías utilizadas en las primeras tres generaciones de teléfonos móviles. Entre los datos descritos se incluyen los niveles de potencia, frecuencias de operación, etc.

En el tercer capítulo se da un resumen de los lineamientos de la ICNIRP que se aplican al rango de frecuencias utilizado en la telefonía celular. Se menciona el estándar del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), y se dan algunos valores específicos de niveles de exposición de ciertos países.

En el cuarto capítulo se mencionan evaluaciones de estudios sobre posibles efectos en la salud, debidos a las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia, entre los que se mencionan algunos relacionados directamente con la telefonía celular. Se incluyen experimentos con cultivos celulares, animales, voluntarios y estudios epidemiológicos.

1. LA TELEFONÍA CELULAR COMO FUENTE DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

1.1. Mecanismos de interacción entre la radiación electromagnética emitida por la telefonía celular y los seres humanos

A continuación se presenta un listado de mecanismos de interacción entre la radiación electromagnética, en relación con diferentes aspectos influyentes en la telefonía celular.

1.1.1. Variación en la interacción de acuerdo con la distancia desde las antenas

Al campo más próximo a una antena se le conoce como cercano reactivo; a continuación se encuentra el campo cercano radiado, y por último se encuentra el campo radiado lejano. El campo cercano varía según el ángulo y la distancia; en esa región los campos eléctrico y magnético están desacoplados, por lo que sus efectos dentro del cuerpo deben ser sumados. El campo lejano solo varía con la distancia, en esta zona los campos eléctrico y magnético están definidos unívocamente por la impedancia característica del medio, y basta conocer uno de los dos para encontrar la densidad de potencia. El límite entre el campo cercano y el lejano se puede tomar en $R = 2 D^2 \lambda^{-1}$, en donde D es la dimensión más grande de la antena.

La mayoría de las personas se encuentran expuestas a la radiación del campo lejano de las estaciones base. Para quienes tienen acceso a esas antenas, es posible que se encuentren dentro de la región del campo cercano.

Cuando los teléfonos celulares se sostienen cerca del oído, el campo cercano que generan alcanza la cabeza y otras áreas próximas del cuerpo.

1.1.2. Mecanismos de interacción

Cuando las ondas electromagnéticas de la telefonía celular son transmitidas o refractadas hacia el interior del cuerpo humano inducen campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos que pueden interactuar con este, dependiendo de la frecuencia, la forma de onda, la intensidad de los campos y la energía absorbida. Se conocen algunos medios por los cuales estos campos pueden influir en el organismo, y también se continúan llevando a cabo investigaciones con el propósito de determinar si existen otros, aún no descubiertos.

1.1.2.1. Capacidad de ionización y de rompimiento de enlaces de los campos electromagnéticos de la telefonía celular

Según la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2009), se puede considerar que la radiación electromagnética es transmitida en paquetes discretos llamados fotones, que tienen una energía $E = h * f$, donde h es la constante de Planck ($6.625 * 10^{-34}$ J.s); aquí se puede notar que la energía aumenta junto con la frecuencia. Los principales elementos de que está formada la materia del cuerpo humano son carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno; estos requieren una energía mínima de ionización que varía entre 10 y 25 eV ($1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19}$ J).

En la tabla I se muestra la energía correspondiente a algunas frecuencias utilizadas en la telefonía celular.

Se puede observar que estos valores están muy por debajo de 10 eV, que se consideran como el mínimo necesario para ocasionar la ionización.

Tabla I. Energía por fotón correspondiente a frecuencias utilizadas en la telefonía celular

Frecuencia	Energía
850 MHz	3.52 μ eV
900 MHz	3.72 μ eV
1900 MHz	7.86 μ eV
2100 MHz	8.69 μ eV

Fuente: elaboración propia.

Debido al nivel de energía de los fotones que emite, las radiaciones provenientes de la telefonía celular se encuentran dentro del rango de frecuencias, conocido como no ionizantes, las cuales se caracterizan por el hecho de que los fotones individuales no tienen la capacidad de descomponer las moléculas, con lo que no pueden afectar el contenido de información del ADN.

Según la World Health Organization (2007), si los campos tienen una intensidad sumamente elevada como para que se absorba la suficiente cantidad de estos fotones de baja energía, se pueden dañar las moléculas tales como el ADN, como resultado del calentamiento ocasionado. La radiación ionizante, como la de los rayos X y los rayos gama, es aquella en la que un solo fotón puede ocasionar cambios moleculares que podrían dañar los tejidos biológicos, incluyendo la descomposición de moléculas como el ADN; lo que ocasiona mutaciones que pueden conducir al cáncer.

Según lo señala la World Health Organization (2007), la energía necesaria para romper enlaces químicos encontrados en sistemas biológicos se encuentra generalmente entre 1 y 10 eV, y la que se requiere para romper enlaces de hidrógeno suele ser de 0.1 eV por lo que los fotones individuales emitidos por los sistemas celulares no pueden separarlos.

1.1.2.2. Efectos térmicos

La materia que compone al cuerpo humano se puede caracterizar por medio de la permeabilidad compleja y la conductividad, las cuales ocasionan que las corrientes inducidas y los campos creados dentro del cuerpo se disipen o sean absorbidos en forma de calor.

La unidad de medida que se utiliza para determinar la cantidad absorbida de energía es la SAR (*Specific energy absorption rate*, tasa de absorción específica de energía) la cual está dada en W/kg.

Bajo condiciones ambientales moderadas, la absorción de 4 W/kg en el cuerpo entero, ocasiona un aumento en la temperatura de 1°C, lo cual está dentro de los límites de su capacidad reguladora. Se han realizado estudios tanto con humanos como con animales, en los cuales se ha encontrado que existen efectos negativos para la salud si el aumento de temperatura es mayor. También pueden ocurrir daños al superar ese límite en alguna región limitada del cuerpo.

La cantidad de energía absorbida depende del tipo de exposición (de campo cercano o lejano); de la orientación del cuerpo en relación con la polaridad del campo; y del tamaño, la forma y las características eléctricas del cuerpo.

El aumento de la temperatura depende de la cantidad de energía absorbida, así como de la capacidad para disipar el calor del tejido que la recibe y de los que lo rodean.

Esto es importante, incluso respecto de la exposición al campo lejano, en la que el cuerpo entero recibe la radiación, porque en esa situación ocurre una deposición de energía no uniforme.

1.2. Dosimetría

Consiste en evaluar los niveles de los campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos que se generan dentro de los tejidos, ya sean del cuerpo humano, de animales o de cultivos que se utilicen para estudiar posibles efectos de esta radiación. Ayuda a determinar la relación entre la exposición y los efectos que puedan ocasionar estas radiaciones.

El principal medio de interacción que se conoce entre la radiación electromagnética debida a la telefonía celular y el cuerpo humano, es el calentamiento ocasionado por la absorción de la energía de estas ondas.

Por esta razón, la dosimetría se relaciona principalmente con la determinación de la SAR, la cual está definida como la derivada con respecto al tiempo de un diferencial de energía δW , absorbido o disipado por un diferencial de masa δm , en un elemento de volumen δV , de una densidad dada ρ , de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$SAR = \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta W}{\delta m} \right) = \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta W}{\rho \delta V} \right)$$

Si se conoce el valor del campo eléctrico E, la tasa específica de absorción de energía se puede determinar a partir de la siguiente relación:

$$SAR(x, y, z) = \frac{\sigma(x, y, z) E(x, y, z)_{rms}^2}{\rho(x, y, z)}$$

Donde σ es la conductividad del tejido biológico, y ρ es su densidad. Existen diferentes métodos para encontrar el nivel de la SAR, los cuales se pueden clasificar como experimentales y teóricos.

1.2.1. Métodos experimentales para determinar la SAR

Por causa de que la medición del campo eléctrico dentro de los seres humanos es demasiado difícil, se han creado modelos físicos conocidos en el idioma inglés como *Phantoms*. Estos son fabricados utilizando materiales que simulen las propiedades de algunos tejidos del cuerpo.

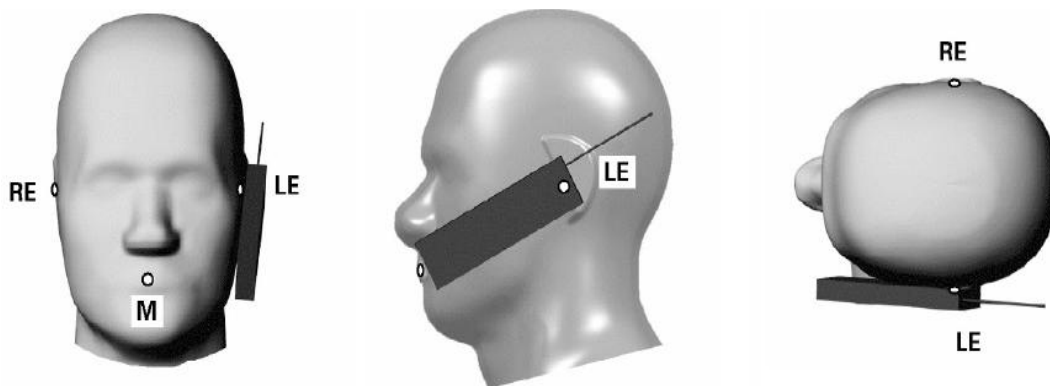
Las sustancias líquidas o gelatinosas tienen la ventaja de que sus características eléctricas son fáciles de ajustar, sin embargo estas no son estables debido a que varían por la evaporación del agua. Se utilizan componentes secos para lograr una mejor estabilidad, pero la construcción de estos modelos es más complicada y costosa. Para una mejor representación de diferentes tipos de tejidos, se utilizan modelos heterogéneos, en los que los músculos pueden ser representados por materiales acuosos, y los huesos y grasa por materiales secos.

En el interior de estos *Phantoms* se pueden colocar sensores para determinar los niveles del campo eléctrico en diferentes puntos.

Estos modelos se utilizan para verificar si los niveles de exposición de los teléfonos celulares están dentro de los límites recomendados por las normas establecidas.

En la figura 1 se muestra un *Phantom* de la cabeza de un adulto, denominado SAM (*Specific anthropomorphic mannequin*: maniquí antropomórfico específico), el cual es utilizado para evaluaciones del cumplimiento de los niveles de exposición por teléfonos celulares.

Figura 1. ***Phantom* utilizado para evaluar el cumplimiento de normas de exposición a teléfonos celulares**



Fuente: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC526755/pdf/1475-925X-3-34.pdf>.

Consulta: 12 de mayo de 2011

SAM consiste en un caparazón que deja un espacio en el área del oído, lo cual permite que la máxima radiación posible llegue a la cabeza. En la coraza contiene un líquido con propiedades eléctricas homogéneas, equivalentes al promedio de los tejidos de la cabeza, a la frecuencia dada de operación. En la figura se muestra el teléfono colocado en la posición llamada *touch* (contacto), que es una de las recomendadas para llevar a cabo las evaluaciones.

El nivel de la SAR también se puede encontrar a partir del aumento de la temperatura, por medio de la siguiente ecuación:

$$SAR = c \left. \frac{dT}{dt} \right|_{dt \rightarrow 0}$$

En donde c es el calor específico a presión constante, T es la temperatura y t es la duración de la exposición. Tiene el inconveniente de que el calor puede ser transmitido, con lo que un cambio medido podría deberse a otros motivos; sin embargo este método se utiliza cuando el periodo de tiempo es lo suficientemente corto.

Para determinar la temperatura se utilizan distintos tipos de instrumentos, como calorímetros, cámaras de infra rojo, pequeñas sondas de termistores o de fibra óptica.

1.2.2. Métodos numéricos para determinar la SAR

Inicialmente se utilizaron esferas, cilindros circulares y esferoides alargados de material dieléctrico, como modelos simplificados de la cabeza y del cuerpo, los que se podían resolver analíticamente y permitían una evaluación cualitativa de la resonancia del cuerpo entero expuesto al campo lejano. Con el propósito de investigar con mayor detalle la distribución de la SAR dentro del cuerpo humano, se ha utilizado información recopilada por medio de métodos de diagnóstico médico, tales como imágenes de resonancia magnética y tomografías computarizadas, para crear modelos numéricos en los cuales se asignan a bloques pequeños, conocidos en el idioma inglés como *voxels*, las características eléctricas correspondientes del cuerpo humano.

Según la Comisión internacional para la protección contra las radiaciones no ionizantes (2009), estos modelos biológicos podrían incluir unos 50 distintos tipos de tejidos y tener una precisión de alrededor de 1 milímetro.

Luego de habersele asignado un valor de permitividad y conductividad a cada bloque, para calcular el campo eléctrico y magnético generalmente se utiliza el método de diferencia finita en el dominio del tiempo (*finite – difference time – domain*, FDTD), que se basa en las ecuaciones de Maxwell, en tiempo discreto.

1.3. Características de la radiación proveniente de las estaciones base

En la telefonía celular se lleva a cabo una reutilización de las frecuencias disponibles, dividiendo la región que necesita cobertura en áreas denominadas celdas. En cada una de estas se encuentra una estación base, equipada con dispositivos de transmisión y recepción, así como de antenas, por medio de los cuales se comunica con los dispositivos móviles.

El tamaño de cada celda está limitado por la necesidad de evitar interferencias entre las que operan con las mismas frecuencias; además, por el hecho de que cada estación base solo puede atender a un determinado número de usuarios, en los lugares de mayor demanda se requiere un mayor número de celdas de menor tamaño.

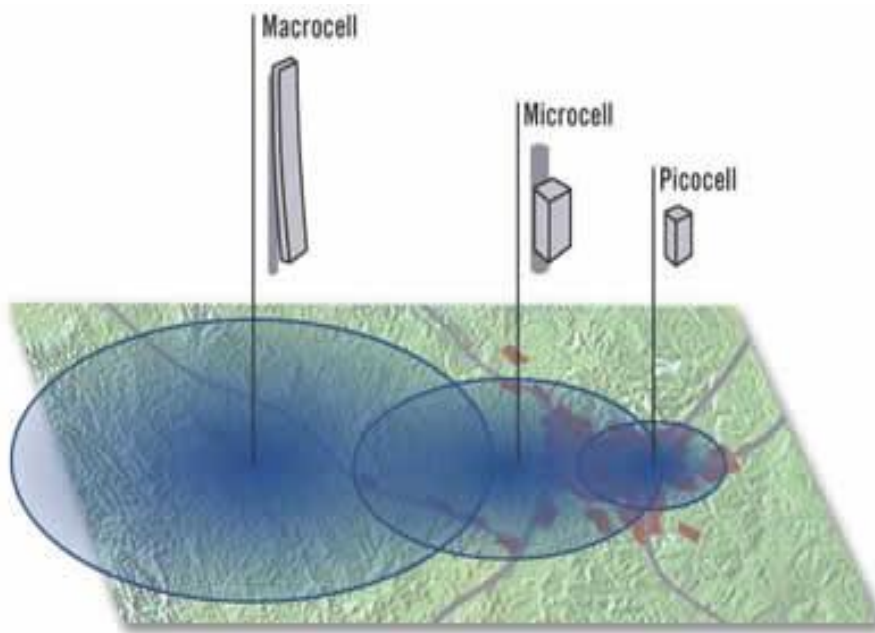
Las estaciones base transmiten una señal constantemente, a máxima potencia, la cual envía los datos necesarios para poder establecer el enlace con los teléfonos móviles. En el caso de GSM, se trata de canal de control de transmisión (*broadcast control channel*, *BCCH*); en UMTS se utiliza un canal de piloto común (*common pilot channel*, *CPICH*).

Se puede notar que la potencia que transmitida varía entre un mínimo en el que únicamente están presentes estas señales, y un máximo correspondiente al caso en que se encuentran ocupados todos los canales de transmisión.

1.3.1. Radiación según el tipo de celda

Las celdas se clasifican como de tipo macro, micro y pico, según se ilustra en la figura 2.

Figura 2. **Tipos de celdas de la telefonía celular**



Fuente: <http://www.mobilemastinfo.com/base-stations-and-masts/>.

Consulta: 9 de febrero de 2011.

1.3.1.1. Macroceldas

Este tipo de celdas son las encargadas principales de lograr la cobertura en el área en la cual se presta el servicio. Las antenas utilizadas para estas estaciones base se instalan en torres, techos de edificios, o en alguna otra ubicación que ayude a evitar obstrucciones a la propagación de las ondas, como se muestra en la figura 3. Generalmente se encuentran a una altura de entre 15 y 50 metros; utilizan potencias de unas decenas de watts, pero pueden operar por encima de 100 W. Su alcance es de algunos kilómetros, 35 para el caso de GSM.

Figura 3. Estaciones base empleadas en macroceldas



Fuente: <http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/topics/mpsafety/school-audit/jargon.htm>.

