

PROYECTO

**303**

*PNE*

**SUBTEL**

N° Ingreso: 69713

Fecha: 19/12/2006



6971320061219

# Ondas de Radio, Antenas y Salud: Nociones Fundamentales para el Legislador

**Christian Oberli, Ph.D.**

**Profesor Auxiliar**

**Departamento de Ingeniería Eléctrica**

**Pontificia Universidad Católica de Chile**

Diciembre de 2006

*1009 20/12*

**SUBSECRETARÍA DE TELECOMUNICACIONES**  
**MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES**

<b>Autor</b>	Christian Oberli Versalles 3021, Dpto. 141, Las Condes wireless@ing.puc.cl
<b>Colaboradores</b>	María Constanza Estela Zamora Martín García Palomer
<b>Fecha</b>	15 de diciembre de 2006
<b>Extensión del Documento</b>	55 páginas, incluida la portada
<b>Contraparte Técnica</b>	Sr. Cristián Núñez Jefe División Política Regulatoria y Estudios Subsecretaría de Telecomunicaciones Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones



---

**Christian Oberli, Ph.D.**

## Contenido

---

1	<i>Resumen Ejecutivo</i>	4
2	<i>Introducción</i>	5
3	<i>Conceptos Fundamentales sobre Radiación Electromagnética</i>	6
3.1	Ondas Electromagnéticas	6
3.1.1	Frecuencia y Longitud de Onda	7
3.1.2	Espectro Electromagnético	8
3.2	Emisión, Exposición y Absorción de Ondas de Radio	11
3.3	Radiación Electromagnética en la Vida Diaria	12
4	<i>Antenas</i>	16
4.1	Pérdidas de Energía	17
4.2	Tipos de Antenas	20
4.3	Patrones de Radiación	23
4.4	Efectos Estéticos	25
5	<i>Efectos en la Salud y Límites de Protección</i>	28
5.1	Estudios sobre EMF y la Salud	29
5.1.1	Análisis de la Organización Mundial de la Salud	29
5.1.2	Análisis de la ICNIRP	32
5.1.3	Análisis de la CSTEE y la SCENIHR	33
5.1.4	Análisis de la IEEE	35
5.2	Recomendaciones para Niveles Máximos de Absorción y Exposición	36
6	<i>Proyección Futura</i>	41
6.1	Evolución de Tecnologías Existentes	41
6.2	Aplicaciones Futuras	42
7	<i>Resumen y Conclusiones Generales</i>	44
8	<i>Referencias</i>	47
9	<i>Glosario</i>	49
	<i>Anexo A. Recomendaciones IEEE e ICNIRP</i>	52

## *1 Resumen Ejecutivo*

---

En el último siglo la comunicación mediante ondas de radio ha tenido un crecimiento extremadamente importante. Y con este auge ha surgido la pregunta si las ondas de radiofrecuencia podrían tener efectos nocivos en la salud. Muchos estudios se han realizado en esta materia y aunque no se han llegado a resultados consistentes es importante conocer los estándares internacionales de exposición y absorción de energía electromagnética.

Este documento pretende primero repasar algunos conceptos fundamentales de electromagnetismo y así conocer los conceptos físicos que sostienen la radiación electromagnética. Después se analizarán los fenómenos involucrados en las antenas y cuáles son las características de ellas. Finalmente, se detallarán los estudios que se han realizado sobre sus posibles efectos de salud y las normas existentes de límites de exposición y absorción. Se incluyen también un análisis de las proyecciones de la industria y un glosario con los términos técnicos que son usados a través del documento.

## *2 Introducción*

---

A fines del siglo XIX era claro en el mundo científico que la comunicación inalámbrica es posible. Los experimentos y teorías de Faraday (1831), Maxwell (1861), Tesla (1893) y otros, abrieron camino al desarrollo de la comunicación por ondas de radio como la conocemos hoy en día. De esta manera, a través del siglo XX se desarrollaron múltiples medios de comunicaciones inalámbricas; la radio, la televisión, la telefonía celular y el acceso inalámbrico a Internet, entre otros.

Las ondas de radio han permitido que millones de comunicaciones se lleven a cabo en el mundo y han revolucionado la forma en que nos comunicamos. En Chile, la televisión y la radio se han establecido históricamente como los principales medios masivos de comunicación y, más recientemente, la penetración de la telefonía celular en Chile ha alcanzado más de un 80%. Además, existe el consenso que las comunicaciones futuras (telefonía celular, televisión digital, acceso inalámbrico a Internet, entre otras) convergerán al uso de medios inalámbricos, de manera que podemos esperar un crecimiento aún mayor en el uso de ondas de radio en Chile.

