

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

KATHERINE ROJAS MONSALVO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2009

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

KATHERINE ROJAS MONSALVO

Director:

Ing. ALEX A. MONCLOU SALCEDO, M.S.c

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2009



NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo titulado Radiación Electromagnética presentado por Katherine Rojas Monsalvo, como parte de la Monografía para optar al título de Especialista en Telecomunicaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, fue aprobado por el Jurado Calificador y en constancia firman:

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, abril 24 de 2009

CONTENIDO

	Pág
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	8
ACRÓNIMOS.....	9
RESUMEN.....	10
SUMMARY.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	13
1.1 ELECTRODINÁMICA.....	13
1.2 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	13
1.2.1 Características de una onda electromagnética.....	14
1.2.2 Espectro electromagnético.....	16
1.2.3 Ecuaciones de Maxwell.....	19
1.3 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	21
2. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	23
2.1 ¿CÓMO LIBERA RADIACIÓN UN ELECTRÓN?.....	23
2.2 RADIACIÓN NO IONIZANTES (RNI) Y RADIACIÓN IONIZANTE.....	25
2.3 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FRECUENCIAS BAJAS.....	26
2.4 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FRECUENCIAS INTERMEDIAS.....	26
2.5 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FRECUENCIAS ALTAS.....	26
3. EFECTOS BIOLÓGICOS Y/O EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LAS RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS.....	28

3.1 ESTUDIOS SOBRE LOS EFECTOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	29
3.1.1 Proyecto Internacional CEM.....	29
3.2 NIVELES DE EXPOSICIÓN TÍPICOS EN DIVERSOS MEDIOS.....	33
3.2.1 Campos electromagnéticos producidos por instalaciones de transmisión y distribución de electricidad.....	34
3.2.2 Aparatos eléctricos en el hogar.....	34
3.2.3 Campos electromagnéticos en el medio ambiente.....	37
4. LÍMITES DE EXPOSICIÓN.....	40
4.1 ESTÁNDAR IEEE.....	43
4.2 ICNIRP.....	52
4.3 PAUTAS DE LA FCC.....	60
4.4 SAFETY CODE 6.....	62
5. LEGISLACIÓN EN COLOMBIA SOBRE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	65
6. CONCLUSIONES.....	67
7. BIBLIOGRAFÍA.....	68
8. ANEXOS.....	71
8.1 GLOSARIO.....	71

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Espectro electromagnético.....	17
Tabla 2. Subtipos de rayos ultravioleta.....	19
Tabla 3. Ecuaciones de Maxwell.....	20
Tabla 4. Velocidad de la luz en el vacío, permitividad y permeabilidad magnética.....	21
Tabla 5. Características de los campos eléctricos y magnéticos.....	22
Tabla 6. Radiofrecuencias.....	27
Tabla 7. Intensidades de campo eléctrico típicas medidas cerca de electrodomésticos (a una distancia de 30 cm).....	35
Tabla 8. Densidades de flujo magnético típicas de algunos electrodomésticos a diversas distancias.....	35
Tabla 9. Niveles de exposición típicos en el hogar y en el medio ambiente.....	39
Tabla 10. Normas de radiación electromagnética.....	42
Tabla 11. Límites máximos de exposición permitidos a campos electromagnéticos para ambientes controlados.....	44
Tabla 12. Corrientes de RF inducidas y de contacto para ambientes Controlados.....	44
Tabla 13. Límite máximo permitido a campos electromagnéticos para ambientes no controlados.....	46
Tabla 14. Corrientes de RF inducidas y de contacto para ambientes no controlados.....	47
Tabla 15. Relajación de los límites para exposición corporal parcial.....	51
Tabla 16. Restricciones básicas para campos eléctricos y magnéticos dependientes del tiempo para frecuencias hasta 10GHz.....	53
Tabla 17. Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos EM dependientes del tiempo (Valores rms sin perturbación).....	55

Tabla 18. Niveles de referencia para exposición del público general a campos EM dependientes del tiempo (Valores rms sin perturbación).....	56
Tabla 19. Niveles de referencia para corrientes de contacto variables producidas por objetos conductores.....	57
Tabla 20. Niveles de referencia para la corriente inducida en cualquier extremidad a frecuencias entre 10 MHz y 110 MHz.....	57
Tabla 21. Resumen de los límites de exposición recomendados por la ICNIRP.....	58
Tabla 22. Mecanismos relevantes de interacción, efectos adversos, cantidades físicas biológicamente efectivas y niveles de referencia usados en diferentes zonas del espectro electromagnético.....	59
Tabla 23. Límites para exposición ocupacional / exposición controlada.....	60
Tabla 24. Límites para exposición a la población general / exposición no controlada.....	61
Tabla 25. Límites de exposición para trabajadores expuestos (incluyendo personas expuestas ocupacionalmente).....	62
Tabla 26. Límites de tasa de absorción específica (SAR).....	63
Tabla 27. SAR límite para personas no clasificadas como trabajadores expuestos.....	63
Tabla 28. Corrientes de contacto e inducidas - límite para personas no clasificadas como trabajadores expuestos.....	63
Tabla 29. Corrientes de contacto e inducidas límite para trabajadores expuestos.....	64
Tabla 30. Límites de exposición para personas no clasificadas como trabajadores expuestos (incluyendo el público general).....	64
Tabla 31. Límites máximos de exposición en Colombia.....	66

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Onda electromagnética.....	13
Figura 2. Características de una onda electromagnética.....	14
Figura 3. Espectro electromagnético.....	16
Figura 4. Luz visible.....	18
Figura 5. Inducción magnética por medio de una corriente eléctrica.....	21
Figura 6. Campo eléctrico y campo magnético.....	22
Figura 7. Radiación electromagnética.....	23
Figura 8. Modelo atómico de Böhr.....	24

ACRÓNIMOS

ANSI: AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE

CEM: CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS O CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

ELF ó FEB: FRECUENCIAS EXTREMADAMENTE BAJAS

EM: ELECTROMAGNÉTICA

EMC: COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

FCC: FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION

ICNIRP: COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN NO IONIZANTE

IEEE: INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS

IF: FRECUENCIAS INTERMEDIAS

MPE: MÁXIMA EXPOSICIÓN PERMITIDA

NIEHS: NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCES

OMS: ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

RF: RADIOFRECUENCIA

RNI: RADIACIÓN NO-IONIZANTE

SAR: TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA

RESUMEN

TÍTULO: RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA
AUTOR(ES): KATHERINE ROJAS MONSALVO
FACULTAD: ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR(A): ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

RESUMEN

Con el incremento de usuarios de sistemas de telecomunicaciones y los avances en tecnologías que necesariamente generan y transmiten energía, los seres humanos están expuestos a un mayor número de fuentes de radiación electromagnética. Las inquietudes que surgen cuando se tratan de comprender los efectos potencialmente perjudiciales de los campos electromagnéticos que estas radiaciones ocasionan, han motivado a diversas organizaciones a adelantar investigaciones al respecto, las cuales se han convertido en la base del desarrollo de los estándares o recomendaciones sobre límites de exposición a las fuentes de campos electromagnéticos. Actualmente, los gobiernos de diversos países han mostrado interés por adoptar normas que regulen la exposición de las personas a este tipo de radiación proveniente, principalmente, de equipos de telecomunicaciones. Como resultado, se han expedido leyes sobre este tema. El objetivo de esta monografía es el de realizar una recopilación y síntesis teórica sobre los estudios, normas y recomendaciones actuales relacionadas con los límites de exposición de los seres humanos a radiaciones electromagnéticas ya que para un profesional en el área de las telecomunicaciones es importante conocer cómo se producen, qué efectos causan a nivel celular y somático así como la manera de protegerse de posibles riesgos por exposición a ellos.

PALABRAS CLAVES: Campo eléctrico, Campo magnético, Campo electromagnético, Exposición, Radiación, Regulación, Riesgo

SUMMARY

TITLE: ELECTROMAGNETIC RADIATIONS
AUTHOR(S): KATHERINE ROJAS MONSALVO
FACULTY: ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR: ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO

ABSTRACT

With the increment of telecommunications systems users and the evolution in technologies that need generate and transmit energy, humans are exposed to more sources of electromagnetic radiation. The concerns that appear trying to understand the potentially harmful effects of electromagnetic fields caused by these radiations, have prompted several organizations to develop researches in this area, which have become the basis for recommendations or standards about exposure limits to sources of electromagnetic fields. Currently, governments of many countries have shown interest in adopting rules governing the exposure to these radiations coming, mainly, from telecommunication equipments. As a result, laws have been issued on this subject. The aim of this paper is to make a compilation and theoretical synthesis about studies, rules and recommendations related to the current limits of human exposure to electromagnetic radiation because for a professional in the area of telecommunications is important to know how occur, effects at cellular and somatic level, as well as how to protect themselves from possible risks from exposure to them.

KEY WORDS: Electric field, Magnetic field, Electromagnetic field, Exposure, Radiation, Regulation, Risk

INTRODUCCIÓN

Con el incremento de usuarios de sistemas de telecomunicaciones y los avances en tecnologías que necesariamente generan y transmiten energía, los seres humanos están cada vez más expuestos a diversos campos electromagnéticos (CEM). Las inquietudes que surgen cuando se trata de comprender los efectos potencialmente perjudiciales de los CEM sobre la salud de las personas, han originado que diversas organizaciones adelanten investigaciones, las cuales se han convertido en la base del desarrollo de los estándares o recomendaciones sobre límites de exposición a las fuentes de CEM en diversos países.

En el mundo ha surgido un profundo interés por la investigación de los efectos de las radiaciones electromagnéticas en los seres vivos y esos estudios han llevado a diversas organizaciones a emitir comunicados en los que se hacen recomendaciones sobre los niveles máximos permitidos de exposición a los CEM para los seres humanos, lo cual ha conseguido que los países adopten medidas preventivas para la gestión de los riesgos a la salud frente a la incertidumbre científica sobre este aspecto.

Por ser la radiación electromagnética parte fundamental en el campo de las Telecomunicaciones, todos los profesionales en esta área deben conocer cómo se producen, qué efectos causan a nivel celular y somático así como la manera de protegerse de posibles riesgos por exposición a ellos.

Con este trabajo de investigación se espera explicar qué son las radiaciones electromagnéticas, cómo se originan, los tipos de radiaciones que existen en el universo y cómo se diferencian en cuanto a su poder de ionización al interactuar con la materia.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 ELECTRODINÁMICA

La electrodinámica es el estudio teórico de la radiación electromagnética. Es la rama del electromagnetismo que trata de la evolución temporal en sistemas donde interactúan campos eléctricos y magnéticos con cargas en movimiento.

1.2 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las ondas electromagnéticas son producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica; estas ondas tienen componentes eléctricas y magnéticas y sus aspectos teóricos están relacionados con la solución en forma de onda que admiten las ecuaciones de Maxwell.

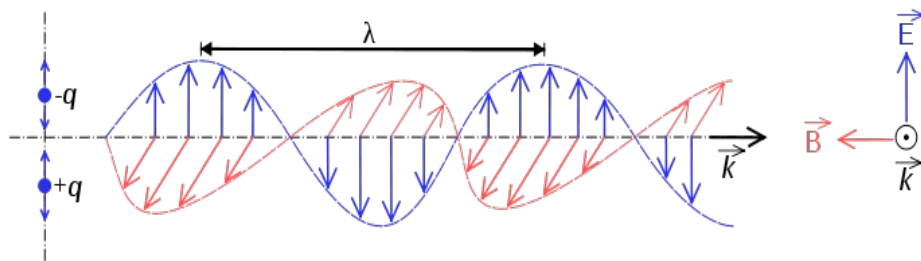


Figura 1. Onda electromagnética

La onda electromagnética es la forma con la que la energía (radiación electromagnética) se propaga por el espacio gracias a que los electrones las liberan bajo ciertas condiciones; gracias a esto son posibles tecnologías con las que se puede enviar información a través del espacio como Bluetooth, WiFi, AM, FM, entre otras.

A diferencia de las ondas mecánicas, las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse y se desplazan en el vacío aproximadamente a una velocidad $c = 300.000 \text{ km/s}$. Todas las radiaciones del espectro electromagnético presentan las propiedades típicas del movimiento ondulatorio, como la difracción y la interferencia. Las longitudes de onda van desde billonésimas de metro hasta muchos kilómetros. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $\lambda \cdot f = c$, son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características.

1.2.1 Características de una onda electromagnética

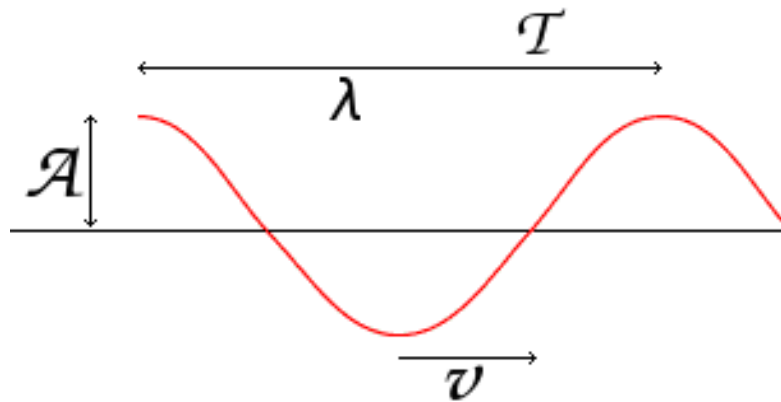


Figura 2. Características de una onda electromagnética

- **Amplitud (A)**

Es la medida de la magnitud de la máxima perturbación del medio producida por la onda. La amplitud define la potencia de la onda.