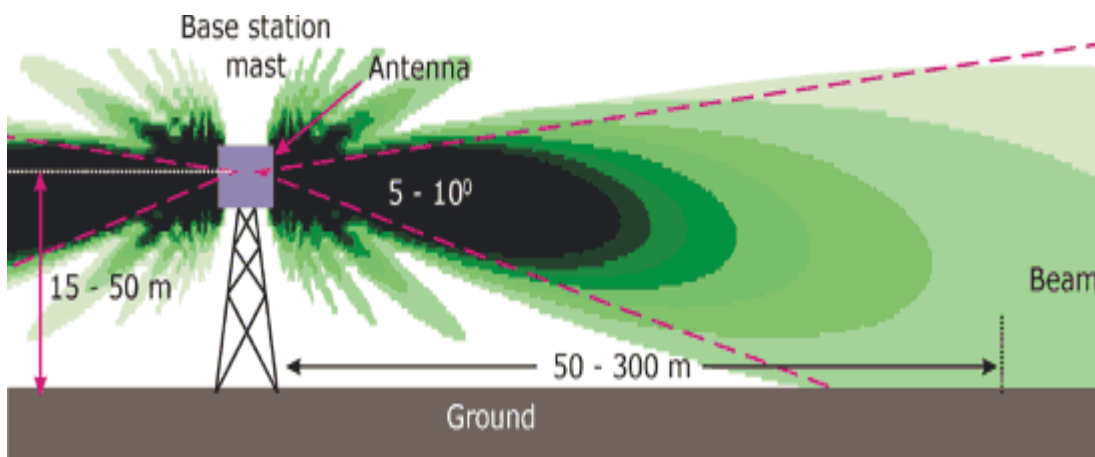
Consulta: 2 de febrero de 2011.

El haz principal de los campos que generan suele tener un ancho de entre 5° y 10° en el plano vertical. Las antenas se colocan ligeramente inclinadas hacia abajo, pudiendo quedar el límite superior del haz horizontalmente y el inferior alrededor de 10° por debajo.

Para una instalación que se encuentre dentro de estos parámetros, el lóbulo principal alcanzará el nivel del suelo a una distancia de entre 50 y 300 metros desde la base de la antena.

Para limitar el ancho del haz verticalmente, se forman arreglos verticales, y mientras más altura tengan en comparación con la longitud de onda, menor es el ancho vertical que se consigue. Como se puede observar en la figura 4, el haz principal alcanza grandes distancias, mientras que la cobertura en el área más cercana a la base de la antena está a cargo de los lóbulos secundarios.

Figura 4. **Ejemplo de patrón de radiación vertical de una macrocelda**



Fuente: http://www.hpa.org.uk/Topics/Radiation/UnderstandingRadiation/UnderstandingRadiationTopics/ElectromagneticFields/MobilePhones/info_BaseStations/.

Consulta: 2 de febrero de 2011.

En la mayoría de los casos, en el plano horizontal se divide la celda en sectores, de entre 60° y 120°; para lograrlo, se pueden colocar reflectores alrededor de los elementos de la antena, en el interior del panel.

1.3.1.2. Microcelda

Su función es aumentar la capacidad de servicio de la red, así como cubrir regiones en las que no haya buena calidad de señal. Suelen colocarse en estructuras existentes, tales como en el exterior de edificios o en postes de alumbrado; tienen un área de cobertura de unos cientos de metros, y utilizan potencias de unos watts.

Su patrón de radiación en el plano vertical es mucho menos agudo que el de las macroceldas, porque están diseñadas para tener un alcance más corto. En la figura 5 se pueden observar antenas empleadas en este tipo de celdas.

Figura 5. Antenas de microceldas



Fuente: COOPER, T. G. Exposure of the general public to radio waves near microcell and picocell base stations for mobile telecommunications. p.12.

1.3.1.3. Picocelda

Se utilizan en el interior de edificios, donde hay un gran número de usuarios, o el nivel de señal es bajo. Típicamente operan con potencias inferiores a un watt. En la figura 6 se puede observar una antena de picocelda.

Figura 6. Antena de una picocelda



Fuente: <http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/topics/mpsafety/school-audit/jargon.htm>.

Consulta: 2 de febrero de 2011.

1.3.2. Ejemplos de mediciones de niveles de exposición alrededor de estaciones base

Con el fin de conocer los niveles de exposición de las personas a los campos electromagnéticos emitidos por las estaciones base, se han llevado a cabo mediciones alrededor de sitios de celda. A continuación se muestran los resultados de algunas de esas investigaciones.

1.3.2.1. Niveles de exposición a ondas electromagnéticas cerca de 17 estaciones base de macroceldas en el Reino Unido

Por causa de la preocupación de algunas personas respecto de la radiación ocasionada por estaciones base de macroceldas, la Mesa de Protección Radiológica Nacional (National Radiological Protection Board, NRPB) del Reino Unido, llevó a cabo mediciones en ubicaciones próximas a las antenas de estos sitios.

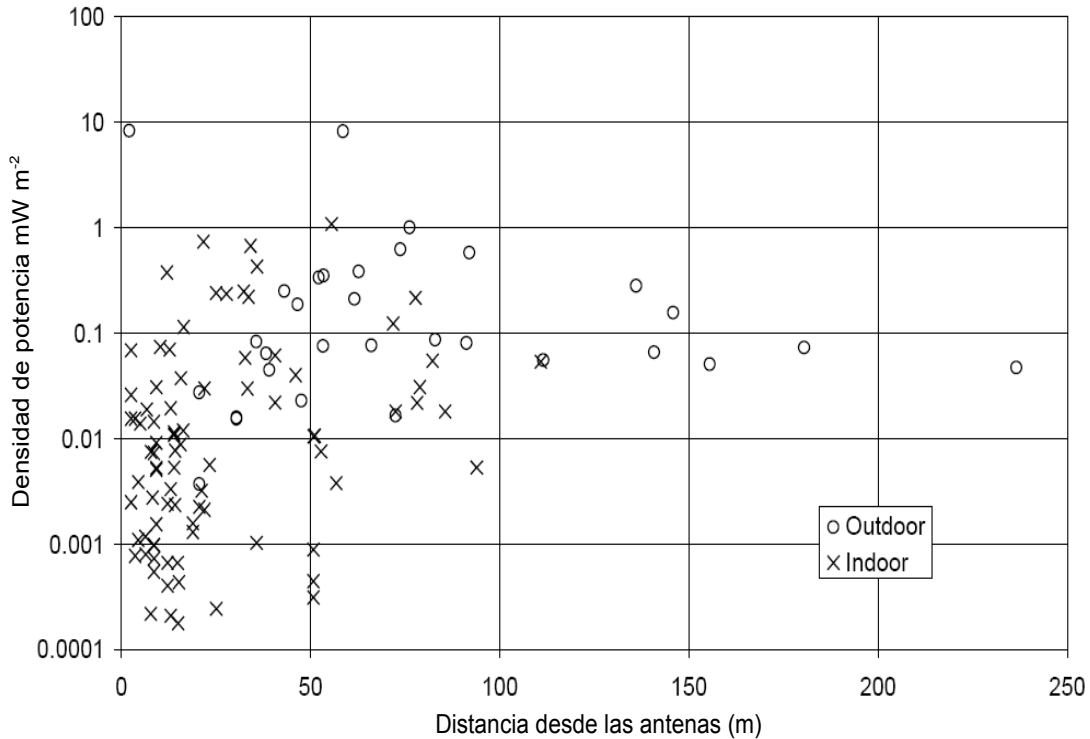
En el 2000 publicó un reporte de los datos obtenidos en 17 sitios de celda, siendo la mayoría de GSM, instaladas principalmente en escuelas y edificios de apartamentos.

En ese informe se dan a conocer los valores de la densidad de potencia debida a las estaciones estudiadas en 118 posiciones distribuidas alrededor de las antenas.

Estos resultados se muestran en la figura 7, en donde × se refiere a las mediciones en interiores y ○ indica exteriores.

Es importante notar que estos datos no fueron obtenidos con el fin de evaluar la exposición en general debida a macroceldas, ya que los sitios se seleccionaron por solicitudes específicas.

Figura 7. Potencia total en 118 ubicaciones debida a las estaciones base seleccionadas



Fuente: MANN, S. M. Exposure to radio waves near mobile phone base stations. p.26.

1.3.2.2. Exposición del público en general cerca de micro y picoceldas GSM en el Reino Unido

En el 2004 la NRPB publicó los resultados obtenidos de mediciones realizadas alrededor de 20 sitios de micro y picoceldas de GSM, elegidos aleatoriamente. La altura de las antenas oscilaba entre 2.5 y 9 m, y la potencia entre 1 y 5 W. En el exterior estaban instaladas 19 antenas, y una en el interior de un edificio público. La tabla II muestra algunos datos de las estaciones.

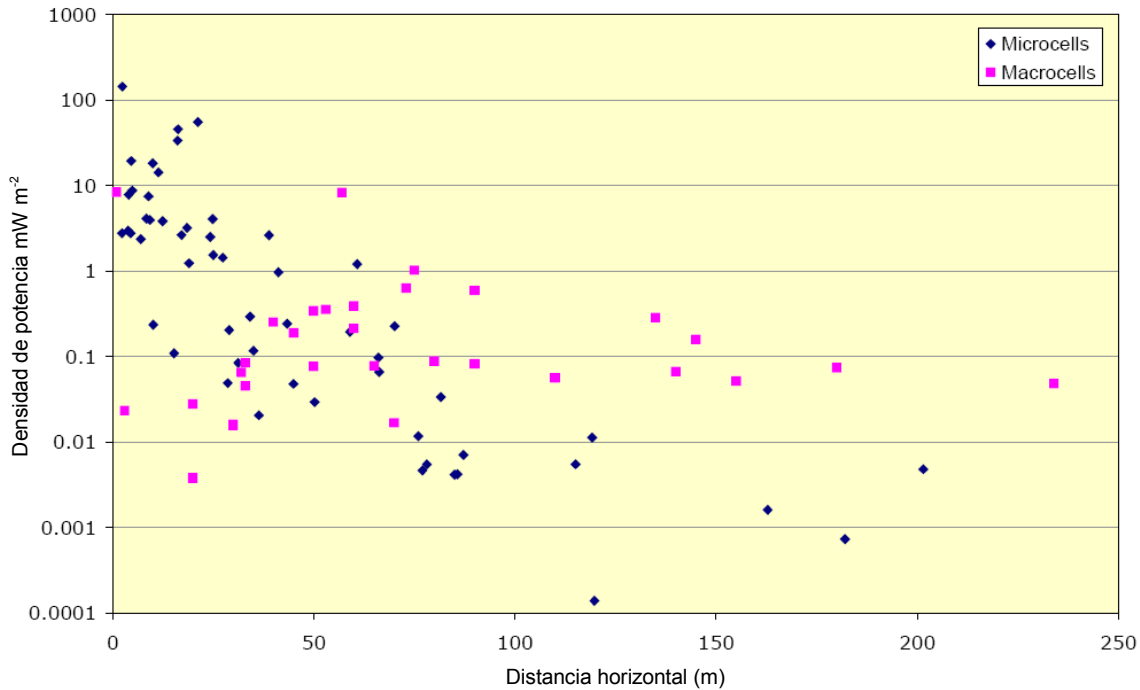
Tabla II. Datos técnicos de las 20 microceldas y picoceldas estudiadas

Sitio	Banda (MHz)	Altura de antena (m)	Número de transmisores	EIRP por transmisor (dBm)	Ganancia de antena (dBi)	Potencia radiada total (W)	Ancho de haz (grados)	
							Horizontal	Vertical
A	900	2.8	2	37.15	7.15	2.0	74	74.0
B	900	6.0	2	37.05	7.00	2.0	80	75.0
C	900	2.6	2	29.15	2.15	1.0	360	80.0
D	900	4.5	1	37.05	7.00	1.0	80	75.0
E	900	7.0	2	29.15	2.15	1.0	360	80.0
F	1800	2.5	2	28.90	2.00	1.0	360	80.0
G	1800	5.0	2	40.40	8.50	3.1	142	33.0
H	900	9.0	2	33.25	5.70	1.1	150	70.0
I	900	5.0	1	37.15	7.15	1.0	74	74.0
J	900	5.0	2	37.45	7.45	2.0	112	46.0
K	1800	5.0	2	40.40	8.50	3.1	90	55.0
L	1800	4.0	2	39.50	8.00	2.8	90	55.0
M	1800	7.0	4	35.60	8.50	2.1	142	33.0
N	1800	7.0	2	45.70	11.70	5.0	78	19.5
O	900	4.8	2	38.15	7.15	2.5	74	74.0
P	1800	6.0	1	45.80	9.60	4.2	78	36.0
Q	1800	3.0	1	46.60	9.60	5.0	78	36.0
R	1800	4.8	2	43.20	9.60	4.6	78	36.0
S	900	5.0	2	37.15	7.15	2.0	74	74.0
T	1800	6.0	1	45.20	9.60	3.6	78	36.0

Fuente: COOPER, T. G. Exposure of the general public to radio waves near microcell and picocell base stations for mobile telecommunications. p.11.

En la figura 8 se muestran los valores de densidad de potencia total debida a las microceldas, obtenidos en distintos puntos próximos a las antenas. También aparecen los valores en exteriores para la densidad de potencia, debida a las estaciones de macroceldas, del informe publicado en por la NRPB en el 2000. En ambos estudios se obtuvo la densidad de potencia de una forma similar, lo que permite llevar a cabo una comparación entre los dos tipos de estaciones base.

Figura 8. **Densidad de potencia total debida a las 20 estaciones base estudiadas, en función de la distancia a las antenas**



Fuente: COOPER, T. G. Exposure of the general public to radio waves near microcell and picocell base stations for mobile telecommunications. p. 50.

En esta gráfica se puede observar que a distancias menores a 50 m, los niveles de exposición debidos a las microceldas son superiores; esto se debe a que las antenas se encuentran más cerca del suelo, y a que tienen un ancho del haz vertical mayor.

Después de haber superado los 50 m, los niveles debidos a las macroceldas empiezan a ser mayores debido a que tienen más transmisores, y a los valores más elevados de EIRP de sus antenas.

1.3.2.3. Mediciones alrededor de estaciones base en cinco ciudades de Australia

En el 2006, Henderson publicó un reporte de mediciones que se llevaron a cabo alrededor de 60 torres ubicadas en cinco ciudades de Australia, en las que estaban instaladas estaciones base de GSM, CDMA y UMTS. En la tabla III se muestran algunos de los resultados obtenidos.

Tabla III. **Mediciones llevadas a cabo a distancias específicas de torres de estaciones base**

Tecnología	Niveles de densidad de potencia encontrados ($W m^{-2}$)			
	50 m	200 m	500 m	Máximo ¹
CDMA (29 torres)	$2.7 * 10^{-5}$	$3.3 * 10^{-5}$	$5.9 * 10^{-6}$	$8.1 * 10^{-5}$
GSM900 (51 torres)	$3.3 * 10^{-4}$	$2.6 * 10^{-4}$	$2.3 * 10^{-5}$	$7.1 * 10^{-4}$
GSM1800 (12 torres)	$3.1 * 10^{-4}$	$4.1 * 10^{-5}$	$4.7 * 10^{-6}$	$4.3 * 10^{-4}$
3G (UMTS) (35torres)	$4.1 * 10^{-5}$	$5.6 * 10^{-5}$	$7.6 * 10^{-6}$	$1.4 * 10^{-4}$
Todos	$3.8 * 10^{-4}$	$2.8 * 10^{-4}$	$2.8 * 10^{-5}$	$8.1 * 10^{-4}$

¹El máximo se encontró a distancias que variaban entre 50 y 200 m.

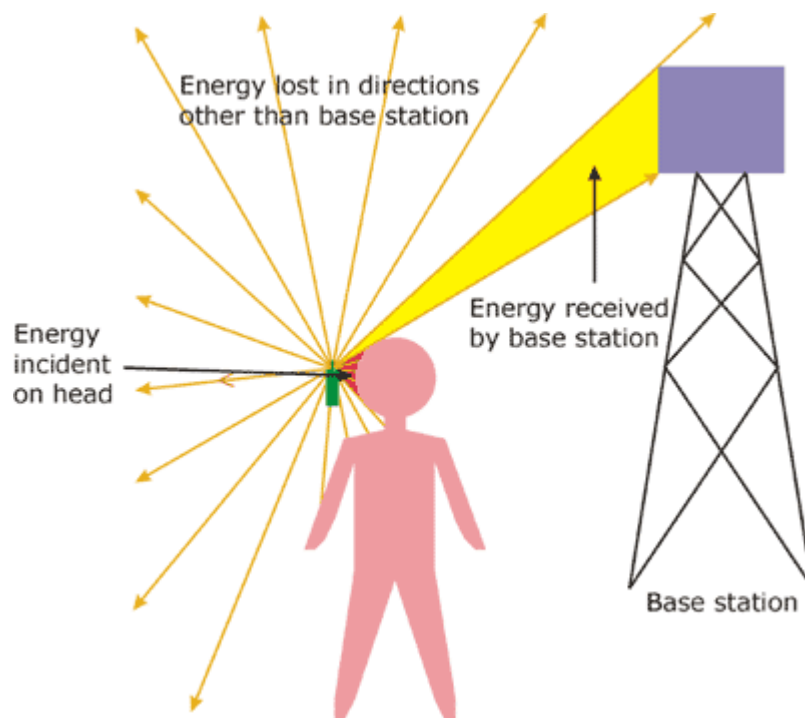
Fuente: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)*. p. 15

1.4. Características de la radiación de los teléfonos móviles

Por el hecho de que la ubicación de los teléfonos móviles respecto de las estaciones base es completamente variable, estos envían las ondas electromagnéticas en todas direcciones. Como se muestra en la figura 9, una porción de estas alcanza al cuerpo, y una pequeña fracción llega a la estación base.