Con el masivo uso de las ondas electromagnéticas en la era moderna, ha surgido la preocupación científica por los posibles efectos negativos que podrían tener en la salud. Es por esto que organismos como la Organización Mundial de la Salud y otras organizaciones han estudiado el tema durante los últimos años intentando averiguar cuáles son los reales efectos de la radiación electromagnética en los seres humanos.

Este documento busca primero revisar conceptos fundamentales de electromagnetismo para entender como funcionan las antenas y la radiación en general, enfocándose en las ondas de radiofrecuencia, que son las utilizadas en comunicaciones. En este punto se detallarán las características del espectro electromagnético y los parámetros utilizados para medir la exposición y absorción de ondas de radio por el cuerpo humano. En la sección siguiente, se estudiarán en detalle las antenas y los fenómenos involucrados en ellas. Luego, en la sección 5, se detallarán los resultados a que han llegado los estudios más importantes respecto a los posibles efectos de la radiación electromagnética en la salud humana. Además, se estudiarán los estándares que se han establecido para regir los niveles de interacción con la energía electromagnética. Finalmente, se analizará la proyección de las tecnologías inalámbricas y se estudiará qué posibles nuevas aplicaciones pueden tener las comunicaciones por ondas de radio en el futuro.

En este documento se presentarán diferentes conceptos, tanto físicos como biológicos o técnicos, los que serán indicados en **negrita** y detallados en el glosario para una fácil referencia.

## 3 Conceptos Fundamentales sobre Radiación Electromagnética

### 3.1 Ondas Electromagnéticas

Las ondas de radio son en lo fundamental energía que puede ser usada para transmitir información de un punto a otro a través del espacio. Estas ondas son conocidas generalmente como **ondas electromagnéticas**. Al hablar de las ondas usadas en comunicaciones, se habla en general de **ondas de radiofrecuencia** o **RF**.

La **radiación** es definida como la propagación de energía por el espacio en forma de ondas, de manera similar al movimiento de las olas que se forman en el agua. La Figura 1 muestra cómo se forman ondas en el agua a partir de una gota que cae en ella.



Fig. 1 – Ejemplo de ondas formadas en el agua por la caída de una gota. La energía de la gota se transforma en energía de las olas [ScienceClarified].

La energía se transmite mediante partículas cargadas (electrones) que se mueven dentro de un conductor (como, por ejemplo, una antena) y generan un **campo magnético**, como el de un imán o el de la tierra, y un **campo eléctrico** asociado. El par de campos eléctrico y magnético generados es conocido en su conjunto como **campo electromagnético** (CEM o EMF del inglés, ElectroMagnetic Field). El término “campo” es usado generalmente para describir la presencia de energía electromagnética en un punto dado.

Para generar estas ondas es necesario entregar y quitar energía alternadamente, como en un columpio, a un objeto conductor metálico o **antena**. Esta forma de entregar electricidad es conocida como **corriente alterna**. Así, alimentando con corriente alterna a una antena (por ejemplo por una radioemisora, un canal de televisión o una estación base de telefonía celular) es posible generar ondas electromagnéticas que son irradiadas

por el aire desde la antena transmisora hasta ser recibidas por una antena receptora que percibe las variaciones de corriente de manera de recibir la información transmitida. Es importante notar que como cualquier objeto metálico conductor puede funcionar como antena, prácticamente todos los aparatos eléctricos domésticos (aspiradoras, tostadoras, estufas eléctricas, computadores, etc) irradian algún nivel de energía electromagnética.

### 3.1.1 Frecuencia y Longitud de Onda

Como todo fenómeno de ondas, la radiación electromagnética tiene parámetros de **frecuencia** y **longitud de onda**. La frecuencia es el número de ciclos que tiene la onda por segundo. La longitud de onda (denotada con la letra  $\lambda$ ) es la distancia cubierta por un ciclo completo de onda, como se ve en la Figura 2. Aquí la Figura (a) muestra una onda de baja frecuencia y alta longitud de onda mientras la onda de la Figura (b) es una de alta frecuencia y baja longitud de onda.