- **Longitud de onda (λ)**

La longitud de onda es la distancia entre los puntos inicial y final de un ciclo mientras la onda viaja en un determinado medio.

$$\lambda = c / f$$

- **Frecuencia (f)**

Número de ciclos por unidad de tiempo.

$$f = c / \lambda$$

- **Período (T)**

Tiempo que tarda la onda en completar un ciclo completa.

$$T = 1 / f$$

- **Velocidad (v)**

Las ondas se desplazan a una velocidad que depende de la naturaleza de la onda y del medio por el cual se mueven. En el caso de la luz, por ejemplo, la velocidad en el vacío se denota con la letra c y es de 299.792.458 m/s (aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s).

$$v = \lambda * f$$

- **Polarización**

Una onda EM puede ser polarizada de manera lineal, circular o elíptica. Una onda polarizada linealmente tiene un campo eléctrico cuya orientación es constante en todo su recorrido. La orientación del campo eléctrico en el espacio, es una propiedad importante de las ondas EM porque determina la absorción de la onda en los cuerpos biológicos.

- **Energía**

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

$$S = E \times H$$

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

- **Campo cercano y campo lejano**

El campo de radiación de una fuente que emite ondas EM, se divide en dos regiones: campo lejano y campo cercano. La región del espacio donde la onda radiada se comporta como una onda plana se define como campo lejano. La región del espacio contenida entre la fuente y el campo lejano es llamada campo cercano. En el campo cercano los campos eléctricos y magnéticos no necesariamente son perpendiculares y por lo tanto no se comportan como ondas planas.

1.2.2 Espectro electromagnético

Para clasificar los diferentes tipos de ondas electromagnéticas se usa el espectro electromagnético.

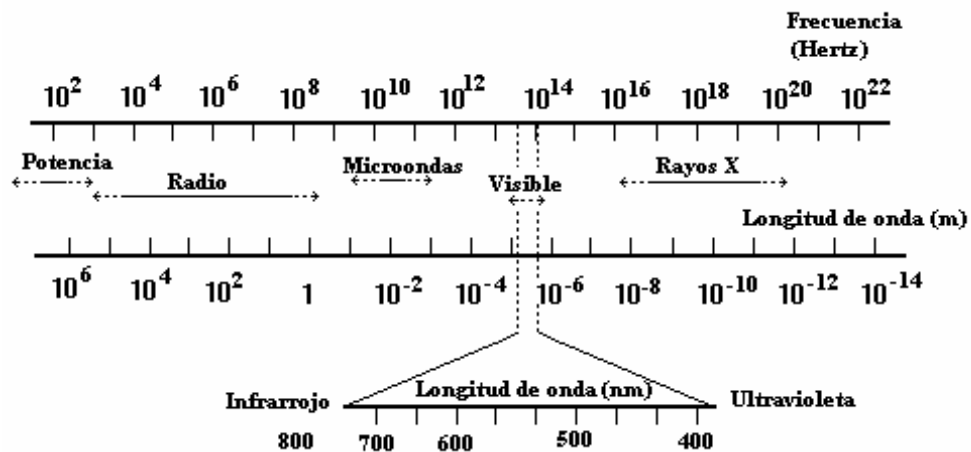


Figura 3. Espectro electromagnético

Todas estas componentes difieren entre si solamente por la frecuencia de las mismas (y por consiguiente en su longitud de onda) y se propagan con la misma velocidad (c) en el espacio libre. Por ejemplo, el espectro visible abarca aproximadamente frecuencias comprendidas entre $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz (aproximadamente 750.000 Ghz) que corresponden al

color violeta, hasta unos $4,28 \cdot 10^{14}$ Hz, que corresponden al color rojo. Estos valores numéricos son extremadamente elevados y por ello resulta más práctico usar su longitud de onda en el vacío (es decir tomando como velocidad de propagación $3 \cdot 10^8$ m/s). Así la luz de color rojo tiene una longitud de onda de 700 nm y la violeta 400 nm.

Tabla 1. Espectro electromagnético

Banda	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Rayos gamma	< 10 pm	> 30,0 EHz	> $20 \cdot 10^{-15}$ J
Rayos X	< 10 nm	> 30,0 PHz	> $20 \cdot 10^{-18}$ J
Ultravioleta extremo	< 200 nm	> 1,5 PHz	> $993 \cdot 10^{-21}$ J
Ultravioleta cercano	< 380 nm	> 789 THz	> $523 \cdot 10^{-21}$ J
Luz Visible	< 780 nm	> 384 THz	> $255 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo cercano	< 2,5 μ m	> 120 THz	> $79 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo medio	< 50 μ m	> 6,00 THz	> $4 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo lejano/submilimétrico	< 1 mm	> 300 GHz	> $200 \cdot 10^{-24}$ J
Microondas	< 30 cm	> 1 GHz	> $2 \cdot 10^{-24}$ J
Ultra Alta Frecuencia - Radio	< 1 m	> 300 MHz	> $19.8 \cdot 10^{-26}$ J
Muy Alta Frecuencia - Radio	< 10 m	> 30 MHz	> $19.8 \cdot 10^{-28}$ J
Onda Corta – Radio	< 180 m	> 1,7 MHz	> $11.22 \cdot 10^{-28}$ J
Onda Media – Radio	< 650 m	> 650 kHz	> $42.9 \cdot 10^{-29}$ J
Onda Larga – Radio	< 10 km	> 30 kHz	> $19.8 \cdot 10^{-30}$ J
Muy Baja Frecuencia – Radio	> 10 km	< 30 kHz	< $19.8 \cdot 10^{-30}$ J

- Ondas de radio: son el resultado de cargas que se aceleran a través de alambres de conducción. Son generadas por dispositivos electrónicos, como los osciladores LC, y se usan en sistemas de comunicación de radio y televisión.
- Microondas: tienen longitudes de onda que varían entre aproximadamente 1 mm y 30 cm y son generadas también por dispositivos electrónicos. Debido a su corta longitud de onda, son bastante adecuadas en los sistemas de radar utilizados en la navegación aérea.

- Ondas infrarrojas: tienen longitudes de onda que varían aproximadamente de 1 mm hasta la longitud de onda más larga de luz visible, $7 \cdot 10^{-7}$ m. Estas ondas son producidas por cuerpos calientes y moléculas, son absorbidas rápidamente por la mayor parte de los materiales.

Los infrarrojos se pueden clasificar en:

- infrarrojo cercano (0,78-1,1 μm)
- infrarrojo medio (1,1-15 μm)
- infrarrojo lejano (15-100 μm)

Un uso común es el que hacen los comandos a distancia que generalmente utilizan los infrarrojos y no las ondas de radio ya que no interfieren con otras señales como las señales de televisión.

Los infrarrojos también se utilizan para comunicar a corta distancia los computadores con sus periféricos. Los aparatos que utilizan este tipo de comunicación cumplen generalmente un estándar publicado por *Infrared Data Association*.

- Luz visible: es la parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede detectar. Las diversas longitudes de luz visible se clasifican con colores que van desde el violeta ($4 \cdot 10^{-7}$ m) al rojo ($7 \cdot 10^{-7}$ m).



Figura 4. Luz visible

- Luz ultravioleta: comprende longitudes de onda que varían de aproximadamente 380 nm a 60 nm.

Este tipo de onda no se usa en las telecomunicaciones; sus aplicaciones son frecuentes en el campo de la medicina.

Según su longitud de onda, se distinguen varios subtipos de rayos ultravioleta:

Tabla 2. Subtipos de rayos ultravioleta

Nombre	Abreviación	Longitud de onda (nm)	Energía por fotón (eV)
Ultravioleta cercano	NUV	400 – 200	3,10 – 6,20
Onda larga	UVA	400 – 320	3,10 – 3,87
Onda media	UVB	320 – 280	3,87 – 4,43
Onda corta	UVC	280 – 200	4,43 – 6,20
Ultravioleta lejano	FUV, VUV	200 – 10	6,20 – 124
Ultravioleta extremo	EUV, XUV	31 – 1	40 – 1240

- Rayos X: son ondas electromagnéticas con longitudes de onda en el intervalo de aproximadamente 10^{-8} nm a 10^{-10} nm. La fuente común de rayos X es la desaceleración de electrones de alta energía que bombardean a un blanco metálico.
- Rayos gamma: son ondas electromagnéticas emitidas por núcleos radiactivos y durante ciertas reacciones nucleares. Tienen longitudes de onda que van aproximadamente de 10^{-10} m a menos 10^{-14} m. Son altamente penetrantes y producen serios daños cuando son absorbidos por tejidos vivos

1.2.3 Ecuaciones de Maxwell

Las ecuaciones de Maxwell son un conjunto de cuatro ecuaciones que describen por completo los fenómenos electromagnéticos. La contribución de James Clerk Maxwell fue reunir en estas ecuaciones los resultados experimentales de Coulomb, Gauss, Ampère y Faraday, entre otros, introduciendo los conceptos de campo y corriente de desplazamiento y unificando los campos eléctricos y magnéticos en un solo concepto: el campo electromagnético.

Tabla 3. Ecuaciones de Maxwell

Nombre	Forma diferencial	Forma integral
Ley de Gauss	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$
Ley de Gauss para el campo magnético	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$
Ley de Faraday	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$
Ley de Ampère generalizada	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{j} \cdot \vec{n} \cdot ds + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot \vec{n} \cdot ds$

Estas cuatro ecuaciones junto con la fuerza de Lorentz son las que explican cualquier tipo de fenómeno electromagnético. Maxwell descubrió también que la cantidad c era simplemente la velocidad de la luz en el vacío, por lo que la luz es una forma de radiación electromagnética.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Los valores aceptados actualmente para la velocidad de la luz, la permitividad y la permeabilidad magnética se resumen en la tabla 4:

Tabla 4. Velocidad de la luz en el vacío, permitividad y permeabilidad magnética

Símbolo	Nombre	Valor numérico	Unidad de medida SI
c	Velocidad de la luz en el vacío	2.998×10^8	metros por segundo
ϵ_0	Permitividad	8.854×10^{-12}	faradios por metro
μ_0	Permeabilidad magnética	$4\pi \times 10^{-7}$	henrios por metro

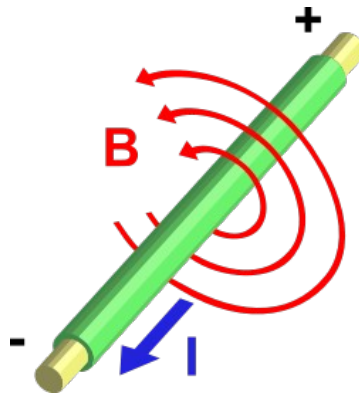


Figura 5. Inducción magnética por medio de una corriente eléctrica

1.3 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Los campos electromagnéticos son una combinación de campos de fuerza eléctricos y magnéticos. Se generan por fenómenos naturales, pero también por actividades humanas, principalmente por el uso de la electricidad. Algunos de estos campos electromagnéticos generados por el hombre son las radiofrecuencias (RF) que utilizan los teléfonos móviles, las frecuencias intermedias (IF) como las que generan las pantallas de ordenador o las frecuencias extremadamente bajas (ELF) como las que generan las líneas eléctricas.

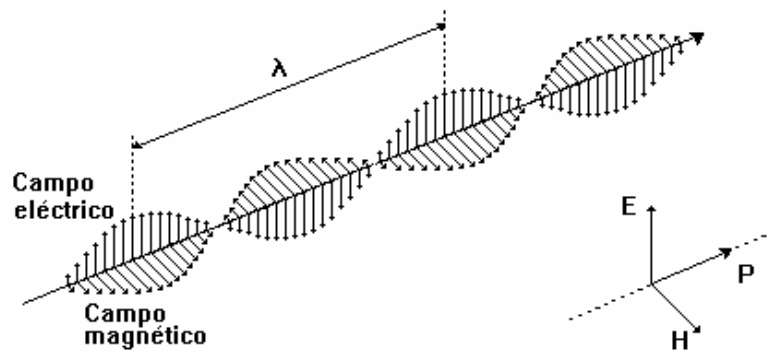


Figura 6. Campo eléctrico y campo magnético

A continuación se describen algunas características de los campos eléctricos y magnéticos.