Debido a la cercanía de los teléfonos, para la mayoría de las personas estos constituyen la fuente de niveles de exposición más elevados, ocasionados por la telefonía celular.

Figura 9. **Distribución del campo generado por un teléfono móvil**



Fuente: http://www.hpa.org.uk/Topics/Radiation/UnderstandingRadiation/UnderstandingRadiationTopics/ElectromagneticFields/MobilePhones/info_MobilePhones/.

Consulta: 2 de febrero de 2011.

Existen diferencias en los tipos y niveles de radiación electromagnética generados por distintos teléfonos móviles. Entre los parámetros que determinan esas características se encuentran:

- El nivel de potencia radiada, que es distinto dependiendo del tipo de tecnología celular.

- El tipo de antena, que determina el patrón de radiación, y su ubicación.
- La posición en que se sostenga el teléfono, que incide en la región de campo electromagnético que alcanza al cuerpo, así como en la densidad de potencia.
- El control adaptable de potencia (*adaptive power control, APC*), que permite que la potencia emitida varíe de acuerdo con las condiciones que se presentan durante una llamada.

Entre los factores que determinan el nivel de potencia con que debe transmitir un teléfono celular se encuentran:

- La cantidad de *handovers*: se requiere una mayor potencia cuando estos se llevan a cabo; como sucede cuando un teléfono está en un vehículo en movimiento.
- La densidad de tráfico: al aumentar el número de usuarios conectados, se incrementa el nivel de potencia.
- La presencia de materiales que impidan la propagación libre de las ondas, como cuando un teléfono que está adentro de un edificio se comunica con una estación que se encuentra en el exterior, se requiere una mayor potencia como si hubiera línea de vista entre las antenas.
- Distancia: mientras más cerca se encuentren el teléfono y la estación base, se necesita una menor potencia para la transmisión.

Cuando el teléfono se sostiene cerca de la cabeza, esta absorbe la mayor parte de la energía que está dirigida hacia ella. Mediciones hechas con *Phantoms*, según la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP, en el 2008, sugieren que entre el 97 y el 99 % de esta energía queda en el hemisferio del cerebro que está del lado donde se encuentra el teléfono.

2. VARIACIÓN EN LOS PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN CON LOS CAMBIOS EN LA TECNOLOGÍA CELULAR

Con los avances en la telefonía celular, ha habido cambios en el tipo de radiación que presentan los teléfonos y las estaciones base. A continuación se dan a conocer algunos parámetros de tecnologías que se han utilizado en las primeras tres generaciones de los teléfonos móviles, los cuales influyen en la radiación electromagnética que ocasionan.

2.1. Primera generación

La primera generación de teléfonos celulares consiste de sistemas que emplean modulación analógica de la frecuencia de la onda portadora (FM) para la transmisión de la voz, y modulación digital por desplazamiento de frecuencia (*Frequency Shift Keying, FSK*), para señales de control. Generalmente operan alrededor de los 450 MHz, o entre los 800 y 900 MHz.

Para iniciar una llamada un teléfono utiliza uno de los canales de control y luego se sintoniza con un canal de voz. Durante el tiempo de una conversación, se necesita transmitir señales de control, como las que sirven para cambiar los niveles de potencia o sintonizarse a un nuevo canal de voz. Esta información se puede enviar junto con el audio, o sustituyéndolo durante intervalos cortos de tiempo.

La comunicación entre las terminales móviles y la estaciones base se lleva a cabo por medio de dos frecuencias distintas, lo cual se conoce como dúplex por división de frecuencias (*frequency division duplex, FDD*).

Cada usuario tiene acceso a la red de telefonía por medio de frecuencias distintas, lo que se conoce como acceso múltiple por división de frecuencias (*Frequency division multiple access, FDMA*)

Esta generación tiene una función muy importante en los estudios epidemiológicos de posibles efectos adversos en la salud, ya que algunas enfermedades pueden tomar bastante tiempo para manifestarse después de la exposición al agente que las ocasiona. Estos sistemas fueron desplegados durante la década de los años 80.

Entre los principales estándares desarrollados se encuentran el servicio de telefonía móvil avanzado (*advanced mobile phone service, AMPS*), el sistema de comunicación de acceso total (*total access communication system, TACS*), el sistema de teléfono móvil nórdico (*nordic mobile telephone, NMT*), y el sistema de teléfono y telégrafo japonés (*nippon telephone and telegraph, NTT*).

2.1.1. Servicio de telefonía móvil avanzada (AMPS)

El servicio de telefonía móvil avanzada utiliza las bandas de frecuencia entre 824 y 849 MHz para *uplink* (transmisión desde el móvil hacia la estación base) y entre 869 y 894 MHz para *downlink* (transmisión desde la estación base hacia un móvil), y tiene una separación de 45 MHz entre los dos canales que se le asignan a cada teléfono, tanto cuando está sintonizado para control como para voz.

Cada uno de los canales tiene un ancho de banda de 30 KHz, por lo que hay 832 en total; de los cuales, 790 se utilizan como canales de voz, y los otros 42 están dedicados a señales de control.

Los canales de control *forward* (*forward control channels, FCC*, canales de control desde las estaciones base hacia los teléfonos) transmiten información constantemente; le informan a los dispositivos móviles cuándo hay una llamada entrante, así como la disponibilidad de canales de control *reverse* (*reverse control channels, RCC*, canales de control desde los móviles hacia las estaciones base) para que se puedan comunicar con la estación base, con el fin de establecer un enlace. Al momento de establecerse una llamada, el centro de conmutación móvil le asigna un código de atenuación de voz móvil a celular (*voice mobile attenuation code, VMAC*) para poder variar el nivel de potencia durante la llamada.

Para iniciar la conversación, los teléfonos y las estaciones base se sintonizan a los canales de voz asignados. Durante el tiempo en que se están transmitiendo la señales de voz, se envía un tono conocido como SAT (*supervisory tone*, tono supervisor) que puede ser de 5970, 6000 o 6030 Hz; el cual se transmite por el canal de voz *forward* (*forward voice channel, FVC*, canal de voz desde la estación base hacia el celular) y el móvil lo reproduce a través de *reverse voice channel*; si no se recibiera por 1 segundo, se asumiría que la conexión se perdió y se terminaría la llamada.

Para enviar señales de control durante una conversación, como para cambiar el nivel de potencia o para llevar a cabo un *handover* (cambio de servicio a un teléfono móvil desde una estación base a otra, sin terminar la llamada), se suspende la señal de audio por un corto tiempo (a este procedimiento se le conoce como *blank and burst*), usualmente de 100 ms, y se envían los comandos a una tasa de 10 Kbps, por medio de una señal modulada con FSK, que tiene una desviación de +/- 10 KHz, la cual es del mismo tipo que la que se usa en los canales dedicados para señales de control. Para las señales de FM, que llevan el audio, la máxima desviación es de +/- 12 KHz.

El nivel de potencia con el que transmite un teléfono móvil varía de acuerdo con las instrucciones que recibe de la estación base, con una diferencia de 4 dB entre cada paso.

En AMPS existen 3 clases de dispositivos móviles; en la tabla IV se muestran las potencias mínimas y máximas de cada uno de estos.

Tabla IV. **Rangos de potencia de distintos tipos de móviles AMPS**

Tipo de móvil	Potencia máxima	Potencia mínima
Clase I (móvil)	+6 dBW (4.0 W)	-22 dBW (6 mW)
Clase II (transportable)	+2 dBW (1.6 W)	-22 dBW (6 mW)
Clase III (portátil)	-2 dBW (0.6 W)	-22 dBW (6 mW)

Fuente: TERPLAN, Kornel *The telecommunications handbook*. p. 324.

Kelsh et al (2011), realizaron un estudio en el que evaluaban los niveles de potencia emitidos por teléfonos celulares que trabajaban con las tecnologías AMPS, GSM, TDMA y CDMA.

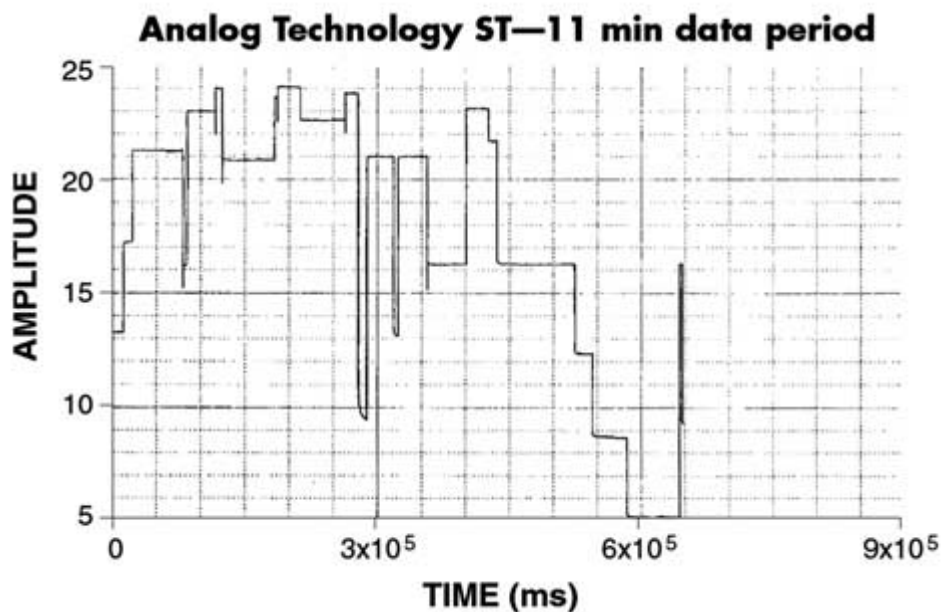
Entre los parámetros que sirvieron para comparación estuvieron el tipo de región geográfica, que clasificaron como urbana, suburbana y rural; también el estado de movimiento o reposo, y el tipo de tecnología en sí.

Usaron teléfonos con software modificado que permitían registrar los niveles de potencia para sistemas GSM.

También utilizaron terminales de prueba de dipolo eléctrico que se colocaron cerca de la región de los oídos en cabezas de *Phantoms* que estaban conectadas a un sistema computarizado llamado SYNEHA (*System network and hand-set analyzer*, analizador de auricular y sistema de red), el cual fue diseñado para determinar los niveles de potencia generados por teléfonos celulares en condiciones realistas.

En la figura 10 se puede ver una muestra de los valores de potencia (en dBm) obtenidos con el sistema SYNEHA, para un teléfono Motorola Startac que operaba en la banda de 800 MHz cerca del oído de una cabeza de *Phantom*, por 11 minutos (25 dBm = 316 mW, 5 dBm = 3.16 mW).

Figura 10. **Muestra de datos de salida del sistema SYNEHA para tecnología AMPS**



Fuente: KELSH, Michael A. *Measured radiofrequency exposure during various mobile phone scenarios*, p. 349.

2.1.2. Sistema de comunicación de acceso total (TACS)

El sistema de comunicación de acceso total (*total access communications system*, TACS) es similar a AMPS. Usa las frecuencias de 890-915 MHz para *uplink* y de 935 – 960 MHz para *downlink*; también existe una distancia de 45 MHz entre los dos canales que usa un teléfono determinado.

La desviación de frecuencia para la señal FM en el canal de voz es de +/- 9.5 KHz, y utiliza una tasa de 8 Kbps para las señales de control digitales.

Este sistema se introdujo primeramente en el Reino Unido en 1985, y luego se implementaron otros más provenientes de 25 países.

En la tabla V se muestran los niveles de potencia para cada clase de dispositivo móvil de esta tecnología. Al igual que en AMPS, hay una separación de 4 dB entre cada paso.

Tabla V. Rangos de potencia de distintos tipos de dispositivos del sistema TACS

Tipo de móvil	Potencia máxima	Potencia mínima
Móvil	+10 dBW (10.0 W)	-22 dBW (6 mW)
Clase II	+6 dBW (4.0 W)	-22 dBW (6 mW)
Clase III	+2 dBW (1.6 W)	-22 dBW (6 mW)
Clase IV	-2 dBW (0.6 W)	-22 dBW (6 mW)

Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Sistema telefónico móvil nórdico (NMT)

El sistema telefónico móvil nórdico (*nordic mobile telephone*, NMT) que se introdujo a finales de 1981, trabajaba en las frecuencias de 453 – 467.5 MHz en *uplink* y de 463 – 467.5 MHz para *downlink*, con una separación de 10 MHz entre los canales asignados a un móvil; cada uno tenía un ancho de banda de 25 KHz, con un total de 180 canales bidireccionales disponibles. Cuando comenzó este sistema, no tenía control adaptable de potencia, sino que operaba siempre en la potencia máxima; luego se le agregó esta función pero solo variaba en un paso, y se requería que el móvil estuviera muy cerca de la estación base.

Los canales de control dedicados no existían dentro de esta tecnología, por lo que la información de control se transmitía en los canales de voz. La desviación máxima de la señal de FM para los canales de voz es de +/- 5 KHz. Para la transmisión de señales de control, la tasa de *bits* es de 1.2 Kbps. En la tabla VI se puede ver que hay 3 niveles de potencia para los dispositivos móviles y 2 para los portátiles.

Tabla VI. Niveles de potencia de dispositivos móviles NMT 450

Tipo de dispositivo	Nivel	Potencia
Móvil	Alto	15.00 W (11.76 dBW)
	Medio	1.50 W (1.76 dBW)
	Bajo	0.15 W (-8.24 dBW)
Portátil	Alto	1.00 W (0.00 dBW)
	Bajo	0.10 W (-10.00 dBW)

Fuente: elaboración propia.

Con el fin de aumentar la capacidad del sistema, en 1986 se lanzó una versión que trabajara en la banda de 900 MHz, conocida como NMT 900. En este sistema se tiene una separación de 45 MHz entre los canales para *uplink* y *downlink*. Cuenta con un canal de control, llamado canal de llamada, que también tiene una tasa de 1.2 Kbps. En la tabla VII se dan a conocer los niveles de potencia de estos teléfonos móviles.

Tabla VII. **Niveles de potencia de estaciones móviles NMT 900**

Tipo de dispositivo	Nivel	Potencia
Móvil	Alto	6.0 W (7.78 dBW)
	Medio	1.0 W (0.00 dBW)
	Bajo	0.1 W (-10.00 dBW)
Portátil	Alto	1.0 W (0.00 dBW)
	Bajo	0.1 W (-10.00 dBW)

Fuente: elaboración propia.

2.1.4. Sistema de teléfono y telégrafo japonés (NTT)

El sistema de teléfono y telégrafo japonés (*nippon telephone and telegraph*) empezó a operar utilizando la banda de frecuencias de 870 – 885 MHz para *downlink* y de 925 – 940 MHz para *uplink*. El ancho de banda de cada canal es de 25 KHz y hay una separación de 55 MHz entre los canales asignados a un teléfono, para la comunicación en las direcciones *forward* y *reverse*. La máxima desviación para la señal de voz es de +/- 5 KHz, y la velocidad de la tasa de transmisión para las señales de control es de 0.3 Kbps.

2.2. Segunda generación

Estos son sistemas que transmiten digitalmente tanto la voz como las señales de control. Permiten utilizar cada canal de radio para más de un usuario a la vez, para lo cual utilizan métodos de acceso múltiple por división de tiempo (*time division multiple access*, TDMA) y acceso múltiple por división de código (*code division multiple access*, CDMA).

En estas tecnologías, durante el tiempo en que se transmiten datos, se pueden enviar mensajes de control, como para cambiar el nivel de potencia o para trasladarse a otro canal de tráfico, y como sucede en los sistemas de primera generación, se pueden enviar junto con el audio, o pueden sustituirlo por un corto tiempo. Para conservar la carga de la batería, varios de estos sistemas transmiten solo por cortos periodos de tiempo, y también envían información de audio solo cuando una persona está hablando.

A continuación se presentan algunas características de 3 sistemas de segunda generación que se han utilizado ampliamente.