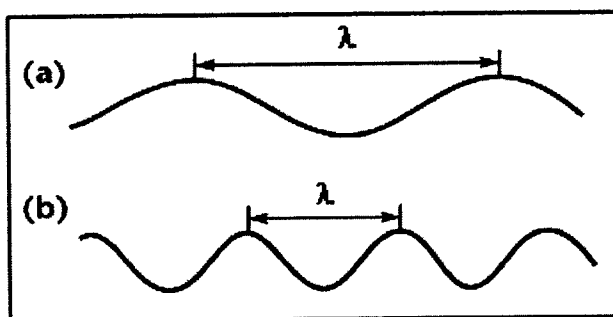


Fig. 2 – Ondas de diferente longitud de onda

Por ejemplo, una típica onda de radio transmitida por una estación FM tiene una longitud de onda de 3 metros y una frecuencia de 100 millones de ciclos por segundo o 100 MHz (esto es, 100 millones de **Hertz**. Un “Hertz” -abreviado Hz- es equivalente a un ciclo por segundo). La onda de la radio Duna, por ejemplo, es transmitida a 89,7 MHz, entonces, en este caso, 89,7 millones de ondas electromagnéticas pueden ser transmitidas a un punto dado en un segundo.

Una analogía muy simple ayuda a ilustrar estos conceptos: imagínese que ata una cuerda muy larga al techo de una pieza y sostiene fijo el extremo libre. Agitándola en forma muy lenta va a generar una onda grande; mientras más rápido sea el movimiento, se van a generar un grupo de ondas pequeñas.

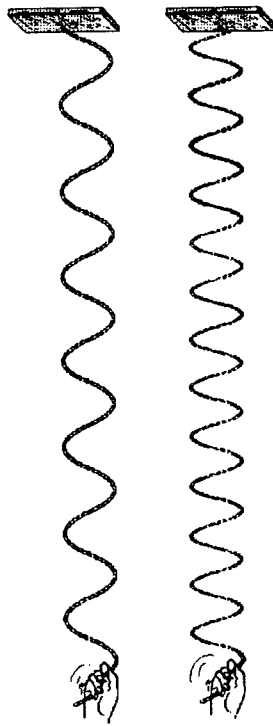


Fig. 3 – Ejemplo de ondas formadas con una cuerda

El largo de la cuerda va a permanecer constante, entonces, mientras más ondas usted genere (altas frecuencias) más pequeña va a ser la distancia entre ellas (bajas longitudes de onda). Además, se puede deducir que la cuerda de frecuencia más grande lleva una mayor energía, como se verá más adelante.

### 3.1.2 Espectro Electromagnético

Todas las posibles frecuencias componen el **espectro electromagnético**: desde ondas de extremadamente baja frecuencia (conocidas como **ELF**, de Extremely Low Frequency en inglés), con longitudes de onda muy grandes y frecuencias de algunas decenas de Hertz, hasta los rayos X o gamma que tienen muy pequeñas longitudes de onda y frecuencias altísimas (del orden de  $10^{20}$  Hz) . En medio de estos dos extremos tenemos las ondas de radio, las microondas, la radiación infrarroja, la luz visible y la radiación ultravioleta, en ese orden. La parte RF del espectro es generalmente definida como la banda en que la frecuencia va desde 3 kiloHertz (un kilohertz son mil Hertz) hasta 300 gigaHertz (un gigaHertz son mil millones de Hertz).



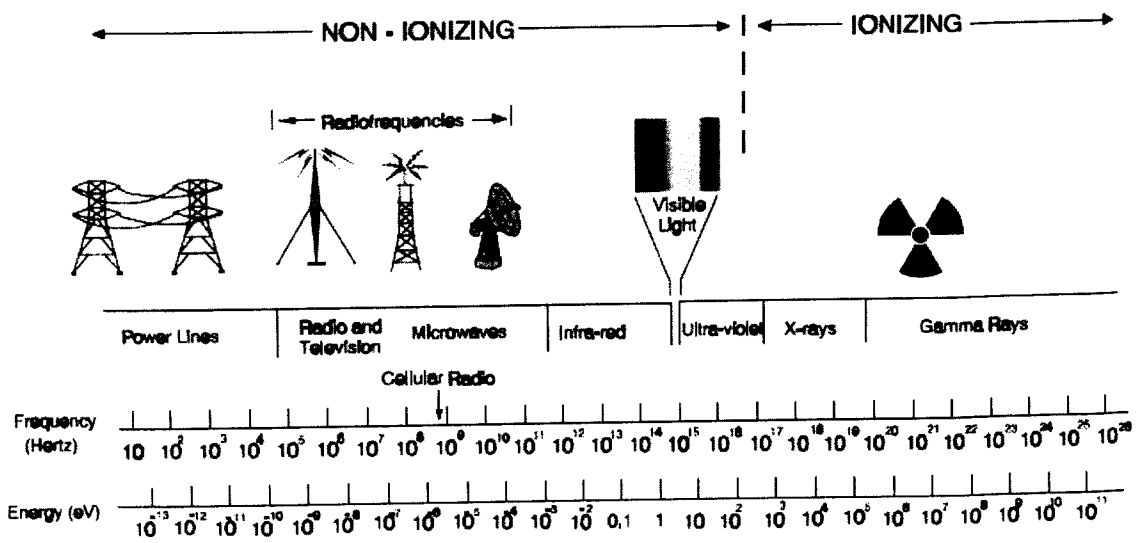


Fig. 4 – Espectro electromagnético [OET 1999]