Tabla 5. Características de los campos eléctricos y magnéticos

Campos eléctricos	Campos magnéticos
<ul style="list-style-type: none"> • La fuente de los campos eléctricos es la tensión eléctrica. • Su intensidad se mide en voltios por metro (V/m). • Puede existir un campo eléctrico incluso cuando el aparato eléctrico no está en marcha. • La intensidad del campo disminuye conforme aumenta la distancia desde la fuente. • La mayoría de los materiales de construcción protegen en cierta medida de los campos eléctricos. 	<ul style="list-style-type: none"> • La fuente de los campos magnéticos es la corriente eléctrica. • Su intensidad se mide en amperios por metro (A/m). Habitualmente, los investigadores de CEM utilizan una magnitud relacionada, la densidad de flujo (microteslas (μT) o militeslas (mT)). • Los campos magnéticos se originan cuando se pone en marcha un aparato eléctrico y fluye la corriente. • La intensidad del campo disminuye conforme aumenta la distancia desde la fuente. • La mayoría de los materiales no atenúan los campos magnéticos.

El término campo electromagnético (CEM) se usa para determinar la presencia de radiación electromagnética.

2. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Consiste de ondas eléctricas y magnéticas moviéndose a través del espacio a la velocidad de la luz. Las ondas electromagnéticas tienen componentes eléctricas y magnéticas.

Las diferentes formas de radiación electromagnética son clasificadas por sus frecuencias:

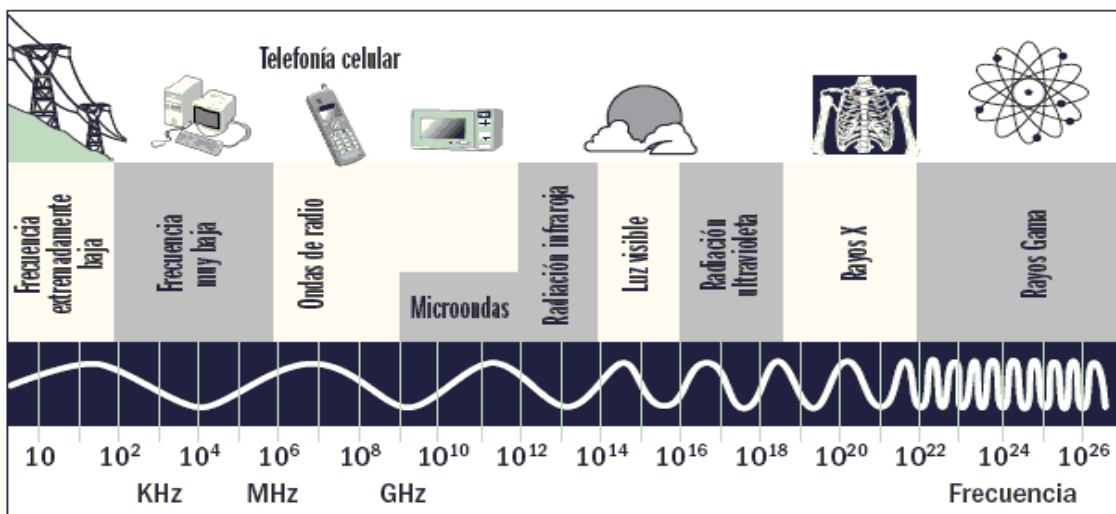


Figura 7. Radiación electromagnética

Por lo tanto, el comportamiento de las radiaciones electromagnéticas depende de su longitud de onda.

2.1 ¿CÓMO LIBERA RADIACIÓN UN ELECTRÓN?

Por medio del modelo atómico que Niels Böhr publicó en 1913 se puede explicar este fenómeno.

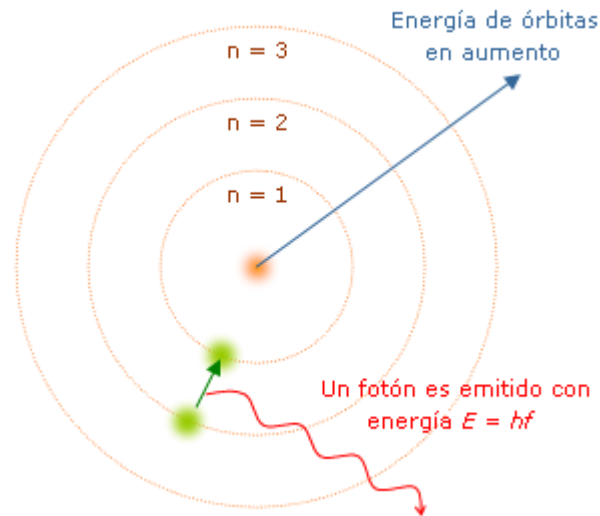


Figura 8. Modelo atómico de Bohr

En la figura 8 vemos un átomo formado por un núcleo y en este caso tres órbitas con electrones. A la primera órbita le corresponde el número cuántico principal $n = 1$, a la segunda órbita $n = 2$ y la tercera órbita $n = 3$; las órbitas adquieren un número cuántico principal que corresponde a su orden.

Si aplicamos cierto voltaje al electrón que está en el primer orbital, éste se excitará adquiriendo energía y se elevará al siguiente orbital; debido a la gran inestabilidad que posee el electrón en una orbital que no le corresponde, dicho electrón volverá a su orbital original, liberando la energía sobrante en forma de fotones; son esos fotones los que se envían y reciben en una comunicación inalámbrica. La energía de éstos se mide multiplicando la constante de Planck ($h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$) por la frecuencia de la onda generada, $E = h \cdot f$. En este caso, frecuencia se refiere al número de veces que el fotón cambia de positivo a negativo en un segundo.

Si se busca lograr una comunicación entre dos dispositivos (emisores y receptores) lejanos, es necesario aplicar una cantidad de voltaje a los electrones acorde con la distancia que se desee cubrir, así como usar diferentes tipos de átomos para conseguir diferentes valores de λ . Una emisión con una longitud de onda larga cubrirá distancias mayores que una onda corta, aunque la larga presenta mayores pérdidas.

Número cuántico principal (n): 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Número cuántico del momento angular (l): (n-1)s, (n-1)p, (n-1)d, (n-1)f, (n-1)g

Número cuántico magnético (m_l): $0 \leq l \leq n - 1$

Número cuántico de espín (m_s): $-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$

2.2 RADIACIÓN NO IONIZANTES (RNI) Y RADIACIÓN IONIZANTE

Los campos electromagnéticos transportan energía, es decir, emiten radiación que puede ser de dos tipos de acuerdo a su frecuencia: ionizante o no ionizante.

Las ondas electromagnéticas son transportadas por partículas llamadas cuantos de luz. Los cuantos de luz de ondas con frecuencias altas (longitudes de onda cortas) transportan mayor cantidad de energía que los de las ondas de menor frecuencia (longitudes de onda más largas). Algunas ondas electromagnéticas transportan tanta energía por cuanto de luz que son capaces de romper los enlaces entre las moléculas. De las radiaciones que componen el espectro electromagnético, los rayos gamma que emiten los materiales radioactivos, los rayos cósmicos y los rayos X tienen esta capacidad y se conocen como radiación ionizante.

Las radiaciones compuestas por cuantos de luz sin energía suficiente para romper los enlaces moleculares se conocen como radiación no ionizante. Las fuentes de campos electromagnéticos generadas por el hombre que constituyen una parte fundamental de las sociedades industriales (electricidad, microondas y campos de radiofrecuencia) están en el extremo del espectro electromagnético correspondiente a longitudes de onda relativamente largas y frecuencias bajas y sus cuantos no son capaces de romper enlaces químicos.

2.3 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FRECUENCIAS BAJAS

Los campos electromagnéticos variables en el tiempo que producen los aparatos eléctricos son un ejemplo de campos de frecuencia extremadamente baja (FEB, o ELF, en inglés), con frecuencias generalmente de hasta 300 Hz. Las principales fuentes de campos de FEB son la red de suministro eléctrico y todos los aparatos eléctricos. Estos campos inducen corrientes en el organismo que, dependiendo de su amplitud y frecuencia, pueden producir diversos efectos como calentamiento y sacudidas eléctricas, no obstante, para producir estos efectos, los campos exteriores al organismo deben ser muy intensos, mucho más que los presentes habitualmente en el medio.

2.4 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FRECUENCIAS INTERMEDIAS

Existen tecnologías que producen campos de frecuencia intermedia (FI), con frecuencias de 300 Hz a 10 MHz, como las pantallas de los computadores, los sistemas de seguridad, radionavegación y radio AM

2.5 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FRECUENCIAS ALTAS

Estos campos se utilizan para transmitir información a distancias largas y son la base de las telecomunicaciones, así como de la difusión de radio y televisión en todo el mundo.

Las fuentes habituales de campos electromagnéticos de radiofrecuencia son las telecomunicaciones (teléfonos móviles, la televisión), las antenas de radiodifusión FM, radares y microondas.

Las microondas son campos de RF de frecuencias altas, del orden de GHz.

Tabla 6. Radiofrecuencias

Rango de frecuencias	Banda	Descripción	Tipo de servicios
30-300kHz	LF	Baja frecuencia	Radio de onda larga y transmisores de LF
300-3000kHz	MF	Frecuencias medias	Radio AM, radio navegación
3-30 MHz	HF	Alta frecuencia	Radio CB, aficionados, comunicaciones de radio HF
30-300 MHz	VHF	Muy altas frecuencias	Radio FM, TV VHF, servicios de emergencia, aficionados
300-3000MHz	UHF	Ultra altas frecuencias	TV UHF, teléfonos celulares, aficionados
3-30 GHz	SHF	Super altas frecuencias	Micro-ondas, comunicaciones satelitales, radar, micro-ondas punto a punto
30-300 GHz	EHF	Extremadamente altas frecuencias	Radar, radio astronomía, enlaces micro-ondas cortos

3. EFECTOS BIOLÓGICOS Y/O EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LAS RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

Todos los seres vivos se encuentran diariamente expuestos a una combinación compleja de campos eléctricos y magnéticos que van desde los que producen los electrodomésticos comunes hasta los que provienen de las telecomunicaciones como la difusión de radio y televisión.

De la misma manera, en el organismo se producen corrientes eléctricas minúsculas debidas a las reacciones químicas de las funciones corporales normales, como por ejemplo, los nervios que emiten señales mediante la transmisión de impulsos eléctricos o el corazón que presenta actividad eléctrica que los médicos pueden detectar mediante los electrocardiogramas. En la mayoría de las reacciones bioquímicas se produce una reorganización de partículas cargadas.

Cuando los campos eléctricos actúan sobre materiales conductores, afectan la distribución de las cargas eléctricas en la superficie provocando una corriente que atraviesa el organismo hasta el suelo. Por otra parte, los campos magnéticos de frecuencia baja inducen corrientes circulantes en el organismo. La intensidad de estas corrientes depende de la intensidad del campo magnético exterior y, si consiguen ser suficientemente intensas, las corrientes podrían estimular los nervios y músculos o afectar otros procesos biológicos.

Tanto los campos eléctricos como los magnéticos inducen tensiones eléctricas y corrientes en el organismo, pero incluso justo debajo de una línea de transmisión de electricidad de alta tensión las corrientes inducidas son pequeñas comparadas con los umbrales para la producción de sacudidas eléctricas u otros efectos eléctricos.

No se cuestiona que al sobrepasar determinados umbrales los campos electromagnéticos puedan desencadenar efectos biológicos. La preocupación actual de la sociedad se

centra en los posibles efectos sobre la salud, a largo plazo, de la exposición a campos electromagnéticos de intensidades inferiores a las necesarias para desencadenar respuestas biológicas inmediatas.

Según experimentos realizados con voluntarios sanos, la exposición a corto plazo a los niveles presentes en el medio ambiente o en el hogar, no producen ningún efecto perjudicial aparente. La exposición a niveles más altos, que podrían ser perjudiciales, está limitada por directrices nacionales e internacionales.

El principal efecto biológico descubierto y aceptado de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia es el calentamiento, pero los niveles de campos de radiofrecuencia a los que normalmente están expuestas las personas son mucho menores que los necesarios para producir un calentamiento significativo.

Cabe aclarar que un efecto perjudicial para la salud es el que ocasiona una disfunción detectable de la salud de las personas expuestas o de sus descendientes; por el contrario, un efecto biológico puede o no producir un efecto perjudicial para la salud.

3.1 ESTUDIOS SOBRE LOS EFECTOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

3.1.1 Proyecto Internacional CEM

La Organización Mundial de la Salud (OMS) inició en 1996 el proyecto de investigación multidisciplinar llamado Proyecto Internacional CEM con el cual busca reunir los conocimientos y recursos disponibles actuales de organismos e instituciones científicas mundiales.

A través del Proyecto Internacional CEM, la OMS ha establecido un programa para supervisar las publicaciones científicas sobre los campos electromagnéticos, evaluar los efectos en la salud de la exposición a frecuencias de 0 a 300 GHz, ofrecer asesoramiento sobre los posibles peligros de los campos electromagnéticos y determinar las medidas de mitigación más idóneas. Basándose en amplios estudios internacionales, el Proyecto ha

promovido investigaciones para subsanar la falta de conocimientos. En respuesta a ello, en los últimos años, diversos gobiernos e institutos de investigación nacionales han destinado más de US\$ 250 millones al estudio de los campos electromagnéticos.

Apoyándose en una revisión profunda de las publicaciones científicas, la OMS concluyó que los resultados existentes no confirman que la exposición a campos electromagnéticos de baja intensidad produzca ninguna consecuencia para la salud. Sin embargo, los conocimientos sobre los efectos biológicos presentan algunas lagunas que requieren más investigaciones.