2.2.1. Sistema global para comunicación móvil (GSM)

El sistema global para comunicación móvil (*global system for mobile communication*, GSM) fue diseñado con el fin de ofrecer un estándar único para los países europeos, y luego se adoptó en una gran cantidad de países a nivel mundial. Emplea el método de acceso múltiple por división de tiempo (*time division multiple access*, TDMA).

Cada canal tiene un ancho de banda de 200 KHz y está dividido en 8 ranuras de tiempo de 0.58 ms cada una.

La separación entre los canales para *uplink* y *downlink* asignados a un teléfono es de 45 MHz para la banda de 800 MHz y de 80 MHz para la banda de 1900 MHz. En la banda de 800 MHz, el teléfono puede transmitir en el rango de frecuencias de 824 a 849 MHz, y las estaciones base, desde 869 hasta 894 MHz (aunque existen variaciones en las frecuencias utilizadas en distintos países).

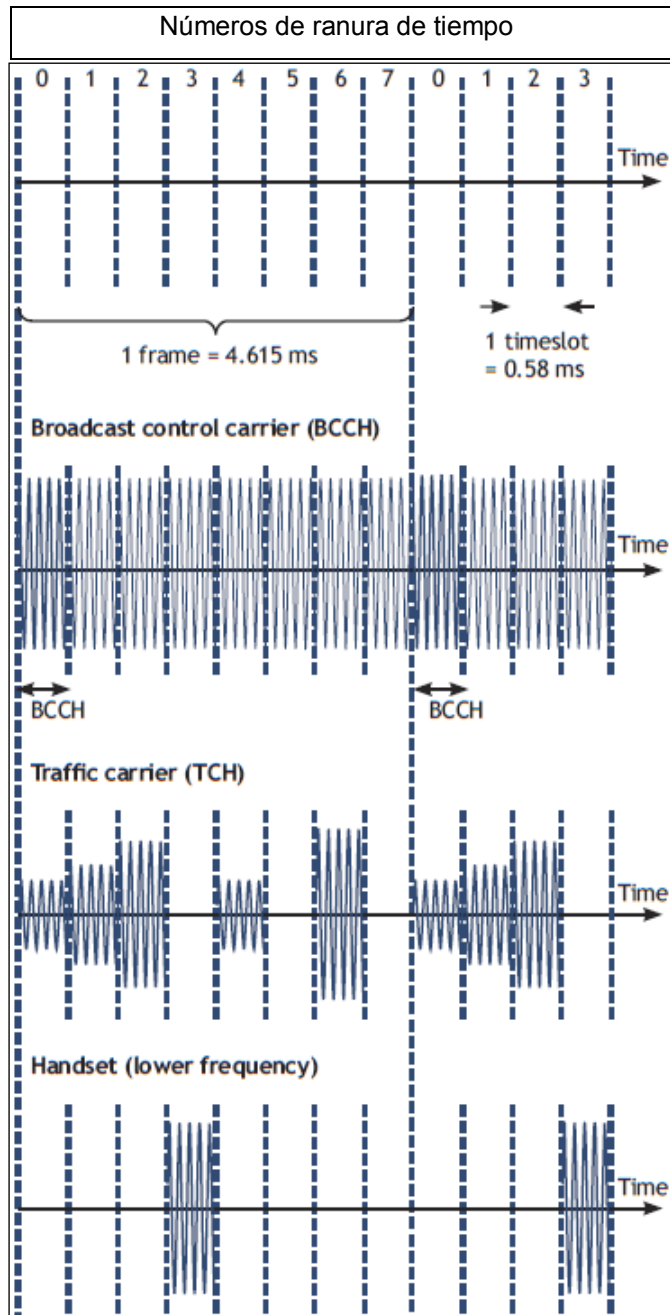
En estos sistemas se usa modulación por corrimiento mínimo Gausiano (*gaussian minimum shift keying*, GMSK), la cual varía únicamente la fase de la portadora.

El canal de radio frecuencia de las estaciones base que contiene al canal de control de difusión (*broadcast control channel*, BCCH), opera con potencia máxima todo el tiempo. Los canales de control pueden compartir la misma frecuencia con canales de voz, ya que no necesitan utilizar las 8 ranuras disponibles.

Un móvil recibe información en la primera ranura de tiempo asignada y transmite en la siguiente; luego durante parte de las 6 siguientes verifica el nivel de potencia de estaciones base que estén alrededor, en preparación para *handovers*. Por el hecho de que el teléfono transmite únicamente durante una ranura de tiempo, la forma de onda que genera varía en amplitud.

En la figura 10 se muestran distribuciones de tiempo para una estación base y teléfono móvil de GSM.

Figura 11. Distribución las ranuras de tiempo para redes GSM

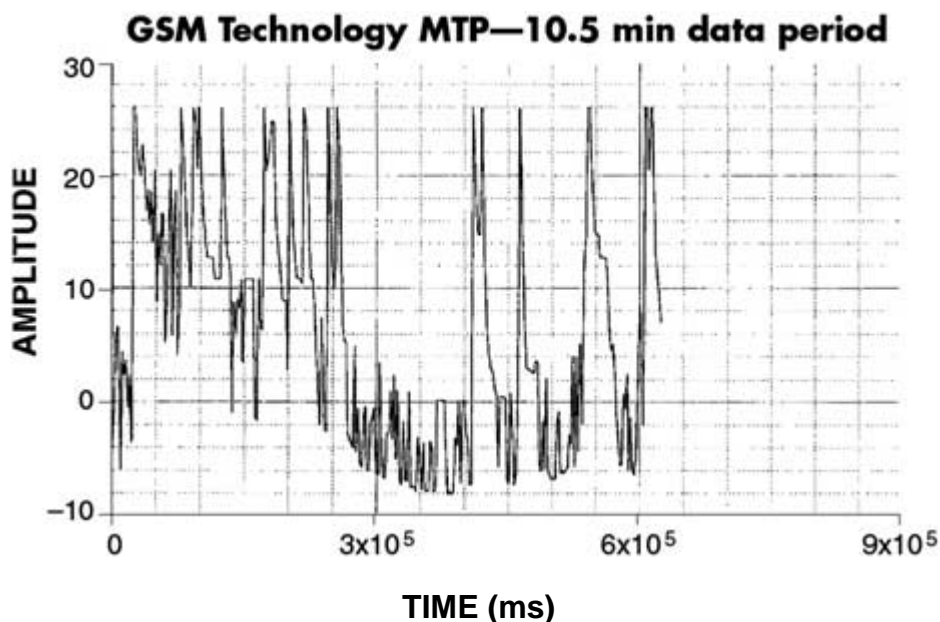


Fuente: CHALLIS, Lawrie. *Mobile telecommunications and health research programme report 2007*, p. 49.

Debido a que estos sistemas utilizan control adaptable de potencia, en un rango de 30 dB, la potencia puede variar una relación de 1000 a 1 entre el máximo y el mínimo. La potencia máxima con que transmiten es de 2W, y como solo transmite en 1 de los 8 espacios de tiempo, se tiene una potencia promedio de 0.25 W.

En la figura 11 se puede ver una muestra obtenida con el sistema SYNEHA, para un teléfono GSM *Motorola Timeport* modificado por software, operando en la frecuencia de 1900 MHz, durante 10.5 minutos, en la que se puede apreciar la variación en amplitud (dada en dBm) debida al control adaptable de potencia. (30 dBm = 1W, -10 dBm = 0.0001W).

Figura 12. **Muestra de datos de salida del sistema SYNEHA para tecnología GSM**



Fuente: KELSH, Michael A. *Measured radiofrequency exposure during various mobile phone scenarios*. p. 349.

2.2.2. IS-54/136. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

El sistema de acceso múltiple por división de tiempo IS-54 (*time division multiple access interim standard 54*, TDMA IS-54) fue diseñado en Estados Unidos con el fin de mejorar la calidad y aumentar la capacidad del sistema de telefonía celular existente; se requería que los teléfonos de esta nueva tecnología pudieran operar también con AMPS, por lo que se conservaron las mismas frecuencias para los canales en las direcciones *forward* (869 – 894 MHz) y *reverse* (824 – 849 MHz); el ancho de banda de 30 KHz para las ondas portadoras, así como la separación de 45 MHz entre los canales asignados a una llamada en particular.

Para aumentar la capacidad, se divide cada canal de 30 KHz en 6 ranuras de tiempo, que suman un total de 20 ms; los que se pueden asignar a diferentes usuarios.

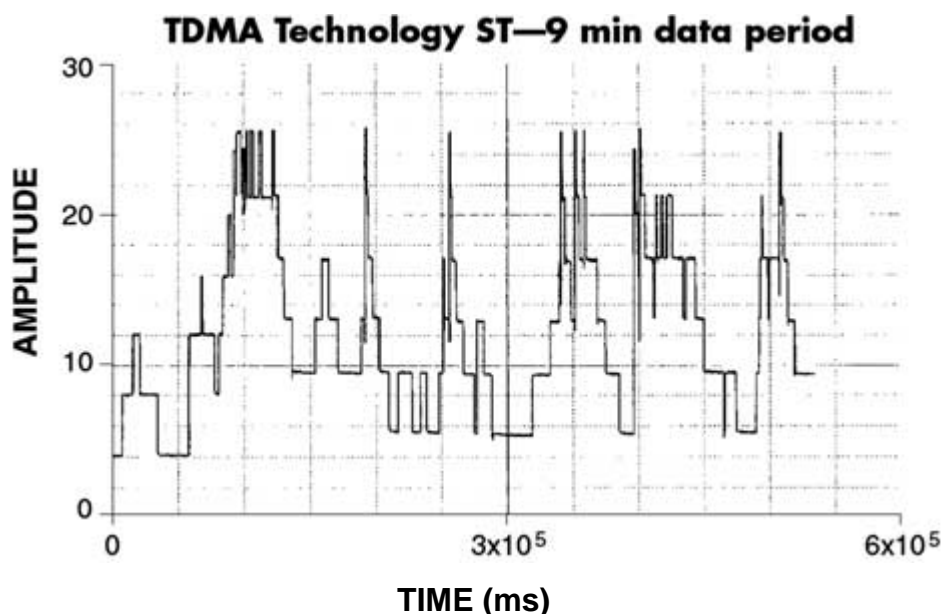
Para obtener la mejor calidad de voz, se necesitan 2 espacios de tiempo por teléfono, pero se puede asignar solamente uno con lo que el sonido se degrada, pero se logra una mejora de 6 a 1 en relación con la cantidad de teléfonos móviles que pueden estar conectados a la vez.

Los canales de control utilizan modulación digital FSK al igual que AMPS, pero los de voz (que también llevan información de control) usan modulación por desplazamiento de fase en cuadratura diferencial $\pi/4$, ($\pi/4$ *diferencial quadrature phase shift keying*, $\pi/4$ DQPSK), la que hace que varíe la fase de la señal portadora, por lo que en general la amplitud permanece constante, aunque por causa del control adaptable de potencia existe un margen dentro del cual tiene que variar.

El estándar IS-54 agregó 42 canales de control, los cuales solo pueden ser reconocidos por teléfonos compatibles. Como una mejora adicional se creó la tecnología de TDMA IS-136, la cual agregó el servicio de mensajes cortos (*short message service*, SMS), mensajes de difusión y canales de control con tasas más altas de transmisión.

La potencia de estos sistemas es casi la misma que la de AMPS, excepto en el límite inferior, ya que pueden alcanzar niveles más bajos; lo que permite crear celdas más pequeñas. En la figura 12 se muestran los valores de potencia (en dBm) para un teléfono Motorola StarTAC TDMA IS-136, durante un periodo de 9 minutos (30 dBm = 1W, 0 dBm = 0.001W).

Figura 13. **Muestra de datos de salida del sistema SYNEHA para tecnología TDMA IS-136**



Fuente: KELSH, Michael A. *Measured radiofrequency exposure during various mobile phone scenarios*. p. 349.

2.2.3. Sistema de acceso múltiple por división de código (CDMA) IS – 95A

El sistema de acceso múltiple por división de código (*code division multiple access*, CDMA) también opera en las frecuencias de 824 – 849 para *uplink* y 869 – 894 para *downlink*, con una separación de 45 MHz entre un par bidireccional. El ancho de banda de cada onda portadora es de 1.25 MHz, y el tiempo de cada recuadro (*frame*) de información es de 20 ms. La potencia máxima es de 1 W. Utiliza un método de espectro disperso que aumenta el ancho de banda de la señal original.

Emplea modulación de conmutación por desplazamiento de fase binaria (*binary phase shift keying*, BPSK), o de conmutación por desplazamiento de fase en cuadratura (*quadrature phase shift keyin*, QPSK).

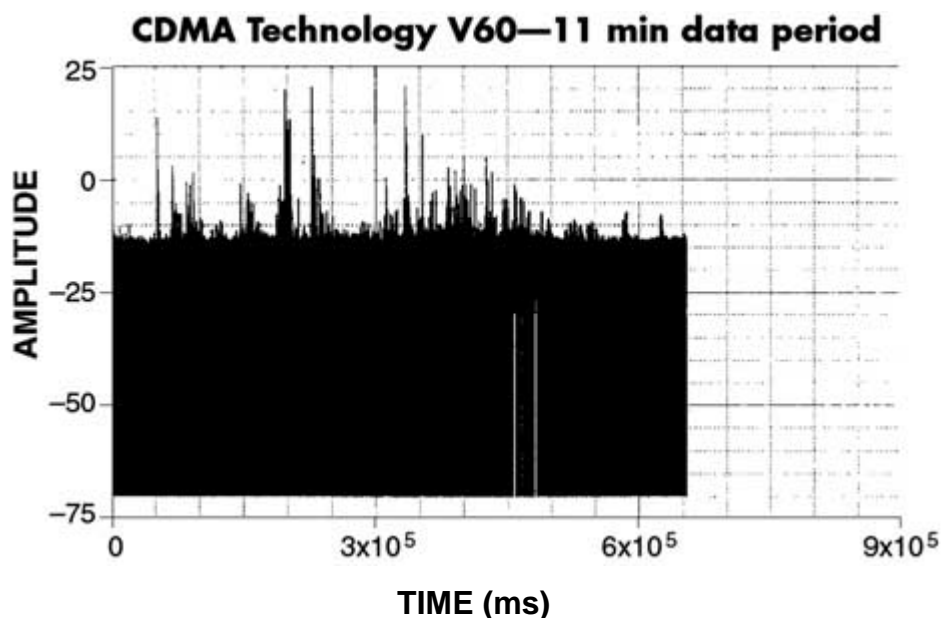
Con este método es posible que varios teléfonos se comuniquen con la estación base, utilizando las mismas frecuencias al mismo tiempo; los usuarios se distinguen unos de otros por medio de un código particular que es asignado a cada móvil. Un canal de radio puede tener hasta 64 teléfonos conectados, pero conforme aumenta este número, disminuye la tasa de *bits* disponible para cada uno, ya que cuenta con un total de 192 Kbps, aproximadamente. Algunos de estos canales se usan para control y el resto para tráfico.

En la dirección *forward*, existen canales de control y de tráfico; hay un canal conocido como piloto (*pilot channel*) que transmite con mayor potencia que los demás; entre otras cosas ayuda a los celulares a comparar niveles de potencia de diferentes estaciones base. Puede haber hasta 63 canales de tráfico. En la dirección *reverse*, existen canales de acceso y de tráfico.

Las tasas con que pueden trabajar los canales de tráfico en ambas direcciones son de 9600, 4800, 2400 y 1200 bps.

Para el buen funcionamiento de estas redes se requiere que las señales de todos los teléfonos lleguen con la misma potencia a la estación base, por lo que esta les envía comandos para aumentarla o disminuirla en 1 dB, con una tasa de 800 bps, que equivale a un periodo de 1.25 ms; en total, los móviles pueden variar dentro de un rango de potencia de 80 dB. En la figura 1 se muestran los niveles de potencia (en dBm) para un teléfono Motorola V60, trabajando con tecnología CDMA durante 9 minutos, obtenidos con el sistema SYNEHA. (25 dBm = 0.316 W; -10 dBm = 0.0001 W; -75 dBm = $3.16 \cdot 10^{-11}$ W).

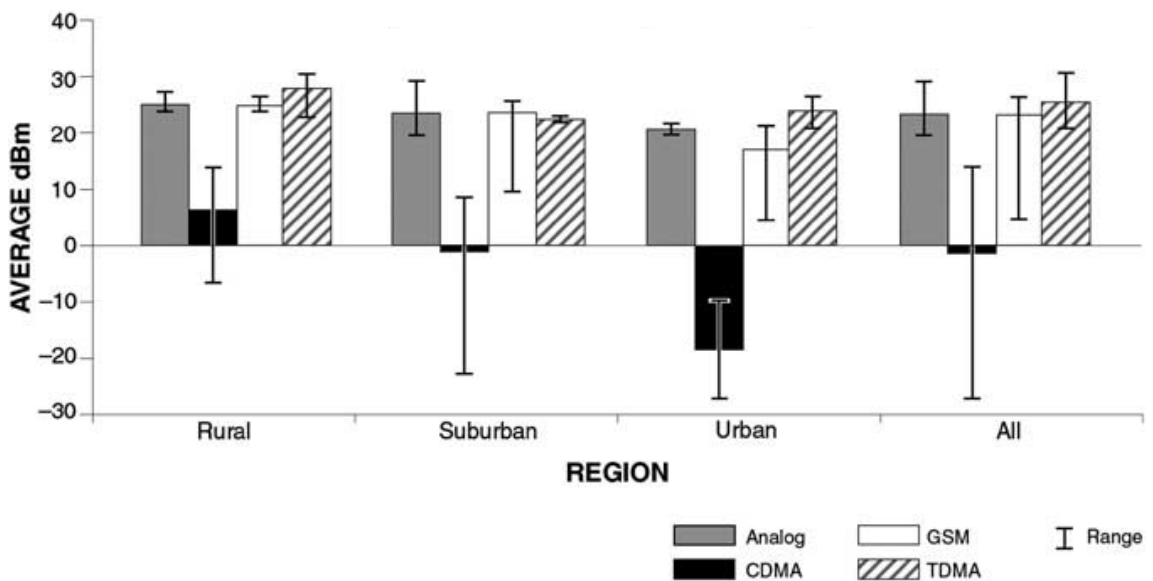
Figura 14. **Muestra de datos de salida del sistema SYNEHA para tecnología CDMA**



Fuente: KELSH, Michael A. *Measured radiofrequency exposure during various mobile phone scenarios*. p. 349.

Ya que la potencia es un factor que influye grandemente en la exposición de las personas, ocasionada por la telefonía celular, en la figura 14 se muestra una comparación de los niveles de potencia pico de la tecnologías AMPS, TDMA IS-136, CDMA IS-95 y GSM, con base en datos que se obtuvieron, llevando teléfonos celulares en distintas regiones geográficas.

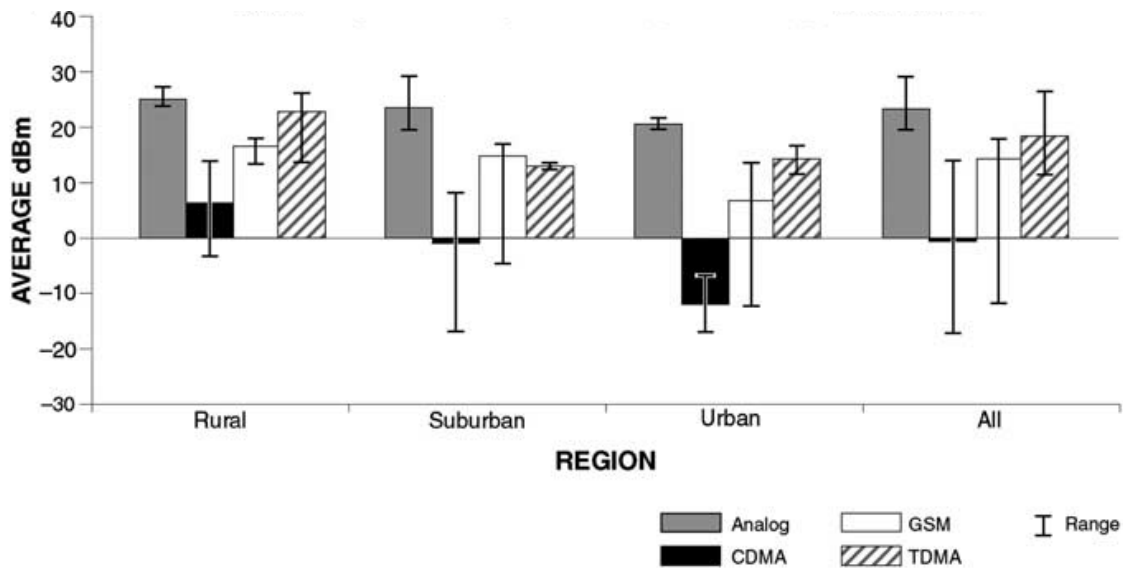
Figura 15. Resumen de potencia pico por tecnología y tipo de ruta



Fuente: KELSH, Michael A. *Measured radiofrequency exposure during various mobile phone scenarios*, p. 348.

En la figura 15 se dan a conocer los valores de potencia promedio que se obtuvieron en el mismo estudio. Es importante notar que la tecnología CDMA es la que tiene los niveles más bajos en todas las regiones, y luego para el área urbana y rural sigue GSM, y las potencias promedio más elevadas se registraron para AMPS.

Figura 16. Resumen de potencia promedio por tecnología y ruta



Fuente: KELSH, Michael A. *Measured radiofrequency exposure during various mobile phone scenarios*, p. 348.

2.3. Generación 2.5

Se le llama generación 2.5 a un conjunto de tecnologías que ofrecen mejoras respecto de la segunda generación, como un paso intermedio hacia la tercera. Agregan la conmutación por paquetes a los sistemas de segunda generación, las cuales utilizan conmutación por circuito. Por el hecho de que estos sistemas están orientados a la transmisión de datos (multimedia, acceso a internet, etc.) el tipo de exposición de las personas es distinto, ya que generalmente el teléfono no se va a tener junto al oído.

A continuación se presentan características de estándares que se incluyen dentro de esta generación.

2.3.1. Servicio de radio de paquete general (GPRS)

El servicio de radio de paquete general (*general packet radio service*, GPRS) es una actualización de GSM y usa el mismo tipo de modulación, GMSK, por lo que la forma de la onda portadora es similar. Para poder aumentar la tasa de transmisión se pueden asignar hasta 8 ranuras de tiempo a un solo teléfono, con lo que se podría alcanzar una velocidad de transmisión de hasta 171 Kbps.

2.3.2. Sistema de tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM (EDGE)

El sistema de tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM (*enhanced data rates for gsm evolution*, EDGE) se puede adaptar tanto a GSM como a IS-136, y puede alcanzar tasas de transmisión de hasta 384 Kbps; para poderlo lograr emplea un método de modulación que permite enviar más bits de información por cada cambio de fase de la señal portadora, al cual se le llama conmutación por desplazamiento de fase de grado 8 (*8-ary phase shift keying*, 8PSK).

La amplitud de la forma de onda portadora varía no solo por el control automático de potencia, sino también por el tipo de modulación empleada.

Generalmente se considera a EDGE dentro de las tecnologías de la generación 2.5, pero la unión de telecomunicaciones internacionales (*international telecommunications union*, ITU) la incluye dentro de los estándares de IMT - 2000, que describe a los sistemas de tercera generación.

2.3.3. IS-95B

Esta tecnología es una mejora de CDMA IS-95A, especialmente por un aumento en la velocidad de transmisión, ofreciendo un límite máximo de 115 Kbps al utilizar 8 códigos distintos para un solo teléfono.

2.4. Tercera generación

Se han definido varias tecnologías dentro del concepto de telefonía móvil de tercera generación. A este grupo de estándares se le conoce como IMT 2000 (International Mobile Telecommunications) y tienen como fin crear un estándar mundial de telecomunicaciones; sin embargo existen diferentes sistemas dentro de estas normas. Actualmente, dos de estas tecnologías se han desplegado de manera notable alrededor del mundo: WCDMA (*Wideband CDMA*, CDMA de banda ancha) y CDMA2000; por lo que a continuación se presentan datos de estas, que se relacionan con la radiación electromagnética que generan.

2.4.1. CDMA de banda ancha (WCDMA)

WCDMA es la interfaz aérea y la tecnología en la cual se basa el sistema de telecomunicaciones móviles universal (*Universal Mobile Telecommunications System*, UMTS). UMTS es una ampliación del sistema GSM. WCDMA puede operar tanto con FDD (*frequency division duplex*, dúplex por división de frecuencia) como con TDD (*time division duplex*, dúplex por división de tiempo). TDD se emplea principalmente cuando no es posible obtener las bandas de frecuencia necesarias para separar los canales *uplink* y *downlink*, y tiene la ventaja de que se pueden asignar los recursos para ambas direcciones, dependiendo del tráfico existente. En la tabla VIII se muestran las frecuencias asignadas para cada modo de operación.

Tabla VIII. Frecuencias de operación de WCDMA para FDD y TDD

Modo dúplex	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
FDD	1920-1980 MHz y 1850-910 MHz	2110-2170 MHz y 1930-1990 MHz
TDD	1900-1920 MHz y 2010-2025 MHz	1850-1910 MHz y 1930-1900 MHz

Fuente: elaboración propia.

El ancho de banda de cada onda portadora es de 5 MHz y la duración de cada cuadro de información es de 10 ms. Utiliza modulación por conmutación de fase en cuadratura (*Quadrature phase shift keying*, QPSK), que hace que la amplitud de la portadora varíe con el tiempo.

Por causa de la dependencia que tienen estos sistemas, de que el nivel de la señal recibida por la estación base desde cada teléfono sea de la misma magnitud, se emplea el método de control adaptable de potencia con pasos de 1, 2 y 3 dB, a una frecuencia de 1500 Hz, y además se emplea otro con una frecuencia menor, de 10 – 100 Hz, que verifica que el primero esté operando dentro del nivel correcto, lo cual depende del tipo de transmisión, ya sea de voz o de datos.

En la tabla IX se muestran los niveles de potencia para las diferentes clases de dispositivos móviles en el modo FDD.

Tabla IX. **Clases de potencia para equipo del usuario para FDD**

Power class	Nominal maximum output power	Tolerance
1	33 dBm, 2.000W	+1/-3 dB
2	27 dBm, 0.500W	+1/-3 dB
3	24 dBm, 0.250W	+1/-3 dB
4	21 dBm, 0.125W	+/-2 dB

Fuente: BACH, Andersen J. *Exposure aspects of W-CDMA*. p. 5.

En la tabla X se muestran los niveles de potencia para las diferentes clases de dispositivos móviles en el modo TDD. La forma de onda variará dependiendo de cuántas y cuáles ranuras de tiempo se asignen para la transmisión desde el celular. Se tienen en total 15 ranuras de 0.67 ms durante cada recuadro de 10 ms.

Tabla X. **Clases de potencia para equipo del usuario para TDD**

Power class	Nominal maximum Output power	Single slot transmission	Tolerance
1	30 dBm, 1.000 W	18 dBm, 67.0 mW	+1/-3 dB
2	24 dBm, 0.250 W	12 dBm, 17.0 mW	+1/-3 dB
3	21 dBm, 0.125 W	9 dBm, 8.0 mW	±2 dB
4	10 dBm, 0.010 W	-2 dBm, 0.7 mW	±4 dB

Fuente: BACH, Andersen J. *Exposure aspects of W-CDMA*. p. 8.

Como ejemplos de los niveles de potencia emitida por una estación móvil, se puede mencionar que cuando se asignen 13 ranuras de tiempo a un teléfono celular, la potencia promedio emitida estará alrededor de -0.6 dBm, y cuando solo se utilice una, se encontrará alrededor de -12 dBm. Ambas cantidades tienen como referencia la potencia máxima de cada clase.

2.4.2. Sistema de acceso múltiple por división de código 2000 (CDMA 2000)

Este sistema consiste en una familia de estándares que mejoran las características de la tecnología IS-95B. Dentro de los estándares de IMT 2000, está clasificada como IMT 2000 MC (*multi carrier*, multiportadora), ya que puede operar con una o más señales de onda portadoras para enviar la información; específicamente, está definido el uso de una (1X) y de tres (3X). Para transmitir en ambas direcciones utiliza frecuencias distintas (FDD).

Cuando opera con un solo canal de frecuencia portadora, soporta tasas de transmisión de hasta 625.35 kbps en la dirección *forward* y de 433.35 kbps en el sentido opuesto (*reverse*); y cuando utiliza tres canales puede alcanzar tasas máximas de 2084.55 kbps, desde la estación base hacia un teléfono móvil, y de 1354.95 kbps desde un teléfono móvil hacia la estación base. Los teléfonos celulares pueden emplear modulación QPSK y BPSK. Cuando las estaciones base transmiten con una única portadora usan modulación QPSK, BPSK, 8-PSK y 16-QAM (modulación por amplitud en cuadratura de orden 16, *quadrature amplitude modulation -16*), y cuando transmiten con 3 portadoras utilizan QPSK y BPSK.

En la tabla XI se muestran niveles de potencia de teléfonos empleados con esta tecnología, cuando se utilizan 1 y 3 portadoras.

Tabla XI. **Potencia de estaciones móviles de CDMA 2000**

Parámetro	1X	3X
Potencia típica	20 dBm, 0.100 W	20 dBm, 0.100 W
Potencia máxima	24 dBm, 0.250 W	24 dBm, 0.250 W

Fuente: elaboración propia.

3. RECOMENDACIONES DE LA ICNIRP PARA LIMITAR LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA RELACIONADAS CON EL USO DE LA TELEFONÍA CELULAR

La Comisión internacional para la protección contra las radiaciones no ionizantes (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP), es una organización científica internacional no gubernamental que investiga los efectos de las radiaciones no ionizantes en las personas, y establece lineamientos para limitar los niveles de exposición, de tal manera que se eviten daños establecidos científicamente.

3.1. Propósito y campo de acción de las normas

En 1998, la ICNIRP publicó lineamientos que establecen límites para la exposición a la radiación electromagnética para frecuencias de hasta 300 GHz; estos tienen como propósito prevenir efectos adversos en la salud de las personas expuestas, así como en los hijos de estas, y están basados en el conocimiento científico disponible al momento de su creación. Se publicaron recomendaciones tanto para el público en general, como para personas que trabajan cerca de fuentes de campo electromagnético.

En el 2010 se dio a conocer una actualización de los límites recomendados, que abarcaba las frecuencias desde 1 Hz hasta 100 KHz; mientras que para las frecuencias desde 100 KHz hasta 300 GHz, permanecieron vigentes los valores publicados en 1998.

Es importante mencionar que seguir esas directrices no garantiza que no vaya a haber interferencia con dispositivos tales como marcapasos e implantes cocleares.

3.2. Bases biológicas utilizadas para limitar la exposición

Las frecuencias a las que operan las ondas portadoras de las señales de la telefonía celular están incluidas dentro del rango de 100 KHz a 300 GHz, el cual tiene las mismas bases biológicas para limitar la exposición, y que se comentan a continuación.

Cuando se han expuesto voluntarios en reposo durante 30 minutos a ondas de radiofrecuencia que ocasionan niveles de SAR entre 1 y 4 W/Kg, se han observado incrementos de temperatura del cuerpo entero, menores a 1 °C. Se ha determinado que para niveles mayores de SAR se pueden dañar tejidos, ya que la capacidad termorreguladora del cuerpo se ve afectada. Asimismo, experimentos realizados con animales han demostrado que niveles similares de SAR ocasionan problemas de desempeño.

Según lo mencionó la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1998), en estudios realizados con animales se ha encontrado que existe una gran variedad de daños permanentes a los tejidos, con aumentos de temperatura superiores a 1 – 2 °C; aunque incluso los que son más sensibles tienen un límite por encima de 4 W/Kg. De acuerdo con esta información, se ha establecido un límite para exposición ocupacional de 0.4 W/Kg, que da un margen para aspectos tales como elevada temperatura exterior y la humedad.

El uso de alcohol y drogas, así como un ambiente acalorado que ocasiona estrés, hace que no funcione normalmente el sistema que regula la temperatura del cuerpo; por lo que es necesario tomar medidas de precaución adicionales.

En relación con problemas reproductivos y la posibilidad de que estas ondas pudieran ser cancerígenas, los estudios revisados al momento de establecerse estos límites no proporcionaban evidencia suficiente para comprobarlo, por lo que estas suposiciones no se tomaron en cuenta al determinar los límites para la exposición. Personas con audición normal pueden percibir sonidos debidos a ondas de radiofrecuencia pulsadas, que tengan la intensidad suficiente.

En el 2009, la ICNIRP publicó una declaración respecto de los niveles de exposición recomendados en 1998. Acerca del rango de frecuencias entre 100 KHz y 300 GHz, indicó que la evidencia revelada por los estudios llevados a cabo hasta ese momento, no requería que se llevara a cabo una revisión inmediata de las recomendaciones, y que a la vez se continuarían evaluando los resultados de los estudios realizados. Se mencionó específicamente el estudio *Interphone*, haciendo saber que los resultados disponibles a la fecha no indicaban un aumento en la probabilidad de enfermar de cáncer por el uso de teléfonos celulares, con un tiempo de uso de 10 años.

3.3. Límites para la exposición ocupacional y del público en general

A las personas que están expuestas como parte de su trabajo, y que están al tanto de posibles riesgos relacionados con la exposición a los campos electromagnéticos, así como de medidas que pueden tomar para prevenir daños, se les han asignado niveles de exposición ocupacionales.