Actualmente, se están haciendo grandes esfuerzos de investigación destinados al estudio de la relación entre los campos electromagnéticos y el cáncer. Otro objetivo de investigación de numerosos estudios son los efectos sobre la salud, a largo plazo, de la utilización de teléfonos móviles. No se ha descubierto ningún efecto perjudicial aparente de la exposición a niveles bajos de campos de radiofrecuencia. Sin embargo, debido a la preocupación de la sociedad por la seguridad de los teléfonos celulares, investigaciones adicionales intentan determinar si podrían producirse efectos menos evidentes a niveles de exposición muy bajos.

En consecuencia, la detección de una asociación entre un agente y una determinada enfermedad no significa necesariamente que el agente sea la causa de la enfermedad. Para determinar la causalidad, los investigadores deben tener en cuenta numerosos factores. Los argumentos a favor de una relación de tipo causa y efecto se ven reforzados si existe una asociación persistente y fuerte entre la exposición y el efecto, una relación clara entre dosis y respuesta, una explicación biológica creíble, resultados favorables de estudios pertinentes con animales y, sobre todo, coherencia entre los diferentes estudios. Estos factores no han estado generalmente presentes en los estudios sobre la relación entre los campos electromagnéticos y el cáncer. Este es uno de los principales motivos por los que los científicos se han resistido generalmente a concluir que los campos electromagnéticos débiles produzcan efectos sobre la salud.

Puntos clave sobre la investigación:

1. El objetivo de los estudios de laboratorio con células es determinar si existe un mecanismo que explique el modo en que la exposición a campos electromagnéticos pudiera ocasionar efectos biológicos perjudiciales. Los estudios con animales son fundamentales para determinar si existen efectos en organismos superiores cuya fisiología se parece en cierto modo a la del ser humano. Los estudios epidemiológicos buscan asociaciones estadísticas entre la exposición a campos electromagnéticos y la incidencia de efectos específicos perjudiciales para la salud en seres humanos.
2. La detección de una asociación estadística entre un agente y una determinada enfermedad no significa necesariamente que el agente sea la causa de la enfermedad.
3. La ausencia de efectos sobre la salud podría significar que realmente no existen; no obstante, podría también significar que existe un efecto pero no se puede detectar con los métodos actuales.
4. Antes de sacar conclusiones sobre posibles riesgos para la salud causados por la presencia en el medio de presuntos agentes peligrosos, se deben tener en cuenta los resultados de diversos estudios (con células, con animales y epidemiológicos). Si los resultados de estos estudios de muy diverso tipo son coherentes, aumentará la certidumbre sobre la existencia verdadera de un efecto.
5. Estudios sobre los campos eléctricos sugieren que, si se exceptúa la estimulación causada por las cargas eléctricas inducidas en la superficie del cuerpo humano, la exposición a campos no superiores a 20 kV/m produce unos efectos escasos e inoivos. No está demostrado que los campos eléctricos tengan efecto alguno sobre la reproducción o el desarrollo de los animales a intensidades superiores a los 100 kV/m.
6. Los estudios sobre campos magnéticos señalan que existen escasas pruebas experimentales confirmadas de que los campos magnéticos ELF afecten la

fisiología y el comportamiento humanos a las intensidades habituales en el hogar o en el medio ambiente. En voluntarios sometidos durante varias horas a campos ELF de hasta 5 mT, los efectos de esta exposición fueron escasos tras realizar diversas pruebas clínicas y fisiológicas de hematología, electrocardiografía, ritmo cardíaco, presión arterial o temperatura del cuerpo.

7. Algunos investigadores han comunicado que la exposición a campos ELF puede suprimir la secreción de melatonina, que es una hormona vinculada a nuestros ritmos de actividad diurna y nocturna. Se ha indicado que la melatonina podría proteger contra el cáncer de mama, de modo que su supresión podría contribuir a una mayor incidencia de esta enfermedad por causa de otros agentes. Aunque hay indicios de que la melatonina resulta afectada en animales de laboratorio, los estudios realizados con voluntarios no han confirmado esas alteraciones en las personas.
8. No existen pruebas convincentes de que la exposición a los campos ELF cause directamente daños en las moléculas de los seres vivos y, en particular, en su ADN. De esta manera, resulta improbable que pueda desencadenar un proceso de carcinogénesis. Sin embargo, se están realizando estudios para determinar si la exposición a esos campos puede influir en la estimulación o coestimulación del cáncer.
9. En 1979, los científicos Wertheimer y Leeper comunicaron una vinculación entre la leucemia infantil y ciertas particularidades relativas a los cables que conectaban sus viviendas a la línea de distribución eléctrica. Desde entonces, se han realizado numerosos estudios para profundizar en este importante resultado. El análisis realizado en 1996 por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos indicaba que la circunstancia de habitar cerca de una línea eléctrica pudiera estar asociada a un alto riesgo de leucemia infantil (riesgo relativo: RR = 1'5), aunque no de otros cánceres. No se apreció en esos estudios ninguna relación semejante entre el cáncer y la exposición de los adultos en sus domicilios.

10. El *National Institute of Environmental Health Sciences* (NIEHS) de los Estados Unidos concluyó su programa RAPID. En el marco de dicho programa se reprodujeron y ampliaron diversos estudios que habían dado cuenta de efectos posiblemente nocivos para la salud y se realizaron nuevos estudios para determinar si realmente la exposición a los campos ELF afectaba en algún aspecto la salud. En junio de 1998, el NIEHS constituyó un grupo de trabajo para examinar los resultados de las investigaciones. Basándose en criterios establecidos por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), el cuadro internacional de expertos concluyó que los campos ELF debían considerarse como un posible carcinógeno humano. Posible carcinógeno humano es la denominación leve de las tres que utiliza el CIIC (posiblemente carcinógeno para las personas, probablemente carcinógeno para las personas y carcinógeno para las personas) para clasificar la evidencia científica de una posible carcinogenicidad. Aunque el CIIC utiliza otros dos términos para estas clasificaciones (no clasificable y probablemente no carcinógeno para las personas), el grupo de trabajo del NIEHS consideró que había datos suficientes para descartar estas categorías.

3.2 NIVELES DE EXPOSICIÓN TÍPICOS EN DIVERSOS MEDIOS

La Oficina federal alemana de seguridad radiológica (*Bundesamt für Strahlenschutz*, BFS) midió la exposición diaria a campos magnéticos de unas 2000 personas con diversas ocupaciones y grados de exposición en lugares públicos. Todas las personas llevaron dosímetros personales durante las 24 horas. Los niveles de exposición medidos presentaron una gran variación, pero la exposición media diaria fue de 0,10 μT . Este valor es mil veces menor que el límite establecido para la población de 100 μT y 200 veces menor que el límite de exposición para trabajadores de 500 μT . Además, los niveles de exposición registrados por los habitantes de los centros de las ciudades indicaron que no existen en este sentido grandes diferencias entre la vida en zonas rurales y la vida en la ciudad. Incluso la exposición de las personas que viven en las inmediaciones de líneas de conducción eléctrica de alta tensión se diferencia poco de la exposición media de la población.

3.2.1 Campos electromagnéticos producidos por instalaciones de transmisión y distribución de electricidad

La transmisión de electricidad a larga distancia se realiza mediante líneas eléctricas de alta tensión. Estas tensiones altas se reducen mediante transformadores para la distribución local a hogares y empresas. Las instalaciones de transmisión y distribución de electricidad, el cableado y aparatos eléctricos domésticos generan el nivel de fondo de campos eléctricos y magnéticos de frecuencia de red en el hogar. En los hogares que no están situados cerca de líneas de conducción eléctrica la intensidad de este campo de fondo puede ser hasta alrededor de $0,2 \mu\text{T}$. Los campos de los lugares situados directamente bajo las líneas de conducción eléctrica son más intensos. Las densidades de flujo magnético a nivel del suelo pueden ser del orden de hasta varios μT . La intensidad del campo eléctrico bajo las líneas de conducción eléctrica puede ser de hasta 10 kV/m . Sin embargo, la intensidad de los campos eléctricos y magnéticos se reduce al aumentar la distancia a las líneas eléctricas. Entre 50 m y 100 m de distancia la intensidad de los campos es normalmente equivalente a la de zonas alejadas de las líneas eléctricas de alta tensión. Además, las paredes de las casas reducen substancialmente la intensidad de campo eléctrico con respecto a la existente en lugares similares en el exterior de las casas.

3.2.2 Aparatos eléctricos en el hogar

La intensidad del campo no depende del tamaño, complejidad, potencia o ruido que hace el electrodoméstico. Además, las intensidades de los campos magnéticos pueden ser diversas, incluso entre aparatos aparentemente similares. Por ejemplo, algunos secadores de cabello generan campos intensos, mientras que otros apenas producen campo magnético alguno. Estas diferencias de intensidad del campo magnético están relacionadas con el diseño del producto. El siguiente cuadro muestra valores típicos correspondientes a diversos aparatos eléctricos comunes en los hogares y lugares de trabajo. Las mediciones se tomaron en Alemania y todos los aparatos funcionan con electricidad a 50 Hz de frecuencia. Debe señalarse que los niveles de exposición efectivos varían considerablemente dependiendo del modelo de electrodoméstico y de la distancia al mismo.

Tabla 7. Intensidades de campo eléctrico típicas medidas cerca de electrodomésticos (a una distancia de 30 cm)

Electrodoméstico	Intensidad del campo eléctrico (V/m)
Equipo de sonido	180
Plancha	120
Nevera	120
Batidora	100
Tostadora	80
Secador de cabello	80
Televisor	60
Cafetera eléctrica	60
Aspiradora	50
Horno eléctrico	8
Bombilla	5
Valor límite recomendado	5000

Fuente: Oficina federal alemana de seguridad radiológica (*Bundesamt für Strahlenschutz, BfS*), 1999.

Tabla 8. Densidades de flujo magnético típicas de algunos electrodomésticos a diversas distancias

Aparato eléctrico	A una distancia de 3 cm (μT)	A una distancia de 30 cm (μT)	A una distancia de 1 m (μT)
Secador de cabello	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Máquina de afeitar eléctrica	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 – 0,03
Aspiradora	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
Luz fluorescente	40 – 400	0,5 – 2	0,02 – 0,25
Horno de microondas	73 – 200	4 – 8	0,25 – 0,6
Radio portátil	16 – 56	1	< 0,01
Horno eléctrico	1 – 50	0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
Lavadora	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 – 0,15
Plancha	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,03
Lavavajillas	3,5 – 20	0,6 – 3	0,07 – 0,3
Computador	0,5 – 30	< 0,01	-
Nevera	0,5 – 1,7	0,01 – 0,25	<0,01
Televisor	2,5 – 50	0,04 – 2	0,01 – 0,15

En la mayoría de los electrodomésticos, la intensidad del campo magnético a una distancia de 30 cm es considerablemente inferior al límite recomendado para el conjunto de la población (densidad de flujo magnético máxima = 100 μT).

Fuente: Oficina federal alemana de seguridad radiológica (*Bundesamt für Strahlenschutz, BfS*), 1999

La tabla 8 ilustra dos puntos importantes: En primer lugar, la intensidad del campo magnético que rodea a todos los aparatos disminuye rápidamente conforme nos alejamos del mismo. En segundo lugar, la mayoría de los electrodomésticos no se utilizan a una distancia tan cercana al cuerpo. A una distancia de 30 cm, los campos magnéticos que generan la mayoría de los electrodomésticos son 100 veces menores que el límite recomendado establecido para el conjunto de la población (100 μT a 50 Hz, o 83 μT a 60 Hz).

Televisores y pantallas de computadores: las pantallas de los computadores y televisores se basan en principios de funcionamiento similares. Ambos producen campos eléctricos estáticos y campos eléctricos y magnéticos alternos a diversas frecuencias. Sin embargo, las pantallas de cristal líquido que se utilizan en algunos computadores portátiles y de escritorio no generan campos eléctricos y magnéticos significativos. Las computadoras modernas tienen pantallas conductoras que reducen el campo estático de la pantalla hasta un nivel similar al normal de fondo de los hogares o los lugares de trabajo. En la posición que ocupa el usuario (30 a 50 cm de la pantalla), la densidad de flujo (a frecuencias de red) de los campos magnéticos alternos es típicamente inferior a 0,7 μT . Las intensidades de los campos eléctricos alternos en las posiciones del usuario varían de menos de 1 V/m a 10 V/m.

Hornos de microondas: los hornos de microondas domésticos disponen de una protección eficaz que reduce su fuga de radiación hasta niveles casi indetectables. Además, la intensidad de las fugas de microondas se reduce al aumentar la distancia desde el horno. En muchos países, existen normas de fabricación que especifican los niveles máximos de fuga de radiación admisibles en hornos nuevos; un horno que cumpla dichas normas no supondrá peligro alguno para el consumidor.

Teléfonos inalámbricos: funcionan a intensidades menores que los teléfonos móviles. El motivo es que se utilizan a distancias próximas a su estación base, por lo que no necesitan campos intensos para transmitir a distancias grandes. Por consiguiente, los campos de radiofrecuencia que generan estos aparatos son despreciables.