Los límites de exposición del público en general se han establecido basándose en el hecho de que existen diferentes niveles de susceptibilidad a la radiación electromagnética entre las personas expuestas, debido por ejemplo a las variaciones en los estados de salud y en las edades; también se tomó en cuenta el hecho de que generalmente no se tiene un conocimiento del tipo de ondas presentes, ni de las medidas de precaución que se podrían tomar para evitar riesgos.

3.4. Restricciones básicas

Los límites en los niveles de exposición a las ondas electromagnéticas que previenen daños establecidos a la salud de las personas son conocidos como restricciones básicas, y se han determinado tanto para personas expuestas por su trabajo, como para el público en general.

Para las frecuencias utilizadas en la telefonía celular, estos lineamientos están dados en valores de SAR, los cuales sirven para impedir estrés térmico del cuerpo entero o calentamiento excesivo de tejidos.

El límite para la exposición ocupacional es de 0.4 W/Kg, y para el público en general se ha reducido por un factor de seguridad de 5; lo que da un valor de 0.08 W/Kg; ambas cantidades son los valores de SAR para el cuerpo entero.

En la tabla XII se muestran las restricciones básicas para las frecuencias usadas en la telefonía celular.

Tabla XII. **Restricciones básicas para campos electromagnéticos en el rango 10 MHz – 10 GHz**

Características de la exposición	SAR promedio en todo el cuerpo (W Kg⁻¹)	SAR localizado cabeza y tronco (W Kg⁻¹)	SAR localizado (extremidades) (W Kg⁻¹)
Exposición ocupacional	0.4	10	20
Exposición del público en general	0.08	2	4

Fuente: elaboración propia.

Los valores de SAR se deben promediar durante 6 minutos. Para evaluar el nivel localizado de SAR, se deben tomar en cuenta 10 gramos contiguos de tejido, y el valor mayor que se obtenga es el que hay que usar para evaluar la exposición.

3.5. Niveles de referencia

Los niveles de referencia se obtuvieron de los valores de las restricciones básicas, así como de estudios de laboratorio. Están dados para el caso de mayor acoplamiento entre el campo y el cuerpo. Los niveles de referencia se deben obtener promediando los niveles de exposición, especialmente sobre el cuerpo entero de un individuo, teniendo en cuenta que no se deben superar las restricciones básicas localmente. Si la exposición está por debajo de los niveles de referencia, se garantiza que se cumple con las restricciones básicas; mientras que si se exceden los niveles de referencia, no implica que las restricciones básicas no se estén cumpliendo, pero sí se hace necesario llevar a cabo mediciones adicionales para poder determinarlo.

En la tabla XIII se muestran los niveles de referencia para la exposición ocupacional, para los rangos de frecuencia que incluyen a los utilizados en los sistemas celulares.

Tabla XIII. Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (valores rms no perturbados)

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico ($V m^{-1}$)	Intensidad de campo magnético ($A m^{-1}$)	Densidad de flujo magnético (μT)	Densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} ($W m^{-2}$)
400 – 2,000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2 – 300 GHz	137	0.36	0.45	50

Fuente: elaboración propia.

Tanto en la tabla XIII como en la XIV, los valores de f son los dados en la primera columna, para frecuencias entre 100 KHz y 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , y B^2 , se deben promediar a lo largo de un periodo de 6 minutos.

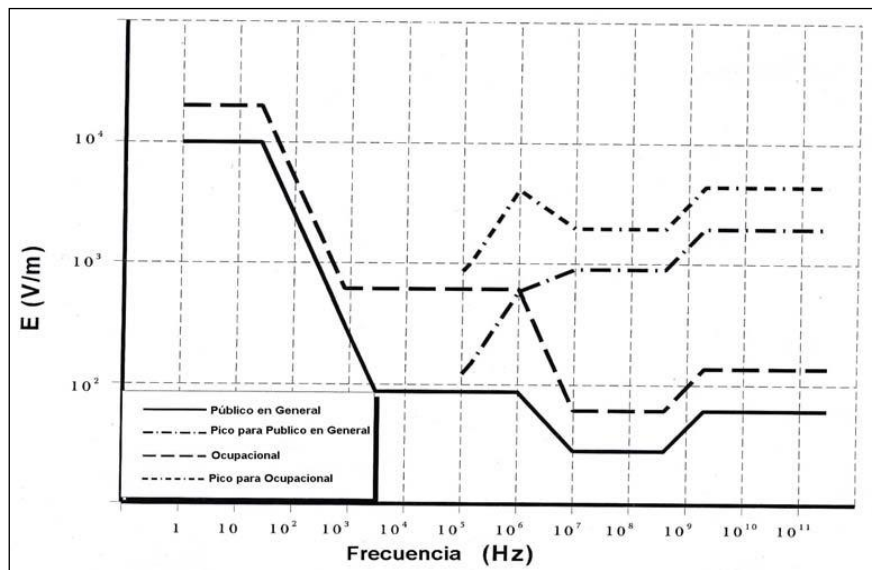
Los niveles de referencia para la exposición del público en general se dan a conocer en la tabla XIV.

Tabla XIV. Niveles de referencia para exposición del público en general a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (valores rms no perturbados)

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico ($V m^{-1}$)	Intensidad de campo magnético ($A m^{-1}$)	Densidad de flujo magnético (μT)	Densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} ($W m^{-2}$)
400 – 2,000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0.16	0.2	10

Fuente: elaboración propia.

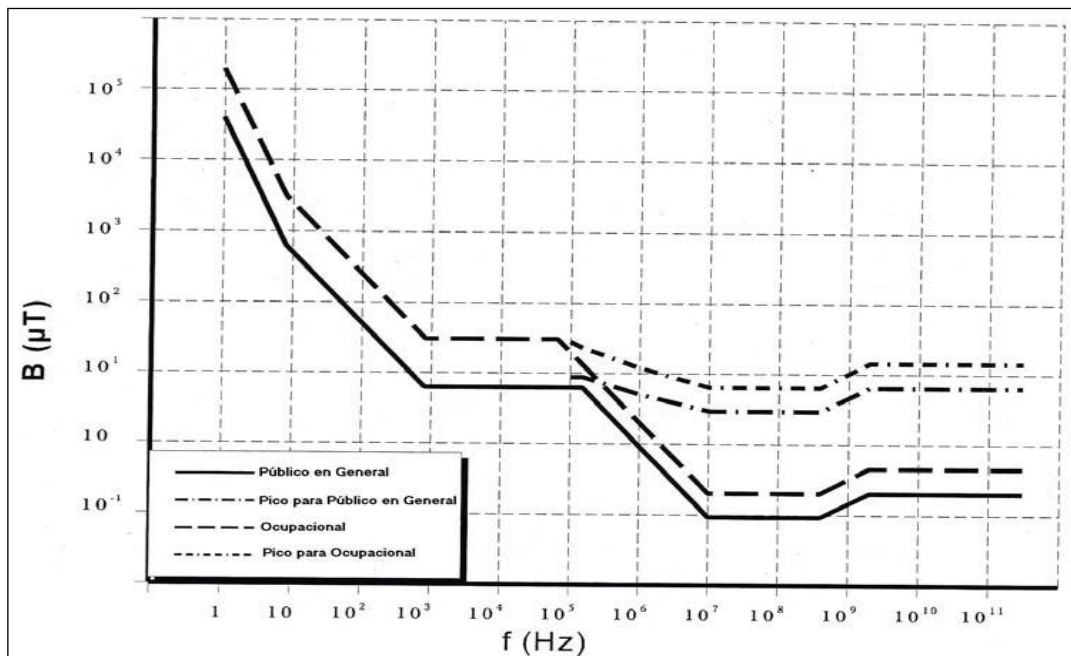
Figura 17. Niveles de referencia ICNIRP para exposición a campos eléctricos variables en el tiempo



Fuente: International Commission on non-Ionizing Radiation Protection. Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz).p.29.

Bajo condiciones extremas, el máximo acoplamiento de energía se logra entre frecuencias de 20 MHz hasta varios cientos de MHz, y esto se refleja en las figuras 16 y 17, donde se muestran los niveles de referencia para los campos eléctricos y magnéticos, respectivamente.

Figura 18. **Niveles de referencia ICNIRP para exposición a campos magnéticos variables en el tiempo**



Fuente: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz), p. 30.

3.6. Exposición simultánea a frecuencias múltiples

Cuando existe exposición a diferentes frecuencias simultáneamente, es necesario verificar si los efectos son aditivos.

Para las frecuencias superiores a 100 KHz, los valores de SAR y de densidad de potencia deben cumplir con las restricciones básicas, tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=100\text{ KHz}}^{10\text{ GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10\text{ GHz}}^{300\text{ GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1$$

Donde:

SAR_i = SAR ocasionada por exposición a la frecuencia i

SAR_L = límite de SAR, dado en la tabla XII

S_L = densidad de potencia, dada en la tabla XV

S_i = densidad de potencia a la frecuencia i

Aunque las frecuencias abarcadas en la tabla XV no corresponden a las que se usan con la tecnología de los teléfonos celulares, se incluyen para el caso de que estas pudieran estar presentes junto con las de los sistemas celulares.

Tabla XV. **Restricciones básicas para densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz**

Características de la exposición	Densidad de potencia (W m⁻²)
Exposición ocupacional	50
Exposición del público en general	10

Fuente: elaboración propia.

Las densidades de potencia se deben promediar a lo largo de un área expuesta de 20 cm² y por un periodo de 68/f^{1.05} (donde f está en GHz), para compensar por la disminución progresiva de la profundidad de penetración, conforme aumenta la frecuencia.

Las densidades de potencia máxima espaciales no deben ser mayores a 20 veces los valores dados en la tabla, al ser promediados sobre 1 cm².

Para verificar que se cumplan las restricciones básicas para frecuencias superiores a 100 KHz, tomando en cuenta que la medición de las restricciones básicas no es práctica en situaciones de la vida real, es necesario comprobar que los niveles de referencia cumplan, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

Y

$$\sum_{j=100\text{KHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

Donde:

E_i = intensidad de campo eléctrico a la frecuencia i

E_{L,i} = nivel de referencia del campo eléctrico, dado en las tablas XIII y XIV

H_j = intensidad de campo magnético a la frecuencia j

H_{L,j} = nivel de referencia de campo magnético, dado en las tablas XIII y XIV

c = 610/f V m⁻¹ (f está dada en MHz) para exposición ocupacional y 87/f^{1/2} V m⁻¹, para exposición del público en general

$d = 1.6/f \text{ A m}^{-1}$ (f está dada en MHz) para exposición ocupacional y $0.73/f$ para exposición del público en general.

3.7. Comparación con los límites de exposición de otras normas

Existen distintos límites para exposición a campos electromagnéticos alrededor del mundo, entre los principales se encuentran los que han sido creados por la ICNIRP, y los del Institute of electrical and electronics engineers (Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos, IEEE), los cuales han sido adoptados por varios países.

Además de estas recomendaciones, se han creado otras a nivel nacional. Mientras que algunas buscan proteger de daños conocidos a la salud, otras procuran prevenir posibles efectos adversos a la salud, no determinados; por lo que establecen niveles límite muy por debajo de los recomendados por la ICNIRP y el IEEE.

3.7.1. Estándar del IEEE

En el 2005, el IEEE publicó un estándar que establece límites para la exposición a campos electromagnéticos en el rango de 3 Hz a 300 GHz. Estos se basan en el estudio de investigaciones científicas. En el rango de frecuencias de la telefonía celular, los efectos principales que buscan prevenir son los debidos al calentamiento ocasionado por la energía adicional que reciben los tejidos, por causa de la absorción de la energía electromagnética.

Los valores dados por estos lineamientos son bastante similares a los sugeridos por la ICNIRP.

Los límites están dados como restricciones básicas, y como valores de exposición permisibles máximos (*Maximum permissible exposure values*, MPE), los cuales sirven para evaluar de forma práctica el cumplimiento de las restricciones básicas; aunque es posible que los valores fueran superiores a los MPE's y todavía se cumpliera con las restricciones básicas.

Se define un nivel en el cual se evitan daños conocidos para la salud en ambientes controlados, o sea donde existe un programa de protección de RF para las personas que lo habitan. Como una medida de precaución, se da un nivel de acción que aplica para el público en general, e incluye a personas de distintas edades y estados de salud. En la tabla XVI se dan los valores de las restricciones básicas para las frecuencias entre 100 KHz y 3 GHz.

Tabla XVI. Restricciones básicas para campos electromagnéticos en el rango 100 KHz – 3 GHz

		Nivel de acción^a SAR^b (W/Kg)	Personas en ambientes controlados SAR^c (W/Kg)
Exposición de cuerpo entero	Promedio de cuerpo entero (WBA)	0.08	0.4
Exposición localizada	Localizado (promedio-espacial pico)	2 ^c	10 ^c
Exposición localizada	Extremidades ^d y pabellones de las orejas	4 ^c	20 ^c
^a Restricciones básicas para el público en general cuando no existe un programa de seguridad de RF			
^b SAR se promedia durante el tiempo adecuado, según se muestra en las tablas XVII y XVIII			
^c Promediado a través de 10 gramos de tejido (definido como volumen de tejido en forma de cubo).*			

Continuación de la tabla XVI.

^d Las extremidades son los brazos y las piernas a partir de los codos y las rodillas, respectivamente
El volumen del cubo es de aproximadamente 10 cm ³

Fuente: IEEE. Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. p. 20.

Tabla XVII. **MPE para el límite mayor (personas en ambientes controlados)**

Rango de frecuencias (MHz)	Intensidad de campo eléctrico rms (E) (V/m)	Intensidad de campo magnético (H) rms (A/m)	Densidad de potencia rms (S) campo-E, campo-H (W/m ²)	Tiempo promedio E ² , H ² o S (min)
300 – 3000	-	-	F _M /30	6
f _M es la frecuencia en MHz.				

Fuente: elaboración propia.

Para determinar si se cumplen las restricciones básicas, es suficiente verificar que los niveles del campo electromagnético se encuentren dentro de los valores de exposición permisibles máximos (MPE's), como se definen en las tablas XVII y XVIII.

Tabla XVIII. **Nivel de acción (MPE para el público en general cuando no hay un programa de seguridad de RF)**

Rango de frecuencias (MHz)	Intensidad de campo eléctrico rms (E) (V/m)	Intensidad de campo magnético (H) rms (A/m)	Densidad de potencia rms (S) campo-E, campo-H (W/m ²)	Tiempo promedio S (min)
2000 – 5000	-	-	10	30
f_M es la frecuencia en MHz.				

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIX se muestran los niveles de referencia de la ICNIRP para exposición del público en general, para algunas frecuencias específicas utilizadas en la telefonía celular, comparados con los que se aplican en algunos países, entre los que se encuentra Rusia, que es un ejemplo de normas basadas en el principio de precaución.

Tabla XIX. Niveles de referencia para exposición del público en general en diversos países, para tres frecuencias específicas utilizadas en la telefonía celular, datos de abril de 2011

	900 MHz			1800 MHz			2100 MHz		
	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Densidad de flujo magnético (μ T)	Densidad de potencia de onda plana equivalente (W/m ²)	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Densidad de flujo magnético (μ T)	Densidad de potencia de onda plana equivalente (W/m ²)	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Densidad de flujo magnético (μ T)	Densidad de potencia de onda plana equivalente (W/m ²)
ICNIRP	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Austria	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Francia	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Alemania	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Italia¹	6	0.02	0.1	6	0.02	0.1	6	0.02	0.1
España	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Reino Unido	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Australia	41	0.14	4.5	58	0.20	9	61	0.20	10
Rusia	-	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1
EE.UU.	-	-	6	-	-	10	-	-	10

¹Cerca de casas y sus anexos exteriores, escuelas y campos de juego, en lugares con tiempos con estadias mayores de 4 horas; para cualquier otra ubicación: 20 V/m, 0.06 μ T, 1 W/m².

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Niveles de referencia para exposición ocupacional en diversos países, para tres frecuencias específicas utilizadas en la telefonía celular, datos de abril de 2011

	900 MHz			1800 MHz			2100 MHz		
	Intensidad de campo eléctrico	Densidad de flujo magnético	Densidad de potencia de onda plana equivalente	Intensidad de campo eléctrico	Densidad de flujo magnético	Densidad de potencia de onda plana equivalente	Intensidad de campo eléctrico	Densidad de flujo magnético	Densidad de potencia de onda plana equivalente
	(V/m)	(μ T)	(W/m ²)	(V/m)	(μ T)	(W/m ²)	(V/m)	(μ T)	(W/m ²)
ICNIRP	90	0.30	22.5	127	0.42	45	137	0.45	50
Austria	90	0.30	22.5	127	0.42	45	137	0.45	50
Francia	90	0.30	22.5	127	0.42	45	137	0.45	50
Alemania	92	0.31	22.5	130	0.43	45	137	0.45	50
Italia ¹	90	0.30	22.5	127	0.42	45	137	0.45	50
España	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reino Unido	90	0.30	22.5	127	0.42	45	137	0.45	50
Australia	92	0.31	22.5	130	0.43	45	137	0.46	50
Rusia ²	-	-	10	-	-	11	-	-	10
EE.UU.	-	-	30	-	-	50	-	-	50

¹Para ser aplicado después de la fecha límite para la transposición de la directiva 2004/40/EC (30 Abril 2012)

²Exposición pico para el cuerpo entero; exposición pico para las extremidades 50 W/m²; exposición integrada a lo largo del tiempo 2W/m² x h

Fuente: elaboración propia.