3.2.3 Campos electromagnéticos en el medio ambiente

Radars: se utilizan para la navegación, la predicción meteorológica y para usos militares, entre otras diversas funciones. Emiten señales en forma de pulsos de microondas. La potencia máxima de cada pulso puede ser alta, aunque la potencia media sea pequeña. Muchos radares pueden girar o moverse arriba y abajo, lo que reduce la densidad de potencia media a la que están expuestas las personas en lugares cercanos a los radares. Incluso los radares militares de gran potencia, no giratorios, limitan la exposición en lugares de acceso público a niveles inferiores a los límites recomendados.

Sistemas de seguridad: los sistemas antirrobo de las tiendas utilizan dispositivos que detectan bobinas eléctricas situadas en las salidas. Cuando se compra un artículo, los marcadores se retiran o se desactivan de forma permanente. Los campos electromagnéticos de las bobinas generalmente no superan los límites de exposición recomendados. Los sistemas de control de accesos funcionan de la misma forma, incorporándose el dispositivo antirrobo a un llavero o a una tarjeta de identidad. Los detectores de metales y los sistemas de seguridad de los aeropuertos generan un campo magnético bastante intenso (densidad de flujo hasta $100 \mu\text{T}$) que sufre perturbaciones por la presencia de objetos metálicos. En puntos cercanos al marco del detector, la intensidad del campo magnético puede ser próxima, o en ocasiones superior, a los límites recomendados. No obstante, no constituye un peligro para la salud.

Televisión y radio: las señales de radio de AM se pueden utilizar para la difusión a distancias largas, mientras que las ondas de FM abarcan zonas menores pero pueden proporcionar una mejor calidad de sonido.

Las señales de radio de AM se transmiten por medio de grandes baterías de antenas, que pueden tener alturas de decenas de metros, situadas en lugares inaccesibles para la población. Los niveles de exposición en lugares cercanos a las antenas y cables de alimentación pueden ser altos, pero afectan al personal de mantenimiento y no a la población general.

Las antenas de televisión y de radio en FM son más pequeñas que las de AM y se montan en baterías de antenas situadas en lo alto de grandes torres que sirven únicamente como estructuras de soporte. La población puede acceder a la parte baja de estas torres porque los niveles de exposición cerca de la base son inferiores a los límites recomendados. En ocasiones, se ubican en lo alto de edificios pequeñas antenas de televisiones y radios locales, en cuyo caso puede ser necesario controlar el acceso estas zonas.

Teléfonos móviles y estaciones base: estos dispositivos de ondas de radio de baja potencia transmiten y reciben señales de una red de estaciones base de baja potencia fijas. Cada estación base proporciona cobertura a una zona determinada. Dependiendo del número de llamadas que gestionan, la distancia entre las estaciones base pueden ser desde sólo unos pocos cientos de metros en las grandes ciudades a varios kilómetros en las zonas rurales.

Las estaciones base de telefonía móvil normalmente se instalan en lo alto de edificios o en torres, a alturas entre 15 y 50 metros. Las antenas emiten un haz estrecho de ondas de radio que se propaga de forma casi paralela al suelo. En consecuencia, al nivel del suelo y en regiones que normalmente son de acceso público las intensidades de los campos de radiofrecuencia son inferiores a los niveles considerados peligrosos. Sólo se superarían los niveles recomendados si una persona se acercara a menos de un metro o dos de las antenas.

Hoy en día, las torres de telefonía apenas aumentan el nivel de exposición total que experimentamos, ya que la intensidad de las señales en los lugares de acceso público es normalmente similar o inferior a la de las estaciones de radio y televisión distantes.

Sin embargo, los campos de radiofrecuencia del entorno general pueden ser mayores a los que se expone el usuario de un teléfono móvil. Los teléfonos móviles se utilizan a poca distancia de la cabeza; por lo tanto, en lugar de estudiar el efecto del calentamiento en todo el cuerpo, se debe determinar la distribución de la energía que absorbe la cabeza del usuario.

Se han planteado también dudas sobre otros efectos, llamados efectos no térmicos, producidos por la exposición a frecuencias de teléfonos móviles. Se ha sugerido que podrían producirse efectos sutiles sobre las células que podrían influir en el desarrollo del cáncer. También se ha planteado la hipótesis de posibles efectos sobre los tejidos excitables por estímulos eléctricos que podrían influir en la función del cerebro y los tejidos nerviosos. Sin embargo, según el conjunto de los datos disponibles hasta la fecha, no parece que el uso de teléfonos móviles produzca ningún efecto perjudicial sobre la salud de las personas.

Tabla 9. Niveles de exposición típicos en el hogar y en el medio ambiente.

Fuente	Exposición máxima típica de la población	
	Campo eléctrico (V/m)	Densidad de flujo magnético (µT)
Campos naturales	200	70 (campo magnético terrestre)
Red eléctrica (en hogares que no están próximos a líneas de conducción eléctrica)	100	0,2
Red eléctrica (bajo líneas principales de conducción eléctrica)	10 000	20
Trenes y tranvías eléctricos	300	50
Pantallas de televisión y computadora (en la posición del usuario)	10	0,7
	Exposición máxima típica de la población (W/m ²)	
Transmisores de televisión y radio	0,1	
Estaciones base de telefonía móvil	0,1	
Radares	0,2	
Hornos de microondas	0,5	

Fuente: Oficina Regional de la OMS para Europa

4. LÍMITES DE EXPOSICIÓN

La exposición a campos electromagnéticos provoca efectos biológicos inmediatos si el campo es lo suficientemente fuerte. Los efectos van desde la estimulación de los sistemas nervioso y muscular hasta el calentamiento de los tejidos del cuerpo, dependiendo de la frecuencia. Para proteger contra estos efectos, se han establecido unos límites de exposición en varios países.

Cada país establece sus propias normas nacionales relativas sobre exposición a campos electromagnéticos. Sin embargo, la mayoría de estas normas nacionales se basan en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP). Esta organización no gubernamental, reconocida formalmente por la OMS, evalúa los resultados de estudios científicos realizados en todo el mundo. Basándose en un análisis en profundidad de todas las publicaciones científicas, la ICNIRP elabora unas directrices en las que establece límites de exposición recomendados. Estas directrices se revisan periódicamente y, en caso necesario, se actualizan.

Un aspecto importante que se debe señalar es que un límite recomendado no define de forma exacta el límite entre la seguridad y el peligro.

Las directrices marcan un determinado umbral por debajo del cual la exposición a campos electromagnéticos se considera segura, según los conocimientos de la ciencia. No obstante, para poder fijar los límites de exposición, los estudios científicos deben identificar el umbral en el que se manifiestan los primeros efectos sobre la salud. Como no pueden hacerse experimentos con seres humanos, las directrices deben basarse en estudios con animales. Frecuentemente, se producen en los animales cambios sutiles de comportamiento a niveles bajos de exposición que preceden a cambios drásticos en la salud con niveles altos. El comportamiento anormal es un indicador muy sensible de la existencia de una respuesta biológica; este comportamiento anormal se ha seleccionado como el mínimo efecto perjudicial para la salud observable. Las directrices recomiendan

prevenir la exposición a campos electromagnéticos a niveles en los que se producen cambios de comportamiento perceptibles.

Este umbral de cambios de comportamiento no es igual al límite recomendado, sino que la ICNIRP aplica un factor de seguridad de 10 en el cálculo de los límites de exposición ocupacionales y un factor de 50 para obtener el valor recomendado para la población general. Así, por ejemplo, en los intervalos de frecuencia de radio y microondas, los niveles máximos que probablemente experimentará en el entorno o en el hogar son al menos 50 veces menores que el umbral en el que se manifiestan los primeros cambios de comportamiento en animales.

Las directrices se establecen para la población media y no pueden tener en cuenta directamente las necesidades de una minoría de personas potencialmente más sensibles.

A continuación se presentan los límites de exposición que varios países han adoptado y los organismos encargados de recomendarlos.

- Estados Unidos: La FCC (*Federal Communications Commission*) ha adoptado en los Estados Unidos las recomendaciones sobre los límites de exposición a intensidad de campos, densidad de potencia para transmisores y la tasa de absorción de energía (SAR) para equipos de comunicaciones que operen en el intervalo de frecuencias desde los 3 kHz a los 300 GHz dados por la ANSI (*American National Standards Institute*) y la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).
- Unión Europea: Medidas regulatorias han sido igualmente implantadas en la UE. El Consejo de la UE publicó en el Diario Oficial de la Comisión Europea las recomendaciones de los límites a la exposición del público en general. Esta recomendación está basada en un documento emitido por la ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*).

- Canadá: En Julio de 1999 la Oficina de Protección a la Radiación y Salud de Canadá preparó el Código 6 de seguridad que especifica los requerimientos para el uso seguro de dispositivos de telecomunicaciones.

Tabla 10. Normas de radiación electromagnética

Institución	Publicación	País - Región	Observaciones
IEEE – <i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>	Estándar IEEE para los niveles seguros respecto a la exposición humana a campos electromagnéticos de radio frecuencias, 3 KHz a 300 GHz (publicación C95.1.1999)	Estados Unidos	Estándar de uso voluntario
FCC (<i>Federal Communications Commission</i>)	Reporte y orden, agenda 93-62 reforma a las partes 1, 2, 15, 24 y 97 de las reglas de la comisión (1 de agosto 1996)	Estados Unidos	De uso obligatorio. Basado en el estándar IEEE/ANSI de 1992 y el NCRP de 1988
ICNIRP (<i>International Commission on Non Ionizing Radiation Protection</i>)	Pautas para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo hasta 300 GHz (<i>Healthy Physics</i> , Abril 1998)	Unión Europea	La más estricta de las recomendaciones. Cubre la banda de frecuencia más alta. La ICNIRP proporciona la base científica de todas las medidas tomadas al respecto por la Unión Europea
<i>Council of the European Union</i>	Recomendación del Consejo, 12 de Julio de 1999, relativa a los medios de exposición del público general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz)	Unión Europea	Se basa en las pautas dadas por la ICNIRP. Sólo cubre la exposición al público en general, no cubre la exposición de trabajadores de RF. Está dirigida a todos los estados de la Unión Europea y tiene carácter de recomendación.
<i>Health Canada – Radiation Protection Bureau</i>	Límites de exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el rango de 3 KHz a 300 GHz. Código de seguridad 6	Canadá	El código de seguridad 6 tiene carácter obligatorio; la institución que lo promulga es gubernamental.

4.1 ESTÁNDAR IEEE

Existen dos estándares IEEE relacionados con la radiación por radiofrecuencias:

- IEEE C95.1-1999: es el estándar para exposición humana. Su nombre completo es Estándar para niveles seguros con respecto a la exposición humana a campos electromagnéticos por radiofrecuencias, 3 KHz a 300 GHz (*Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*).
- IEEE C95.3-1999: es el estándar práctico de mediciones.

Los límites son expresados en términos de Máxima Exposición Permitida (*Maximum Permissible Exposure*, MPE).

A continuación se describirá el estándar IEEE para los niveles seguros con respecto a la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencias de 3 KHz a 300 GHz (IEEE, 1999)

➤ MPE en ambientes controlados

Los valores para la máxima exposición permitida (MPE) se encuentran en la Tabla 11 como función de la frecuencia en términos de las intensidades de campo eléctrico (E) y magnético (H) rms, las densidades de potencia equivalente en el espacio libre (S) y las corrientes corporales inducidas (I) que pueden ser asociadas con la exposición a tales campos o con el contacto con objetos expuestos a tales campos. La exposición asociada con un ambiente controlado incluye aquella experimentada por personas conscientes del potencial de exposición como condición de trabajo, exposición de otros individuos conscientes o exposición a consecuencia del tránsito incidental por áreas donde el análisis muestra que la exposición puede estar por encima de los niveles dados en la Tabla 13 pero no exceden los mostrados en la Tabla 11, y donde las corrientes de contacto pueden exceder los valores en la Tabla 14, pero no los de la Tabla 12.

El MPE se refiere a valores promediados sobre cualquier período de 6 minutos para frecuencias menores que 15 GHz y sobre períodos más cortos para frecuencias mayores con un mínimo de 10 s para 300 GHz como se indica en la Tabla 11.

Tabla 11. Límites máximos de exposición permitidos a campos electromagnéticos para ambientes controlados.

Rango de frecuencia (f) (MHz)	Campo eléctrico (E) (V/m)	Campo magnético (H) (A/m)	Densidad de potencia (S) (campos E, H) (mW/cm ²)	Tiempo de promediación (T _{avg}) (mín.)
0.003 – 0.1	614	163	10 ² , 10 ⁶	6
0.1 - 3.0	614	16.3/f	10 ² , 10 ⁴ /f ²	6
3 – 30	1842/f	16.3/f	900/f ² , 10 ⁴ /f ²	6
30 - 100	61.4	16.3/f	1.0, 10 ⁴ /f ²	6
100 - 300	61.4	0.163	1.0	6
300 - 3000	-	-	f/300	6
3000 - 15000	-	-	10	6
15000 - 300000	-	-	10	616000/f ^{1.2}

Tabla 12. Corrientes de RF inducidas y de contacto para ambientes controlados

Rango de frecuencia (f) (MHz)	Corriente máxima (mA)		Contacto
	A través de los dos pies	A través de un pie	
0,003 – 0,1	2000f	1000f	1000f
0,1 - 100	200	100	100

En ambientes controlados el acceso debe ser restringido para limitar el valor rms de la corriente de RF corporal (promediada sobre el intervalo adecuado) de la siguiente manera:

1. Para individuos de pie sin contacto con objetos metálicos la corriente RF inducida en el cuerpo, medida a través de cada pie, no excederá los siguientes valores:

$$\bar{I} = 1000mA \cdot f \quad (0.003 < f \leq 0.1MHz)$$

\bar{I} es el promedio sobre cualquier período de 1 seg

f es la frecuencia en MHz

$$\tilde{I} = 100mA \quad (0.1 < f \leq 100MHz) \text{ sujeto a un límite superior de } 500mA$$

\tilde{I} es la corriente RMS durante cualquier período de 6 minutos.

2. Para condiciones de posible contacto con objetos metálicos, donde establecer o terminar el contacto no resulta en una chispa momentánea o en alta densidad de corriente en la superficie de la piel que cause reacciones de choque, dolor, quemaduras u otros daños a la piel, las corrientes de RF máximas a través de una impedancia equivalente a la del cuerpo humano para condiciones de contacto completo, siendo medidas con un medidor de corriente de contacto, no excederán los siguientes valores:

$$\bar{I} = 1000mA \cdot f \quad (0.003 < f \leq 0.1MHz)$$

\bar{I} es el promedio sobre cualquier período de 1 seg

f es la frecuencia en MHz

$$\tilde{I} = 100mA \quad (0.1 < f \leq 100MHz) \text{ sujeto a un límite superior de } 500mA$$

\tilde{I} es la corriente RMS durante cualquier período de 6 minutos.

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T |I| dt \quad (f \leq 100kHz, T = 1s)$$

$$\tilde{I} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt} \quad (f > 100kHz, T = 360s)$$

3. Las mediciones de corriente inducida no se requieren si la intensidad de campo eléctrico promediado espacialmente no excede la MPE a frecuencias de 0.45 MHz o menos y no excede ciertos límites para frecuencias mayores que 0.45 MHz.

➤ MPE en ambientes no controlados

La exposición asociada con ambientes no controlados es la ocasionada sobre individuos sin conocimiento o control de su exposición donde no se espera que los niveles de exposición puedan exceder los listados en la Tabla 13 como función de la frecuencia.

El MPE se refiere a valores promediados sobre cualquier período entre 6 y 30 minutos para frecuencias menores que 3 GHz y sobre períodos más cortos para frecuencias mayores con un mínimo de 10 s para 300 GHz.

Tabla 13. Límite máximo permitido a campos electromagnéticos para ambientes no controlados.

Rango de frecuencia (f) (MHz)	Campo eléctrico (E) (V/m)	Campo magnético (H) (A/m)	Densidad de potencia (S) (campos E y H) (mW/cm ²)	Tiempo de promediación (T _{avg}) (mins)	
				E ²	H ²
0.003 – 0.1	614	163	(10 ² , 10 ⁶)	6	6
0.1 - 1.34	614	16.3/f	(10 ² , 10 ⁴ /f ²)	6	6
1.34 – 3.0	823.8/f	16.3/f	(180/f ² , 10 ⁴ /f ²)	f ² /3	6
3.0 - 30	823.8/f	16.3/f	(180/f ² , 10 ⁴ /f ²)	30	6
30 - 100	27.5	158.3/f ^{1.668}	(0.2, 9.4 x 10 ⁵ /f ^{3.336})	30	.0636f ^{1.337}
100 - 300	27.5	0.0729	0.2	30	30
300 - 3000	-	-	f/1500	30	-
3000 - 15000	-	-	f/1500	90000/f	-
15000 – 300000	-	-	10	616000/f ^{1.2}	-

Tabla 14. Corrientes de RF inducidas y de contacto para ambientes no controlados

Rango de frecuencia (f) (MHz)	Corriente máxima (mA)		Contacto
	A través de los dos pies	A través de un pie	
0,003 – 0,1	900f	450f	450f
0,1 - 100	90	45	45

1. Para individuos de pie sin contacto con objetos metálicos la corriente RF inducida en el cuerpo, medida a través de cada pie, no excederá los siguientes valores:

$$\bar{I} = 450mA \cdot f \quad (0.003 < f \leq 0.1MHz)$$

\bar{I} es el promedio sobre cualquier período de 1 seg

f es la frecuencia en MHz

$$\bar{I} = 45mA \quad (0.1 < f \leq 100MHz) \text{ sujeto a un límite superior de } 220mA$$

\bar{I} es la corriente RMS durante cualquier período de 6 minutos.

2. Para condiciones de posible contacto con objetos metálicos, donde establecer o terminar el contacto no resulta en una chispa momentánea o en alta densidad de corriente en la superficie de la piel que cause reacciones de choque, dolor, quemaduras u otros daños a la piel, las corrientes RF máximas a través de una impedancia equivalente a la del cuerpo humano para condiciones de contacto completo, siendo medidas con un medidor de corriente de contacto, no excederán los siguientes valores:

$$\bar{I} = 450mA \cdot f \quad (0.003 < f \leq 0.1MHz)$$

\bar{I} es el promedio sobre cualquier período de 1 seg

f es la frecuencia en MHz

$$\tilde{I} = 45mA \quad (0.1 < f \leq 100MHz) \text{ sujeto a un límite superior de } 220mA$$

\tilde{I} es la corriente RMS durante cualquier período de 6 minutos.

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T |I| dt \quad (f \leq 100kHz, T = 1s)$$

$$\tilde{I} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt} \quad (f > 100kHz, T = 360s)$$

- Las mediciones de corriente inducida no se requieren si la intensidad de campo eléctrico promediado espacialmente no excede la MPE a frecuencias de 0.2 MHz o menos y no excede ciertos límites para frecuencias mayores que 0.2 MHz.

Tanto para ambientes controlados como para ambientes no controlados se aplica lo siguiente:

Para exposiciones de campo cercano a frecuencias menores que 300 MHz, el MPE aplicable es dado en término de intensidad rms de campo eléctrico y magnético. Por conveniencia, el MPE puede expresarse como la densidad de potencia equivalente de onda plana.

Para campos mixtos o de banda ancha con un número de frecuencias para las cuales hay valores diferentes de MPE, la fracción de MPE (en términos de E^2 y H^2 o densidad de potencia S) ocasionada dentro de cada intervalo de frecuencia debe determinarse y la suma de todas esas fracciones no excederá la unidad. De manera similar, para corrientes inducidas mixtas o de banda ancha en un número de frecuencias para las cuales hay valores diferentes de MPE, la fracción de los límites de corriente inducida (en términos de

l²) experimentadas dentro de cada intervalo de frecuencia debe determinarse y la suma de todas esas fracciones no excederá la unidad.

Para exposición a campos de radiofrecuencia pulsados en el rango de 0.1 a 300 GHz, el valor pico temporal de el MPE en términos del campo E es 100kV/m.

Para exposiciones a campos de RF pulsados con duraciones de pulso menores que 100 ms y frecuencias en el rango de 0.1 MHz a 300 GHz, el MPE, en términos de la densidad de potencia pico para un pulso es el dado por la Tabla 11 multiplicado por el tiempo de promediación en segundos y dividido entre cinco veces el ancho de pulso en segundos. Esto es:

$$MPE_{pico} = \frac{MPE \times tiempoDePromediación(s)}{5 \times anchoDePulso(s)}$$

Durante cualquier período igual al tiempo de promediación se permite un máximo de 5 de tales pulsos, con un período de repetición de al menos 100 ms. Si no se cumple alguna de estas condiciones, se aplican los cálculos normales de promediación temporal, excepto que durante cualquier período de 100 ms la densidad de energía está limitada por la fórmula de arriba, es decir:

$$\Sigma MPE_{pico} \times anchoDePulso(s) = \frac{MPE \times tiempoDePromediación(s)}{5}$$

➤ EXCLUSIONES

Para frecuencias entre 100 kHz y 6 GHz, el MPE en ambientes controlados para intensidad de campos electromagnéticos puede excederse si se puede demostrar mediante técnicas apropiadas que la condición de exposición produce tasas de absorción por debajo de 0.4W/kg promediado sobre todo el cuerpo y SAR espacial pico no mayor

que 8W/kg promediado sobre cualquier gramo de tejido (definido como el volumen de tejido en la forma de un cubo), excepto por manos, muñecas, pies y tobillos, donde la SAR pico espacial no debe exceder 20 W/kg, promediado sobre cualquier masa de 10 g de tejido en la forma de un cubo; y las corrientes inducidas en el cuerpo no sobrepasan el MPE dado en la Tabla 11.

Se debe reconocer regiones del cuerpo donde un volumen de 1 o 10 cm³ contiene una masa significativamente menor que 1 o 10 g respectivamente debido a cavidades con aire encerrado. Para esas regiones, la potencia absorbida debe dividirse entre la masa real dentro del volumen para obtener el SAR pico espacial.

La SAR se promedia sobre cualquier intervalo de 6 minutos. Por encima de 6 GHz se permite la relajación del MPE bajo condiciones de exposición parcial.

A frecuencias entre 0.003 MHz y 0.1 MHz la anterior exclusión no aplica. Sin embargo, el MPE en ambientes controlados puede aún excederse si puede mostrarse que la densidad de corriente rms pico promediada sobre cualquier área de 1 cm² de tejido en 1 s no excede 35 f mA/cm², donde f es la frecuencia en MHz.

Para frecuencias entre 100 kHz y 6 GHz, el MPE en ambientes no controlados para intensidad de campos electromagnéticos puede excederse si se puede demostrar mediante técnicas apropiadas que la condición de exposición produce tasas de absorción por debajo de 0.4W/kg promediado sobre todo el cuerpo y SAR espacial pico no mayor que 8W/kg promediado sobre cualquier gramo de tejido (definido como el volumen de tejido en la forma de un cubo), excepto por manos, muñecas, pies y tobillos, donde la SAR pico espacial no debe exceder 20 W/kg, promediado sobre cualquier masa de 10 g de tejido en la forma de un cubo; y las corrientes inducidas en el cuerpo no sobrepasan el MPE dado.

Se debe reconocer regiones del cuerpo donde un volumen de 1 o 10 cm³ contiene una masa significativamente menor que 1 o 10 g respectivamente debido a vacíos. Para esas regiones, la potencia absorbida debe dividirse entre la masa real dentro del volumen para obtener el SAR pico espacial.

Los tiempos de promediación para la SAR se indican en la Tabla 13. Por encima de 6 GHz se permite la relajación del MPE bajo condiciones de exposición parcial.

A frecuencias entre 0.003 MHz y 0.1 MHz la anterior exclusión no aplica. Sin embargo, el MPE en ambientes no controlados puede aún excederse si puede mostrarse que la densidad de corriente rms pico promediada sobre cualquier área de 1 cm² de tejido en 1 s no excede 15.7 f mA/cm², donde f es la frecuencia en MHz.

Tabla 15. Relajación de los límites para exposición corporal parcial

	Frecuencia (GHz)	Valor pico del campo cuadrático medio	Densidad de potencia equivalente (mW/cm ²)
Ambiente controlado	$0.0001 \leq f < 0.3$	$< 20\bar{E}^2$ o $20\bar{H}^2$	
	$0.3 < f \leq 6$		<20
	$6 < f \leq 96$		$< 20(f/6)^{1/4}$
	$96 < f \leq 300$		40
Ambiente no controlado	$0.0001 \leq f < 0.3$	$< 20\bar{E}^2$ o $20\bar{H}^2$	
	$0.3 < f \leq 6$		4
	$6 < f \leq 30$		f/1.5
	$30 < f \leq 300$		20

4.2 ICNIRP

La ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) propone unas pautas para limitar la exposición a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (hasta 300 GHz). Para esto, utiliza dos tipos de principios:

- Restricciones básicas: restricciones a la exposición a campos EM que varían en el tiempo basadas directamente en los efectos sobre la salud conocidos. Dependiendo de la frecuencia, las cantidades físicas utilizadas para expresar dichas restricciones son densidad de corriente, tasa de absorción específica de energía (SAR) y densidad de potencia. Sólo la densidad de potencia en el aire puede medirse fácilmente en individuos expuestos.

Tabla 16. Restricciones básicas para campos eléctricos y magnéticos dependientes del tiempo para frecuencias hasta 10GHz.

Características de la exposición	Rango de frecuencias	Densidad de corriente para la cabeza y el tronco (mA/m ²)	SAR promedio de cuerpo completo (W/m ²)	SAR localizado cabeza y tronco (W/m ²)	SAR localizado (W/m ²)
Exposición ocupacional	Hasta 1 Hz	40	-	-	-
	1 Hz – 4 Hz	40/f	-	-	-
	4 Hz – 1 KHz	10	-	-	-
	1 KHz – 100 KHz	f/100	-	-	-
	100 KHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20
	10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20
Exposición al público en general	Hasta 1 Hz	8	-	-	-
	1 Hz – 4 Hz	8/f	-	-	-
	4 Hz – 1 KHz	2	-	-	-
	1 KHz – 100 KHz	f/500	-	-	-
	100 KHz – 10 MHz	f/500	0,08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	-	0,08	2	4

Para frecuencias entre 10 GHz y 300 GHz la restricción básica de densidad de potencia es de 10 W/m² para exposición pública y 50 W/m².