4. ESTUDIOS DE POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS CREADOS POR LA TELEFONÍA CELULAR

Las normas para limitar la exposición a los campos electromagnéticos se basan en distintas disciplinas científicas tales como Medicina, Biología, Física e Ingeniería. Es necesario llevar a cabo estudios para conocer los efectos biológicos, las características de la radiación electromagnética y el tipo de personas expuestas, ya que cada método de investigación contribuye de forma distinta, y a la vez tiene limitaciones correspondientes; es necesario evaluarlas todas para poder determinar la influencia de las ondas electromagnéticas en la salud de los seres humanos.

Existen distintos grupos de profesionales que evalúan los resultados de las investigaciones que se llevan a cabo. En este capítulo se hará mención específicamente de tres de estas revisiones; dos de las cuales son de organizaciones internacionales, y una corresponde a un país determinado; estas se describen a continuación.

En el 2009 la ICNIRP publicó una revisión de diversos estudios titulada *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences, 100 KHz - 300 GHz* (Exposición a campos electromagnéticos, efectos biológicos y consecuencias en la salud (100 KHz – 300 GHz)). En esta se analizan distintos aspectos de la exposición de las personas a las ondas electromagnéticas, y están incluidos diversos estudios que se han realizado respecto de la exposición debida a la telefonía celular.

En el 2011, 30 científicos de 14 países se reunieron en León Francia, para formar un grupo de trabajo organizado por la Agencia internacional para la investigación del cáncer (*International agency for research on cancer*, IARC), con el fin de evaluar posibles riesgos por la exposición de las personas a las ondas electromagnéticas en general, que incluyen a las generadas por la telefonía celular. Ellos evaluaron estudios que se habían realizado hasta esa fecha.

En abril de 2012, la Agencia para la Protección de la Salud (*Health Protection Agency*, HPA), de Inglaterra, publicó el reporte del grupo consejero independiente sobre radiaciones no ionizantes, acerca de los efectos en la salud de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Esa evaluación también incluye el análisis de varios tipos de estudios.

Las monografías de la IARC, publicadas en el 2013, dan a conocer los resultados de la evaluación de posibles agentes cancerígenos en los seres humanos.

4.1. Estudios biológicos

Se han llevado a cabo estudios biológicos tanto en seres humanos, como en animales y asimismo en cultivos celulares; siendo que cada uno contribuye de forma distinta para investigar los efectos de la radiación electromagnética, se revisará cada tipo individualmente.

En este inciso se tratan los experimentos celulares *in vitro*, y en los dos siguientes se revisarán los estudios con animales y con personas voluntarias, respectivamente.

Los experimentos a nivel celular se llevan a cabo con el fin de buscar mecanismos de interacción que pudieran explicar los efectos de la radiación electromagnética, sin embargo es necesario tomar en cuenta que los cultivos podrían ser afectados por las condiciones externas, y además, que por no estar dentro del sistema completo de un cuerpo, no cuentan con los mecanismos autoreguladores correspondientes.

A los resultados de estos experimentos no se les considera como evidencia suficiente para establecer relaciones de causa-efecto, independiente de los otros tipos de estudios.

Con el propósito de corroborar un efecto encontrado en uno de estos estudios, es necesario que se obtengan los mismos resultados en el laboratorio original, así como en otros independientes; también ayuda a determinar una relación dosis respuesta respecto de los niveles de la exposición.

4.1.1. Revisión de la ICNIRP

La ICNIRP explicó que durante los últimos 30 años se habían realizado varios estudios para poder conocer los efectos de las ondas de radiofrecuencia en las células, los cuales habían servido para entender mecanismos de interacción que pudieran explicar los efectos de estas ondas en animales o seres humanos.

Indicó que debido al comportamiento anormal y en parte a las condiciones de los cultivos, sería difícil realizar una extrapolación directa hacia las personas. La mayoría de los resultados evaluados no proporcionaban evidencia consistente para establecer relaciones causa-efecto, con aspectos que tienen que ver con el calentamiento.

Como ejemplo se mencionó que para efectos genéticos, la mayoría de los datos obtenidos habían sido negativos, y los pocos que fueron positivos, podrían atribuirse a efectos térmicos más que a la exposición en sí, y lo mismo sucedió con los demás temas de estudio de ese tipo de investigaciones.

4.1.2. Monografía del grupo de trabajo de la IARC

El grupo de trabajo de la IARC que se reunió en el 2011, notó que aunque hay varios ensayos que dieron resultados positivos a niveles elevados de SAR, algunos se debían a efectos térmicos. Concluyó que los estudios celulares *in vitro* de mamíferos y no mamíferos, dan evidencia débil de que la radiaciones de radiofrecuencia sea genotóxicas.

Además, concluyó que había evidencia débil de que las ondas de radiofrecuencia ocasionan apoptosis en células de mamíferos.

4.1.3. Reporte del grupo consejero de la HPA

De la evaluación de resultados de estudios celulares *in vitro*, en la publicación de la HPA se resumió que no había una consistencia general sobre los tipos de exposición o los sistemas biológicos estudiados, que muestren los mismos efectos por debajo de los niveles recomendados por lineamientos internacionales.

En algunos experimentos hubo resultados positivos, pero que no fueron replicados en estudios independientes.

4.2. Estudios con animales

Estas investigaciones pueden proporcionar una evaluación cualitativa de riesgos en la salud de las personas, pero no necesariamente se podría llevar a cabo una extrapolación cuantitativa aplicada a seres humanos por causa de las diferencias en sus sistemas; así como por el tamaño, el cual está relacionado con la frecuencia de resonancia de cuerpo entero; por ejemplo para los roedores es más alta que para las personas, y en estos las ondas electromagnéticas tienen una profundidad de penetración relativamente mayor.

Sin embargo, estos estudios tienen una función muy importante por contar con sistemas completos tales como los de defensa, endocrinos y nerviosos, lo cual da una mejor apreciación de los efectos que los estudios con cultivos celulares aislados.

Estos experimentos permiten la evaluación de posibles efectos por exposición a largo plazo, lo cual no se podría llevar a cabo con seres humanos; como por ejemplo para investigar acerca de problemas reproductivos y del cáncer.

La IARC considera que si un agente físico, biológico o químico ocasiona cáncer en por lo menos dos especies de animales, es probable que represente un riesgo también para las personas.

A nivel molecular existe mucha similitud en los procesos, tanto en los sistemas de los animales como en el de las personas, lo cual ha servido para dilucidar los procesos genéticos de algunos tipos de cáncer de los seres humanos.

Cuando se planea la forma de exponer los animales, generalmente es necesario buscar un equilibrio entre la movilidad y el estrés que se les ocasiona, ya que si se les permite moverse libremente, puede haber mucha incertidumbre acerca de los niveles y lugares de exposición, mientras que si se les mantiene inmóviles, se puede tener buen control de esos parámetros, pero el estrés que les ocasiona podría influir en los resultados, a menos que se logre controlar preparando debidamente a los animales.

4.2.1. Revisión de la ICNIRP

Los encargados del análisis concluyeron que en general no se había encontrado evidencia convincente de que la exposición a ondas de radiofrecuencia tuviera efectos genéticos en animales, siempre que no se alcanzaran niveles que ocasionaran efectos por calentamiento.

Respecto de los estudios sobre la posibilidad de que estas ondas electromagnéticas generaran o contribuyeran al desarrollo de cáncer, mencionaron que la mayoría de estudios no ha encontrado este tipo de relación con niveles de SAR por debajo de 4 W/Kg.

Acerca de posibles problemas en la reproducción o en el desarrollo, informaron que los estudios que se han llevado a cabo con mamíferos y aves, muestran claramente que la exposición a ondas electromagnéticas que ocasionen el suficiente aumento en la temperatura puede ocasionar la pérdida tanto de un embrión como de un feto, así como malformaciones y la reducción de peso al nacer; también puede deteriorar la fertilidad masculina. En relación con la exposición a niveles por debajo de los que ocasionan efectos térmicos, mencionaron que no existía evidencia consistente sobre efectos adversos en el desarrollo y la reproducción.

Acerca de posibles efectos en el sistema nervioso, comentaron que cuando la exposición ocasiona calentamiento significativo, se interrumpe el comportamiento operativo de animales; por ejemplo se ha encontrado que roedores y primates tienen ese tipo de dificultades cuando su temperatura se eleva en 1 °C.

Explicaron que en general, los estudios de posibles efectos en el cerebro o en el sistema nervioso no han dado resultados positivos.

Acerca del sistema auditivo, señalaron que mayormente la evidencia indica que las ondas de RF de la telefonía celular no tienen ningún efecto en la función auditiva de los roedores, y que respecto de las ondas de RF pulsantes existentes en las transmisiones de radar, los animales sí las pueden escuchar por medio de un mecanismo de expansión termoelástica.

Respecto del sistema cardiovascular, mencionaron que los cambios ocasionados por la exposición a RF están relacionados directamente con la termorregulación del cuerpo; específicamente, se envía más sangre a la piel para aumentar su conductividad térmica, y aumenta la cantidad de sangre que bombea el corazón por minuto, para poder mantener la presión arterial dentro de los límites normales.

4.2.2. Monografía del grupo de trabajo de la IARC

Ese grupo de trabajo evaluó 7 estudios, 2 en ratones y 5 en ratas, que fueron expuestos por 2 años, y concluyó que no daban evidencia de que la exposición a ondas de radiofrecuencia ocasionara tumores a largo plazo.

Asimismo evaluaron 12 experimentos con animales propensos a desarrollar tumores, algunos de los cuales fueron expuestos a radiación del tipo de GSM de 900 MHz, y concluyeron que los resultados positivos de tres de estos, no sirven como fundamento para establecer una relación entre la exposición a ondas de radiofrecuencia y la incidencia de tumores en el cerebro.

Ellos evaluaron 6 estudios que investigaban la influencia de la exposición a ondas de radiofrecuencia en conjunto con agentes cancerígenos, de los cuales 4 dieron resultados positivos. Mencionaron que aunque dos de estos no mostraban claramente su aplicación a los seres humanos, estos estudios sí aumentan en cierto grado la evidencia de efectos cancerígenos de esas ondas en animales experimentales.

En general, concluyeron que existe evidencia limitada en los estudios con animales de que la radiación electromagnética pudiera ser cancerígena.

4.2.3. Reporte del grupo consejero de la HPA

Este grupo mencionó en sus conclusiones sobre estudios con animales, el hecho de que se sabe que la hipertermia es teratogénica y que cuando la exposición a ondas de radiofrecuencia ocasiona el aumento suficiente de temperatura, puede ocasionar las mismas malformaciones durante el desarrollo.

Se refirieron a seis estudios con roedores, en los cuales las madres fueron expuestas a ondas electromagnéticas como las utilizadas en distintos tipos de comunicaciones inalámbricas antes del nacimiento de sus crías, en los que no se encontró consistentemente ningún efecto de malformación, a niveles por debajo de los que ocasionan hipertermia.

4.3. Estudios con voluntarios

Estas investigaciones tienen la ventaja de que permiten evaluar a personas en condiciones controladas de exposición, durante periodos cortos de tiempo, lo que da resultados directos sobre efectos fisiológicos de la radiación electromagnética. Por razones éticas, generalmente se trabaja con personas saludables.

4.3.1. Revisión de la ICNIRP

Ellos hicieron mención de que la mayoría de los estudios que se habían realizado con voluntarios fueron con ondas electromagnéticas similares a las utilizadas en la telefonía celular. Dijeron que se han encontrado algunos efectos que se reflejan en encefalogramas de personas expuestas por un corto tiempo, pero que no se sabe si estos cambios podrían tener implicaciones funcionales.

Respecto de diversos síntomas que se han atribuido a la radiación electromagnética, tales como dolores de cabeza, comezón en la piel y fatiga, explicaron que estudios que se han llevado a cabo, en los cuales tanto los voluntarios como los evaluadores desconocen quiénes están expuestos y quiénes no lo están, sugieren que estos problemas no son ocasionados por estas ondas.

Acerca de estudios con niños o adolescentes, indicaron que no existe evidencia sólida respecto de efecto alguno debido a radiación similar a la de la telefonía celular. Mencionaron que los niños tienen un sistema termorregulador similar al de los adultos, aunque son más propensos a deshidratarse por causa de que tienen una razón mayor de área superficial en relación con el volumen corporal.

Indicaron que de acuerdo con su revisión, ni el sistema auditivo ni el de equilibrio son influenciados por la radiación electromagnética de la telefonía celular a corto plazo.

4.3.2. Monografía del grupo de trabajo de la IARC

Respecto de los estudios que revisaron, explicaron que los pequeños cambios en la actividad eléctrica en el cerebro, y que las posibles variaciones en el flujo sanguíneo regional cerebral podrían no tener ningún efecto funcional. También mencionaron que no se ha encontrado ningún efecto consistente en el desempeño cognitivo, aunque debido a las diferencias metodológicas es difícil comparar directamente los resultados.

4.3.3. Reporte del grupo consejero de la HPA

Este grupo indicó que los estudios recientes que investigaban la función cognitiva, en los que se habían utilizado metodologías rigurosas, no mostraban los mismos resultados positivos que estudios anteriores, lo cual favorece la conclusión de que la exposición a ondas electromagnéticas de la telefonía celular no tiene efectos agudos en las funciones cognitivas de los seres humanos.

En relación con los efectos mostrados en estudios sobre los electroencefalogramas en personas en reposo, así como durmiendo, consideraron que no son evidencia suficiente para indicar que haya un efecto en la función cerebral, pero que sí la sugieren, por lo que este debería continuar siendo un tema de estudio.

Respecto de posibles efectos en la salud de niños, mencionaron que los estudios llevados a cabo eran pocos y con muestras pequeñas, por lo que no se podía llegar a conclusiones firmes.

4.4. Estudios epidemiológicos

Estas investigaciones tienen como fin encontrar la distribución de enfermedades dentro de una población, así como los factores que la ocasionan.

Pueden dar una relación directa entre un agente y su efecto en la salud de las personas, por lo que se le da el mayor peso como evidencia, en comparación con los otros tipos de estudios. Tienen la desventaja de que pueden ser afectados por polarización y por agentes que generen confusión.

Un punto principal de investigación ha sido la posibilidad de que las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia pudieran ser cancerígenas.

El hecho de que algunos tipos de cáncer pueden tardar bastantes años en manifestarse, desde la exposición al agente que los ocasiona, y por tratarse de tecnologías relativamente recientes, hace necesario continuar monitoreando sus efectos respecto de este punto de estudio.

4.4.1. Revisión de la ICNIRP

En este documento se presentan dos evaluaciones de estudios epidemiológicos: el primero incluye la exposición ocupacional, ambiental y por el uso de teléfonos móviles; el segundo está dedicado a posibles riesgos de tumores con el uso de teléfonos móviles.

En la primera evaluación se llega a la conclusión de que los estudios epidemiológicos revisados no dan evidencia de que haya algún efecto adverso en la salud de las personas, ocasionado por la exposición a las ondas de radiofrecuencia, pero que debido a las deficiencias en los estudios no es posible descartar esa posibilidad.

Hacen énfasis en que un problema que es necesario corregir es la determinación de los niveles de exposición, por ejemplo utilizando un medidor personal. Mencionan el hecho de que no se había publicado ningún estudio aceptable que diera evidencia de efectos adversos ocasionados por estaciones base de la telefonía celular.

También hacen referencia al hecho de que la telefonía celular es una tecnología relativamente nueva, por lo que los estudios que habían revisado se consideran de corta duración, y que sería necesario continuar evaluando sus posibles efectos en la salud, tanto en los temas estudiados hasta ese momento, como cáncer en el cerebro, así como con respecto a otros más. Además, sugirieron que sería necesario estudiar los posibles efectos adversos para la salud de los niños en relación con el uso de la telefonía celular, ya que ellos van a estar expuestos a estos dispositivos durante periodos mayores que los adultos.

En la segunda evaluación, se enfocaron en cuatro tipos de tumores para los que había suficiente literatura: glioma, meningioma, neuroma acústico y de las glándulas salivales.

Acerca del glioma, informaron que la evidencia de los estudios no señalaba una relación entre el uso de los teléfonos celulares y este tipo de tumor, a pesar de algunas deficiencias y de discrepancias entre los estudios.

Hicieron la observación de que en el caso de la exposición a radiaciones ionizantes, ha habido un periodo de entre 5 y 20 años e incluso más tiempo para el diagnóstico.