La densidad de potencia debe promediarse sobre cualquier área expuesta de 20 cm² y cualquier período de $68/f^{1.05}$ minutos (f en GHz) para compensar la decreciente profundidad de penetración a medida que la frecuencia aumenta.

La densidad de potencia máxima espacial, promediada sobre cualquier cm² debe ser menor que 20 veces el límite dado, es decir, 200 W/m².

- Niveles de referencia: se proporcionan como una forma práctica de estimación de la exposición a campos para determinar si las restricciones básicas podrían ser excedidas.

Algunos niveles de referencia se derivan de las restricciones básicas relevantes utilizando mediciones o técnicas computacionales; algunos consideran la percepción y efectos adversos indirectos de la exposición a EMF.

Las cantidades derivadas son intensidad de campo eléctrico (E), intensidad de campo magnético (H), densidad de flujo magnético (B), densidad de potencia (S) y corrientes a través de las extremidades (IL).

Las cantidades que consideran la percepción y otros efectos indirectos son la corriente de contacto (IC) y, para campos en forma de pulsos, la absorción de energía específica (SAR).

Mientras que el cumplimiento de los niveles de referencia garantiza la satisfacción de las restricciones básicas, su incumplimiento no necesariamente conduce a la violación de las restricciones.

Tabla 17. Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos EM dependientes del tiempo (Valores rms sin perturbación).

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (A/m)	Densidad de flujo magnético B (μT)	Densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} (W/m ²)
Hasta 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 Hz – 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$1,63 \times 10^5 / f^2$	-
8 Hz – 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-
25 Hz – 0,28 KHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
0,28 KHz – 65 KHz	610	24,4	30,7	-
65 KHz – 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2 / f$	-
1 MHz – 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2 / f$	-
10 MHz – 0,4 GHz	61	0,16	0,2	10
0,4 GHz – 2 GHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	$f / 40$
2 GHz – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Tabla 18. Niveles de referencia para exposición del público general a campos EM dependientes del tiempo (Valores rms sin perturbación).

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (A/m)	Densidad de flujo magnético B (μT)	Densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} (W/m ²)
Hasta 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1 Hz – 8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8 Hz – 25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
25 Hz – 0,8 KHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0,8 KHz – 3 KHz	$250 / f$	5	6,25	-
3 KHz – 150 KHz	87	5	6,25	-
150 KHz – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 MHz – 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 f$	$0,92 / f$	-
10 MHz – 0,4 GHz	28	0,073	0,0092	2
0,4 GHz – 2 GHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^2$	$f / 200$
2 GHz – 300 GHz	61	0,16	0,2	10

Tabla 19. Niveles de referencia para corrientes de contacto variables producidas por objetos conductores.

Características de la exposición	Rango de frecuencia	Corriente de contacto máxima (mA)
Exposición ocupacional	Hasta 2,5 KHz	1
	2,5 KHz – 100 KHz	0,4f
	100 KHz – 100 MHz	40
Exposición al público general	Hasta 2,5 KHz	0,5
	2,5 KHz – 100 KHz	0,2f
	100 KHz – 100 MHz	20

Tabla 20. Niveles de referencia para la corriente inducida en cualquier extremidad a frecuencias entre 10 MHz y 110 MHz.

Características de la exposición	Corriente de contacto máxima (mA)
Exposición ocupacional	100
Exposición al público general	45

La tabla 21 resume los límites de exposición recomendados correspondientes a los tipos de tecnologías que han causado preocupación en la sociedad: la electricidad en el hogar, las estaciones base de telefonía móvil y los hornos de microondas. La última actualización de estas directrices se realizó en abril de 1998.

Tabla 21. Resumen de los límites de exposición recomendados por la ICNIRP

	Frecuencia de la red eléctrica europea	Frecuencia de estaciones base de telefonía móvil		Frecuencia de los hornos de microondas	
Frecuencia	50 Hz	50 Hz	900 MHz	1,8 GHz	2,45 GHz
	Campo eléctrico (V/m)	Campo magnético (μT)	Densidad de potencia (W/m ²)	Densidad de potencia (W/m ²)	Densidad de potencia (W/m ²)
Límites de exposición para la población	5 000	100	4,5	9	10
Límites de exposición ocupacionales	10 000	500	22,5	45	

ICNIRP, CEM guidelines, Health Physics 74, 494-522 (1998)

Tabla 22. Mecanismos relevantes de interacción, efectos adversos, cantidades físicas biológicamente efectivas y niveles de referencia usados en diferentes zonas del espectro electromagnético

Zona del espectro RNI	Mecanismos relevantes de interacción	Efectos adversos	Cantidades físicas biológicamente efectivas	Exposición, niveles de referencia
Campos eléctricos estáticos	Cargas eléctricas superficiales	Molestia de los efectos superficiales, shock	Intensidad de campo eléctrico externo	Intensidad de campo eléctrico
Campos magnéticos estáticos	Inducción de campos eléctricos en fluidos en movimiento y tejidos	Efectos en el sistema cardiovascular y en el sistema nervioso central	Densidad de flujo magnético externo	Densidad de flujo magnético
Campos eléctricos variables en el tiempo (Hasta 10 MHz)	Cargas eléctricas superficiales. Inducción de campos eléctricos y corrientes	- Molestia de los efectos superficiales, electro-shock y quemaduras. - Estimulación de células nerviosas y musculares; efectos en las funciones del sistema nervioso	Intensidad de campo eléctrico externo. Intensidad de campo eléctrico o densidad de flujo	Intensidad de campo eléctrico. Intensidad de campo eléctrico.
Campos magnéticos variables en el tiempo (Hasta 10 MHz)	Inducción de campos eléctricos y corrientes	Estimulación de las células nerviosas y musculares; efectos en las funciones del sistema nervioso	Tejido expuesto a intensidad de campo eléctrico o densidad de corriente en los tejidos	Densidad de flujo magnético
Campos electro-magnéticos (100 KHz a 300 GHz)	Inducción de campos eléctricos y corrientes: absorción de energía dentro del cuerpo. > 10 GHz: absorción superficial de energía. Pulsos < 30 μ s, 300 MHz a 6 GHz, propagación de onda termo-acústica	-Excesivo calentamiento, electro-shock y quemaduras. -Excesivo calentamiento, electro-shock y quemaduras. -Molestias por los efectos audibles de microondas	-Tasa de absorción específica de energía. -Densidad de potencia. -Absorción específica de energía.	- Intensidad de campo eléctrico. - Intensidad de campo magnético; densidad de potencia. - Densidad de potencia pico

El estándar ICNIRP es usado en la mayoría de los países europeos y está ganando aceptación en otros países alrededor del mundo fuera de Norteamérica.

Los límites para campos eléctricos y magnéticos son similares a los límites propuestos por la regulación de 1997 de la FCC. La diferencia se encuentra en las regiones entre 1 MHz y 30 MHz y entre 300 MHz y 2000 MHz. A bajas frecuencias Safety Code 6 y el estándar ICNIRP tienen límites variables desde 1 MHz hasta 10 MHz.

4.3 PAUTAS DE LA FCC

Las pautas de la FCC para la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, se basan en los criterios de exposición recomendados en 1986 por el consejo nacional para la protección contra la radiación y mediciones de radiación (NRCP) y en el estándar desarrollado por el IEEE en 1991, posteriormente adoptado como estándar por el ANSI.

Tabla 23. Límites para exposición ocupacional / exposición controlada

Rango de frecuencias (MHz)	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia (mW/cm ²)	Tiempo de premedicación (minutos)
0,3 – 3	614	1,63	100 *	6
3 – 30	1842/f	4,89/f	900/f ² *	6
30 – 300	61,4	0,163	1	6
300 – 1500	-	-	f/300	6
1500 – 100000	-	-	5	6

* Densidad de potencia de onda plana equivalente

Tabla 24. Límites para exposición a la población general / exposición no controlada.

Rango de frecuencias (MHz)	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia (mW/cm ²)	Tiempo de premedicación (minutos)
0,3 – 3	614	1,63	100 *	30
3 – 30	824/f	2,19/f	180/f ² *	30
30 – 300	27,5	0,073	0,2	30
300 – 1500	-	-	f/1500	30
1500 – 100000	-	-	1	30

* Densidad de potencia de onda plana equivalente

La comisión ha determinado mediante cálculos y análisis técnicos que muchas instalaciones, debido a su baja potencia o elevación sobre el suelo, son inherentemente inofensivas, y por tanto tienen una probabilidad baja de causar exposiciones humanas que excedan los límites dados por las pautas, y los operadores de esas instalaciones son eximidos de tener que determinar conformidad con los límites de manera rutinaria.

Ninguna instalación de difusión de radio ni TV está excluida categóricamente. Así, aspirantes y licenciados de instalaciones de difusión deben determinar afirmativamente la conformidad de su instalación con las pautas antes de la construcción, y después de cada modificación de la misma o renovación de licencia.

Con respecto a servicios personales inalámbricos, una instalación celular se excluye categóricamente si la potencia radiada total efectiva (ERP) de todos los canales operados por el licenciado en un sitio es 1000 Vatios o menos. Si la instalación utiliza antenas sectorizadas, sólo se considera la potencia radiada total efectiva en cada dirección. En adición, una instalación celular es excluida categóricamente, sin importar su potencia, si no está ubicada sobre una edificación y el punto más bajo de la antena está al menos 10 metros sobre el suelo.

4.4 SAFETY CODE 6

El código de seguridad canadiense *Safety Code 6*, muestra los límites de la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencias en el rango entre 3 KHz y 300 GHz.

Tabla 25. Límites de exposición para trabajadores expuestos (incluyendo personas expuestas ocupacionalmente)

Frecuencia (MHz)	Intensidad de campo eléctrico; rms (V/m)	Intensidad de campo magnético; rms (A/m)	Densidad de potencia (W/cm ²)	Tiempo de premedicación (minutos)
0,003 – 1	600	4,9	-	6
1 – 10	600/f	4,9/f	-	6
10 – 30	60	4,9/f	-	6
30 – 300	60	0,163	10 *	6
300 – 1500	3,54f ^{0,5}	0,0094f ^{0,5}	f/30	6
1500 – 15000	137	0,364	50	6
15000 – 150000	137	0,364	50	616000/f ^{1,2}
150000 – 300000	0,354f ^{0,5}	0,0094f ^{0,5}	3,33x10 ⁻⁴ f	616000/f ^{1,2}

* La densidad de potencia es aplicable para frecuencias mayores que 100 MHz

Restricciones básicas:

Tabla 26. Límites de tasa de absorción específica (SAR):

condición	Límite de SAR (W/Kg)
SAR promediada sobre la masa total del cuerpo	0,4
SAR local para cabeza, cuello y tronco, promediada sobre cualquier gramo de tejido	8
SAR en las extremidades, promediada sobre 10 gramos de tejido	20

Tabla 27. SAR límite para personas no clasificadas como trabajadores expuestos.

Condición	SAR límite (W/kg)
SAR promediada sobre toda la masa del cuerpo	0.008
SAR local para cabeza, cuello y tronco, promediado sobre 1 g de tejido*	1.6
SAR en las extremidades, promediada sobre 10 g de tejido*	4

*Definido como un volumen de tejido en la forma de un cubo

Tabla 28. Corrientes de contacto e inducidas límite para personas no clasificadas como trabajadores expuestos.

Frecuencia (MHz)	Corriente rms inducida (mA) a través de		Corriente de contacto rms (mA). Contacto fuerte de mano y a través de cada pie	Tiempo de promediación
	los dos pies	de un pie		
0,003 – 0,1	900f	450f	450 f	1 s
0,1 – 110	90	45	45	6 min

Tabla 29. Corrientes de contacto e inducidas límite para trabajadores expuestos.

Frecuencia (MHz)	Corriente rms inducida (mA) a través de		Corriente de contacto rms (mA). Contacto fuerte de mano y a través de cada pie	Tiempo de promediación
	los dos pies	de un pie		
0,003 – 0,1	2000f	1000f	1000 f	1 s
0,1 – 110	200	100	10	6 min

Tabla 30. Límites de exposición para personas no clasificadas como trabajadores expuestos (incluyendo el público general)

Frecuencia (MHz)	Intensidad de campo eléctrico; rms (V/m)	Intensidad de campo magnético; rms (A/m)	Densidad de potencia (W/cm ²)	Tiempo de premediación (minutos)
0,003 – 1	280	2,19	-	6
1 – 10	280/f	2,19/f	-	6
10 – 30	28	2,19/f	-	6
30 – 300	28	0,073	2 *	6
300 – 1500	1,585f ^{0.5}	0,0042f ^{0.5}	f/150	6
1500 – 15000	61,4	0,163	10	6
15000 – 150000	61,4	0,163	10	616000/f ^{1.2}
150000 – 300000	0,158f ^{0.5}	0,000421f ^{0.5}	6,67x10 ⁻⁵ f	616000/f ^{1.2}

* La densidad de potencia es aplicable para frecuencias mayores que 100 MHz

5. LEGISLACIÓN EN COLOMBIA SOBRE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

El Gobierno Nacional fijó los procedimientos y trámites que deben ser tenidos en cuenta por las empresas de telecomunicaciones que deseen instalar estaciones radioeléctricas, con el fin de limitar la exposición de las personas a los campos electromagnéticos.