Debido a que había pocos estudios que incluyeran usuarios con más de 10 años, es posible que si hubiera algún riesgo, todavía no se podría haber detectado.

En relación con los meningiomas, concluyeron que no había evidencia consistente de que aumente el riesgo de contraerlos entre los usuarios de teléfonos móviles, e hicieron la observación de que estos tumores pueden tardar hasta treinta años o aún más en manifestarse.

Respecto del neuroma acústico, informaron que al igual que con meningiomas pueden pasar años desde la exposición al agente que lo ocasione, para que pueda ser detectado. Indicaron que los estudios considerados indican que es poco probable que el uso de teléfonos móviles incremente significativamente el riesgo de contraer estos tumores, y que acerca de periodos de exposición, mayores a diez años, no sería posible llegar a ninguna conclusión.

Acerca de tumores en las glándulas salivales, concluyeron que los estudios revidados no dan evidencia consistente de que haya un aumento del riesgo de contraerlos con el uso de los teléfonos móviles.

También mencionaron que la información disponible no daba ninguna indicación acerca de posibles efectos cancerígenos en niños o adolescentes.

4.4.2. Monografía del grupo de trabajo de la IARC

Este grupo consideró que la mayor evidencia con respecto a una posible asociación entre el uso de teléfonos móviles y tumores en el cerebro la dan los estudios Interphone, y un análisis combinado de estudios acerca del uso de teléfonos celulares y teléfonos inalámbricos publicado en 2011 por investigadores suizos.

En relación con el glioma, en el estudio *Interphone* se muestra un aumento en el riesgo para usuarios con más de 1640 horas, y análisis posteriores muestran un posible aumento cuando el teléfono se tiene en el mismo lado que donde se encuentra el tumor, así como en el lóbulo temporal (el área del cerebro que está más expuesta a la radiación cuando el teléfono se sostiene cerca del oído).

En el estudio llevado a cabo en Suiza, se muestra un aumento progresivo en la probabilidad de riesgo con el incremento en el tiempo de uso de teléfonos celulares, y un incremento mayor cuando el teléfono se ha sostenido del mismo lado del tumor, con resultados similares para teléfonos inalámbricos.

Por el hecho de que en ambos estudios en general no se haya mostrado un aumento en la probabilidad de enfermar de meningioma, consideran que la polarización de la información existente en los estudios no podría explicar completamente estos resultados.

Llegaron a la conclusión de que podría haber una relación causal que explicara el aumento de riesgo encontrado. Respecto del neuroma acústico, se refirieron a varios estudios, entre los que había algunos que no encontraron ninguna asociación.

Notaron que la mayor evidencia provenía de las mismas fuentes que en el caso de glioma, pero que el número de personas diagnosticadas era significativamente menor. Mencionaron que el estudio suizo dio resultados similares a los de glioma. El estudio *Interphone*, en general, mostró una disminución en el riesgo, con un posible aumento para los usuarios con el mayor tiempo acumulado.

También se refirieron a un estudio japonés que mostraba un aumento en el riesgo con relación al uso del teléfono celular en el mismo lado del tumor. Concluyeron que la polarización no podría explicar por sí sola esos resultados positivos.

Acerca de meningioma, la mayor evidencia también se tomó de los dos estudios mencionados, en los cuales, en general, no se mostraba un incremento del riesgo.

Respecto de otros tipos de cáncer, explicaron que los estudios realizados o son insuficientes para llegar a conclusiones, o no muestran un incremento en el riesgo debido al uso de teléfonos móviles.

En general, concluyeron de que hay evidencia limitada en humanos respecto de que la radiación electromagnética de radiofrecuencia pueda ser cancerígena, basándose en las asociaciones positivas que se han encontrado entre el uso de teléfonos inalámbricos y glioma y neuroma acústico. Luego de analizar la evidencia de los distintos tipos de estudios, este grupo de trabajo llegó a la conclusión general de que la radiación electromagnética de radiofrecuencia es posible cancerígena para los humanos, y la colocaron en la categoría 2B, de acuerdo con el criterio utilizado por la IARC.

4.4.3. Reporte del grupo consejero de la HPA

Ellos concluyeron, que la evidencia de los estudios epidemiológicos no indica un aumento en el riesgo de contraer algún tumor en el cerebro ni de cualquier otro tipo de malignidad por el uso de teléfonos móviles. También informaron que los resultados favorecen la conclusión de que esa radiación electromagnética no podría causar cáncer, con un periodo de tiempo de diez años desde el primer uso, y con menos certeza de quince años, y que dan menos evidencia respecto de periodos mayores.

Hicieron la observación de que hay información limitada en relación con tumores en niños.

4.5. Estudio internacional *Interphone*

A finales de la década de los 90, se llevó a cabo una evaluación de estudios de los posibles efectos de la radiación electromagnética en la salud de las personas, y se recomendó realizar un estudio de posibles consecuencias adversas. Entre 1998 y 1999, la IARC llevó a cabo un estudio de la factibilidad de tal estudio y concluyó que sería posible llevar a cabo una investigación internacional respecto de de que el uso de los teléfonos móviles pudiera ocasionar tumores.

De acuerdo con eso, se inició el estudio *Interphone*, que estaba enfocado en encontrar la posible relación entre el uso de teléfonos móviles y cuatro tipos de tumores: dos en el cerebro (glioma y meningioma), uno en el nervio acústico, y el otro en la glándula parótida, que son las áreas más expuestas a la radiación electromagnética durante una llamada, cuando el teléfono se sostiene cerca del oído.

4.5.1. Datos del estudio

El estudio se llevó a cabo en los siguientes 13 países: Australia, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Israel, Italia, Japón, Nueva Zelandia, Noruega, Suiza y el Reino Unido, por un grupo de estudio que estaba compuesto por 21 científicos. La evaluación incluía a personas en edades de 30 a 59 años, de ciudades donde hubiera mayor posibilidad de que hubieran usado teléfonos celulares por mayor tiempo.

El tiempo de uso del teléfono se obtuvo por entrevista personal, o si no era posible porque la persona estuviera muy enferma o si hubiera fallecido, se hacían las preguntas a alguna persona que la representara. Los cuestionarios incluían temas como la exposición a radiación ionizante y el uso de tabaco.

Se consideraba que la exposición era del mismo lado del tumor, si el teléfono se mantenía del mismo lado del tumor, o si se usaba en ambos lados. En el análisis principal se incluyeron 2708 personas que tenían gliomas, las cuales se compararon con 2972 personas que no tenían esa enfermedad, y 2409 que tenían meningiomas que fueron comparadas con otras 2662 que no la tuvieran.

4.5.2. Resultados del estudio

Acercas del glioma, para personas que habían sido alguna vez usuarios regulares, encontraron que había una disminución en el riesgo, y no encontraron aumento para personas que tenían más de 10 años de haber usado un teléfono celular por primera vez. Las probabilidades eran menores a 1, para todos los niveles de número de llamadas. Respecto de las horas de uso, para las 9 categorías más bajas, el riesgo era menor que la unidad.

Respecto de las personas que dieron a conocer que habían usado el teléfono por más de 1640 horas, se encontró una razón de probabilidades de 1.4 %. Las probabilidades tendían a ser mayores cuando el teléfono se había usado en el mismo lado del tumor, y lo mismo se aplica a tumores en el lóbulo temporal, pero indicaron que estos datos se podrían deber a deficiencias en el estudio.

En relación con el meningioma, los resultados fueron similares, mostrando disminución del riesgo para personas que alguna vez fueron usuarios regulares, y con valores menores a 1 %, para tiempos desde el primer uso, mayores a 10 años, y también para todas las categorías de cantidades de llamadas. Mostraban una razón de probabilidades de 1.15% en el grupo que había usado por más tiempo el teléfono. De forma similar, mencionaban que las limitaciones del estudio impedían llegar a una conclusión de que esos resultados se debieran al uso de los teléfonos celulares.

CONCLUSIONES

1. El mecanismo de interacción universalmente aceptado por medio del cual las ondas de radiofrecuencia de la telefonía celular podrían ocasionar daños en la salud de las personas es, si produjeran el suficiente calentamiento por arriba de los niveles autorreguladores del cuerpo.
2. La capacidad termorreguladora del cuerpo disminuye con el uso de alcohol, drogas, y cuando la temperatura del ambiente ocasiona estrés.
3. Para las personas que no tienen acceso a las antenas de las estaciones base, los mayores niveles de exposición ocasionados por la telefonía celular se deben a los dispositivos móviles.
4. Los lineamientos de la ICNIRP, así como del IEEE, se basan en efectos de corto plazo, adversos a la salud, establecidos científicamente.
5. En algunos países se establecen límites con el fin de proteger de posibles efectos dañinos que aún no hayan sido comprobados.
6. El grupo de trabajo de la IARC clasificó los campos electromagnéticos de radiofrecuencia, incluyendo los emitidos por la telefonía móvil, como posibles cancerígenos, y los colocó en la categoría 2B de la IARC.
7. Ya que algunos tipos de tumores podrían tardar más años que los que tiene de existir la telefonía celular, actualmente, no es posible conocer sus efectos respecto de tales enfermedades.

8. Según el grupo consejero de la HPA, no se ha encontrado evidencia de efectos agudos adversos a la salud por debajo de los niveles de exposición recomendados por lineamientos internacionales y los estudios no señalan un aumento en el riesgo de tumores a largo plazo, hasta el tiempo de uso investigado.

9. No se han llevado a cabo suficientes estudios respecto de posibles efectos adversos en la salud de niños y adolescentes, por el uso de la telefonía celular.

RECOMENDACIONES

1. Asegurarse de que los teléfonos que se utilicen cumplan con normas que se hayan establecido para proteger la salud de las personas.
2. Es necesario que las personas que trabajan con los arreglos de antenas de estaciones base, verifiquen las normas a seguir para evitar daños por ocasionados calentamiento.
3. Se debe leer el manual del usuario del teléfono, para conocer las instrucciones en cuanto a los niveles de exposición.
4. Es conveniente ser prudente con el uso del teléfono, cuando existan condiciones que debiliten la capacidad termorreguladora del cuerpo.
5. En caso fuera práctico, como una medida de precaución, deben utilizarse dispositivos de manos libres para disminuir los niveles de radiación electromagnética que alcancen la cabeza.
6. Establecer en Guatemala normas que regulen los niveles de exposición de las personas a la radiación electromagnética proveniente de la telefonía celular, tanto para quienes estén expuestos por razón de su trabajo, como para el público en general.

BIBLIOGRAFÍA

1. BACH ANDERSEN, J. *Exposure aspects of W-CDMA*. Mogensen, P. [en línea]. <<http://kom.aau.dk/antprop/pub/expwcdma-rep.html>>. [Consulta: marzo de 2013].
2. BALZANO, Q. *Exposure metrics for RF epidemiology: cellular phone handsets*. USA : Radiation Protection Dosimetry, 1999. 346 p. Vol. 83.
3. BEARD, Brian B. *Review and standardization of cell phone exposure calculations using the SAM Phantom and anatomically correct head models* [en línea]. Biomedical Engineering Online, 2004, 3. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC526755/pdf/1475-925X-3-34.pdf>>. [Consulta: mayo de 2011].
4. CARDIS, Elisabeth. "*Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study*". [en línea] International Journal of Epidemiology, 2010. <http://www.oxfordjournals.org/our_journals/ije/press_releases/freepdf/dyq079.pdf>. [Consulta: julio de 2010].
5. CHALLIS, Lawrie. *Mobile telecommunications and health research programme*. United Kingdom: 2007, 64 p. ISBN 978-0-85951-601-3.

6. CLEVELAND, Robert F. *Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields*. 4th ed. USA: Office of Engineering and Technology Federal Communications Commission, 1999. 38 p.
7. COOPER, T. G. *Exposure of the general public to radio waves near microcell and picocell base stations for mobile telecommunications*. United Kingdom: National Radiological Protection Board, 2004. 152 p. ISBN 0-85951-543-5.
8. DE VRIENDT, Johan. "Mobile Network Evolution: a revolution on the move". *IEEE Communications Magazine*. [en línea]. <http://www.cse.fau.edu/~jie/teaching/fall_2004_files/wirelessurvey2.pdf>. [Consulta: marzo de 2013].
9. European Telecommunications Standards Institute (ETSI). *General Packet Radio Service*. [en línea]. <<http://www.etsi.org/index.php/technologiesclusters/technologies/mobile/gprs>>. [Consulta: marzo de 2013].
10. FOSTER, Kenneth R. *Exposure Limits for Radiofrequency Energy: Three Models* [en línea]. <http://www.who.int/peh-emf/meetings/day2Varna_Foster.pdf>. [Consulta: marzo de 2013].
11. GODARA, Lal Chand. *Handbook of Antennas in Wireless Communications*. USA: CRC Press LLC, 2002. 888 p. ISBN 0-8493-0124-6

12. HARDELL, Lennart. *Use of cellular telephones and brain tumour risk in urban and rural areas*. Occupational & Environmental Medicine. [en línea]. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1741035/pdf/v062p00390.pdf>>. [Consulta: febrero de 2013].
13. HARTE, Lawrence. *Introduction to Mobile Telephone Systems* 2nd ed. USA: Althos Publishing Inc., 2006. 92 p. ISBN: 1-932813-93-4.
14. Health Protection Agency. *Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields, Report of the independent Advisory Group on Non-ionising Radiation*. England : HPA, 2012, 348 p. ISBN 978-0-85951-714-0.
15. Institute of Electrical and Electronics Engineers. *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*. USA: 2006, 250 p. ISBN 0-7381-4835-0 SS95389
16. International Agency for Research on Cancer. *Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*, v. 102. France : WHO Press, 2013, 480 p. ISBN 978-92-832-1325-3.
17. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz – 300 GHz)*. Germany: ICNIRP, 2009, 392 p. ISBN 978-3-934994-10-2.

18. _____. *ICNIRP statement on the “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”*. *Health Physics* [en línea]. <<http://icnirp.de/documents/StatementEMF.pdf>>. [Consulta: marzo de 2013].
19. _____. *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. [en línea]. <www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>. [Consulta: abril de 2013].
20. _____. *Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters*. *Health Physics* [en línea]. Abril, 1996. <<http://www.icnirp.de/documents/radiotelephones.pdf>>. [Consulta: noviembre de 2012].
21. _____. *Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz)*. [en línea]. <<http://icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf>>. [Consulta: marzo de 2013].
22. International Telecommunications Union. *Report ITU-R M.2039*. [en línea]. <http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2039-2004-PDF-E.pdf>. [Consulta: marzo de 2013].
23. _____. *What really is a third generation (3G) Mobile Technology?* [en línea]. <http://www.itu.int/ITU-T/tech/FORMER_PAGE_IMT2000/Document_sIMT2000/What_really_3G.pdf>. [Consulta: marzo de 2013].

24. KELSH, Michael A. "Measured radiofrequency exposure during various mobile phone scenarios". *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 2011. [en línea]. <<http://www.nature.com/jes/journal/v21/n4/full/jes201012a.html>>. [Consulta: julio de 2011].
25. LARSSON, Gwenn. *Evolución de cdmaOne a sistemas de tercera generación*. [en línea]. Ericsson, 2000. <http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2000_02/files/es2000021.pdf>. [Consulta: marzo de 2013].
26. MANN, S. M. *Exposure to radio waves near mobile phone base stations*. Chilton, United Kingdom: National Radiological Protection Board, 2000. 55 p. ISBN 0-85951-455-2.
27. MOULDER, J. E. *Cell phones and cancer: what is the evidence for a connection?* USA: Radiation Research, 1999. 756 p.
28. STAM, Rianne. *Comparison of international policies on electromagnetic fields (power frequency and radiofrequency fields)*. [en línea]. National Institute for Public Health and the Environment, 2011. <http://ec.europa.eu/health/electromagnetic_fields/docs/emf_comparison_policies_en.pdf>. [Consulta: mayo de 2013].
29. TERPLAN, Kornel. *The Telecommunications Handbook*. USA: CRC Press LLC, 2000, 412 p. ISBN 0-8493-3137-4.

30. World Health Organization. *Base stations and wireless networks: exposures and health consequences. Proceedings international workshop on base stations and wireless networks: exposures and health consequences Switzerland, Geneva June 15-16, 2005* [en línea]. Italy: WHO Press, 2007, 177p. ISBN 978-92-4-159561-2

31. _____. *Environmental Health Criteria 137. Electromagnetic fields (300 Hz-300 GHz)* [en línea]. Switzerland: World Health Organization, 1993. <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc137.htm>> [Consulta: junio de 2010].

32. _____. *Extremely low frequency fields. Environmental Health Criteria 238*. Spain: WHO Press, 2007, 543 p. ISBN 978-92-4-157238-5

33. _____. *Framework for developing Health-based EMF Standards*. Switzerland: World Health Organization, 2006. [en línea]. <http://www.who.int/pehemf/standards/EMF_standards_framework%5b1%5d.pdf>. [Consulta: abril de 2013].