Fue expedido entonces el decreto 195 del 31 de enero de 2005.

A continuación se mencionan algunos aspectos relevantes de esta norma.

- Decreto 195 del 31 de enero de 2005: el decreto contempla los trámites e información que los operadores de infraestructura deben realizar para la instalación de estaciones radioeléctricas ante los diferentes entes territoriales.

En la elaboración del decreto participaron los Ministerios de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Protección Social y Comunicaciones quienes tuvieron en cuenta un estudio realizado por la Universidad Javeriana, elaborado en el año 2002, sobre las principales nociones, conceptos, regulaciones internacionales y recomendaciones en materia de radiación electromagnética producida por servicios de telecomunicaciones.

El estudio recomendó la adopción de los niveles de referencia de emisión de campos definidos por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación Ionizante, ICNIRP (por sus siglas en inglés).

Las obligaciones establecidas en el decreto, se aplicarán a quienes presten servicios o desarrollen actividades de telecomunicaciones, exceptuando el de televisión.

En la tabla 31 se muestran los límites máximos de exposición en Colombia, de acuerdo al Decreto 195 del 31 de enero de 2005.

Tabla 31. Límites máximos de exposición en Colombia

Tipo de exposición	Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} (W/m ²)
Ocupacional	9 – 65 KHz	610	24,4	-
	0,065 – 1 MHz	610	1,6/f	-
	1 – 10 MHz	610/f	1,6/f	-
	10 – 400 MHz	61	0,16	10
	400 – 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	f/40
	2 - 300 GHz	137	0,36	50
Público en general	9 – 150 KHz	87	5	-
	0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	-
	1 – 10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	-
	10 – 400 MHz	28	0,073	2
	400 – 2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	f/200
	2 - 300 GHz	61	0,16	10

6. CONCLUSIONES

Aunque son numerosos los estudios que se han llevado a cabo para determinar los peligros potenciales para la salud humana derivados de la exposición a campos EM de RF, la información obtenida aún no ha sido concluyente; por lo tanto, no es correcto afirmar que la exposición a radiación electromagnética tenga efectos adversos sobre los seres humanos tales como enfermedades cardiovasculares, neuro-degenerativas o cáncer.

Los efectos biológicos son respuestas medibles del organismo o células a un estímulo o cambio en el ambiente. Tales respuestas no necesariamente son dañinas a la salud. Reaccionar a los cambios en el medio ambiente es algo normal en nuestra vida. Aunque, el cuerpo podría no poseer mecanismos de compensación adecuados para mitigar todos los cambios o fuerzas ambientales.

Estas disertaciones han servido a los científicos para mostrar que hay una necesidad de controles al respecto.

Con este fin, la Organización Mundial de la Salud decidió impulsar el Proyecto Internacional CEM con el cual logró reunir a más de sesenta países con el objetivo de identificar los criterios para el establecimiento de los estándares de CEM y la elaboración del Marco para el Desarrollo de Estándares para CEM basados en la Salud. El propósito del Proyecto CEM fue el de promover el establecimiento de los límites de exposición y otras medidas de control que proporcionen el mismo o similar nivel de protección de la salud para todas las personas.

En la actualidad, las investigaciones se han concentrado en las exposiciones a bajas frecuencias que son capaces de causar incrementos significativos de temperatura en las personas. Varios estudios recientes en usuarios de teléfonos móviles no encontraron evidencia convincente de un incremento de riesgo de cáncer u otras enfermedades. Aunque, la tecnología es demasiado reciente como para descartar posibles efectos a exposiciones prolongadas.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Organización mundial de la salud. Página Web

<http://www.who.int/es/>

2. Proyecto Internacional CEM de la OMS. Página Web:

<http://www.who.int/emf/>

3. Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de campos electromagnéticos. Organización mundial de la salud. Página Web:

<http://whqlibdoc.who.int/publications/2005/924354572X.pdf>

4. La telefonía móvil y su salud. Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones, Perú. Organización mundial de la salud. Página Web:

http://www.who.int/peh-emf/publications/en/esp_mobphonehealthbk.pdf

5. Marco para el desarrollo de estándares CEM basados en la salud. Organización mundial de la salud. INICTEL-UNI, 2007. Lima, Perú. Página Web:

http://www.who.int/peh-emf/publications/EMF_standards_framework_ES.pdf

6. Información sobre los campos electromagnéticos. OMS. Página Web:

<http://www.who.int/peh-emf/about/es/>

7. *Description of current national guidelines*. WHO. Página Web:

<http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/worldmap5.htm>

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

<http://www.icnirp.org>

9. Recomendación para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz), ICNIRP. Página Web:

<http://www.icnirp.de/documents/emfgdlesp.pdf>

10. ICNIRP. “*General approach to protection against non-ionizing radiation*”. Health Physics Society. 2002. Página Web:

<http://www.icnirp.de/documents/philosophy.pdf>

11. Normatividad de las antenas. Ministerio de comunicaciones de la República de Colombia. Página Web:

<http://www.normatividadantenas.gov.co/>

12. Proyecto estudio de los límites de la exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno. Comisión de Regulación de Telecomunicaciones – CRT. Página Web:

www.normatividadantenas.gov.co/documentos/Estudio_limite_exposicion_PUJ/2-InformeFinal.PDF

13. Decreto 195 de 2005. Página Web:

http://www.cntv.org.co/cntv_bop/basedoc/decreto/2005/decreto_0195_2005.html

14. *The NIEHS special RAPID program on electromagnetic fields*. Página Web:

<http://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/emf/>

15. Royal Society of Canada (1999). “*A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunications devices*”. Expert panel report prepared by the Royal Society of Canada for Health Canada. Ottawa, Royal Society of Canada, RSC.EPR 99-1. Página Web:

<http://www.rsc.ca/>

16. Recomendación del Consejo Europeo de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) (1999/519/CE) (DO L 199 de 30.7.1999, p. 59). Página Web:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1999H0519:19990712:ES:PDF>

17. Comisión de la Unión Europea. *"Implementation report on the Council Recommendation limiting the public exposure to electromagnetic fields 0 Hz to 300 GHz"*. Bélgica diario oficial de la Comunidad Europea, 2002. Página Web:

http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/environment/EMF/implement_rep_en.pdf

18. SERWAY Raymond A. Física. Tomos I y II. México: Ed. McGraw Hill, 1997

19. Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). *"Code of Federal Regulation (CFR), Title 47, Section 2.1093, "Radiofrequency radiation exposure evaluation: portable device"*. Disponible en la página Web:

http://wireless.fcc.gov/index.htm?job=rules_and_regulations

20. Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). *"Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields"*. OET Bulletin 65. Agosto 1997. Disponible en la página Web:

<http://www.fcc.gov/oet/info/documents/bulletins/>

21. Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). *"Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields"*. OET Bulletin 56. Agosto 1999. Página Web:

http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet56/oet56e4.pdf

22. *IEEE Std C95.1-1991 – 1999 Edition. IEEE Standard for Safety Level With Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, 1992. Página Web:

http://catedra-coitt.euitt.upm.es/web_salud_medioamb/normativas/ieee/C95.1.pdf

8. ANEXOS

8.1 GLOSARIO

ABSORCIÓN: en radio propagación de ondas, atenuación de una onda de radio debida a la disipación de su energía.

AMBIENTE CONTROLADO: área donde hay exposición de campos electromagnéticos que puede ser visitado por personas que son conscientes del riesgo potencial que podrían sufrir por radiación.

AMBIENTE NO CONTROLADO: lugar en donde las personas no conocen y no tienen control del nivel de su exposición a la radiación de RF.

CAMPO ELÉCTRICO: región asociada con una distribución de las fuerzas eléctricas actuando sobre cargas eléctricas.

CAMPOS ESTÁTICOS: campos eléctricos o magnéticos que no tienen variación en el tiempo.

CAMPO MAGNÉTICO: región asociada con las fuerzas eléctricas actuando sobre partículas ferromagnéticas o cargas eléctricas en movimiento.

CARCINOGENICO: sustancia o agente que causa cáncer.

CEM: abreviatura para campos eléctricos y magnéticos o campos electromagnéticos.

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

COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA (EMC): propiedad de un aparato eléctrico o electrónico de funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético sin introducir señales interferentes en dicho ambiente.

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

DENSIDAD DE POTENCIA: potencia por unidad de superficie normal a la dirección de propagación de la onda electromagnética, suele expresarse en vatios por metro cuadrado (W/m^2).

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

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

EFECTO A LARGO PLAZO: efecto biológico que solamente se manifiesta por sí mismo un largo tiempo después de la exposición.

EFECTO BIOLÓGICO: es cualquier respuesta fisiológica ante la exposición a los CEM. Algunos efectos pueden ser respuestas sutiles dentro del rango fisiológico normal o pueden resultar en condiciones patológicas, mientras que otros pueden tener consecuencias benéficas para una persona.

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

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

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

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

ESTACIÓN BASE (telefonía móvil): consta de la antena emisora de radiación electromagnética en el rango de radiofrecuencias, la estructura de soporte, el gabinete de equipos y la estructura del cable.

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

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

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

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

FACTOR DE REDUCCIÓN: magnitud del factor de reducción o factor de seguridad en los límites de exposición que incorporan las incertidumbres en los datos.

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

GESTIÓN DEL RIESGO: el proceso de identificar, evaluar, seleccionar, e implementar acciones para reducir el riesgo a la salud humana y a los ecosistemas.

INCERTIDUMBRE: conocimiento imperfecto del estado de un sistema bajo consideración.

LÍMITE DE EXPOSICIÓN: valores de parámetros máximos específicos relacionados a la intensidad del campo electromagnético al cual las personas pueden estar expuestas.

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

NIVELES DE REFERENCIA: valores de la intensidad de campo eléctrico y magnético que son derivados de las restricciones básicas y que sirven para establecer si las restricciones básicas están siendo satisfechas.

NIVEL DE UMBRAL: mínimo valor del parámetro de exposición necesario para la observación primaria.

ONDA CONTÍNUA: onda cuyas oscilaciones sucesivas son idénticas bajo condiciones de estado estable.

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

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD: la Organización Mundial de la Salud (OMS) es una agencia de las Naciones Unidas cuya misión es actuar como autoridad directora y coordinadora del trabajo mundial sobre salud, promoviendo la cooperación técnica, asistiendo a los gobiernos en el fortalecimiento de los servicios de la salud y trabajando hacia la prevención y control de las enfermedades epidémicas, endémicas y otras.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA: propagación de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo a través del espacio a la velocidad de la luz.

RADIACIÓN NO-IONIZANTE: las Radiaciones No-Ionizantes (RNI) son ondas electromagnéticas que tienen energías fotónicas demasiado débiles como para romper los enlaces atómicos.

RADIOFRECUENCIA (RF): cualquier frecuencia a la cual la radiación electromagnética es útil para telecomunicaciones. Radiofrecuencia se refiere al rango de 10 MHz a 300 GHz.

REGULACIÓN: conjunto de reglas.

RIESGO: la probabilidad de un resultado específico, generalmente adverso, dado un conjunto particular de condiciones.

RESTRICCIÓN BÁSICA: límite de exposición basado en la salud que se relaciona con ciertos fenómenos electromagnéticos que, si se exceden, pueden conducir a un deterioro de la salud. Para los campos estáticos estos límites son las intensidades de campo eléctrico y magnético, para los campos alternos hasta los 10 MHz, son las corrientes inducidas en el cuerpo, para los campos alternos de frecuencias mayores a 100 kHz, estos límites son la conversión en calor que tiene lugar en el cuerpo. Entre 100 kHz y 10 MHz hay que tomar en cuenta tanto la inducción de corrientes como la generación de calor.

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

SALUD PÚBLICA: la ciencia y la práctica de proteger y mejorar la salud de una comunidad, tanto por la práctica de medicina preventiva, educación de la salud, control de las enfermedades contagiosas, aplicación de medidas sanitarias y monitoreo de los peligros ambientales.

SEGUIMIENTO DEL RIESGO: proceso de monitoreo y la provisión de realimentación a las etapas siguientes del proceso de gestión del riesgo con sistemas de seguimiento coleccionando datos en el tiempo sobre factores de riesgos y los resultados en la salud.

TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SAR): tasa a la cual la energía es absorbida en los tejidos del cuerpo. Se mide en vatios por kg (W/kg); el SAR es la medida dosimétrica que ha sido ampliamente adoptada en frecuencias por encima de 100 kHz.

TIEMPO DE PROMEDIACIÓN: período de tiempo mínimo en el que se deben realizar las mediciones con el fin de determinar el cumplimiento con los límites máximos de exposición.