La Tabla 1 describe los rangos de frecuencia del espectro y en qué se utilizan:

Tipo	Frecuencia	Descripción
ELF (Extremely Low Frequencies)	30Hz - 300Hz	Frecuencias muy bajas. Por ejemplo la corriente eléctrica tiene una frecuencia de 50Hz
LF (Low Frequencies)	300Hz - 3 kHz	En esta banda se encuentra la frecuencia de la voz humana, por lo tanto el teléfono funciona a esta frecuencia
VLF (Very Low Frequencies)	3 kHz - 30 kHz	Radionavegación para submarinos cerca de la superficie
MF (Medium Frequencies)	30 kHz - 300 kHz	Radio AM y radio amateur
HF (High Frequencies)	300 kHz - 3 MHz	Radio AM
VHF (Very High Frequencies)	3 MHz - 30 MHz	Para comunicación de radio terrestre de rango medio y corto (llamada onda corta)
UHF (Ultra High Frequencies)	30 MHz - 300 MHz	Radio FM (88MHz -108MHz), Televisión (canales 2 - 13)
SHF (Super High Frequencies)	300 MHz - 3 GHz	Televisión (canales 14 - 69), sistemas celulares, teléfonos inalámbricos
EHF (Extremely High Frequencies)	3 GHz - 30 GHz	Microondas, Radares modernos, Wifi, USB inalámbrico
EHF (Extremely High Frequencies)	30 GHz - 300 GHz	Radio astronomía, propósitos gubernamentales o radares de alta resolución

High Frecuencias)		
Infrarrojo	300 GHz – 4,3 THz	En esta banda se encuentra el infrarrojo, que produce radiación térmica. Por ejemplo la "visión nocturna" utiliza esta banda.
Luz visible	4,3 THz – 7,5 THz	Las "sub-bandas" de esta banda corresponden a los colores. Es la luz que el humano puede ver con sus ojos.
Ultravioleta	7,5 THz- 3000 THz	Se divide en UVA UVB y UVC. El sol emite dichas radiaciones pero la atmósfera filtra gran parte de ella y solo permite el paso de UVA.
Rayos X	3000 THz – 300000 THz	Debido a su gran energía pueden penetrar objetos como el cuerpo humano. Por esto se recomienda que mujeres embarazadas no se realicen radiografías ya que puede generar daño en el feto.
Gamma	>300000 THz	Se utiliza en la esterilización de equipos médicos ya que es capaz de matar bacterias. También se utilizan en el tratamiento de cáncer en cirugías (cuchillo de rayos gamma)

Tabla 1 – Segmentos del espectro electromagnético [OET 1999]

Como se puede ver de la Tabla, los rangos de frecuencia usados en comunicaciones son de nivel medio. Esto es así porque las ondas electromagnéticas tienen un nivel de contenido energético proporcional a su frecuencia. Se necesita que las ondas tengan suficiente energía para poder transmitir la información pero no se pueden usar ondas de frecuencia muy alta debido a que pueden producir daño en los tejidos debido a la **ionización** de las moléculas y átomos. La ionización es el proceso por el cual pasan las moléculas y átomos al ocurrir movimiento de electrones. Este proceso puede producir cambios moleculares que lleven a cambios en los tejidos biológicos, incluyendo efectos en el material genético o ADN. Para que esto ocurra se requieren ondas de alto nivel energético (es decir alta frecuencia), como los rayos X o gamma. Es por esto que este tipo de rayos son considerados ejemplos de **radiación ionizante**. La radiación ionizante está muy asociada a la generación de energía nuclear, donde generalmente se habla simplemente de "radiación" para referirse a este fenómeno.

La energía de las ondas RF no es lo suficientemente grande como para generar ionización en los átomos y moléculas. Es por esto que la radiación RF es un ejemplo de **radiación no-ionizante**, al igual que la luz visible, la radiación infrarroja y otras formas de energía electromagnética de baja frecuencia.

Es muy importante notar la diferencia entre radiación ionizante y no-ionizante porque en ambos casos la forma en que interactúa la energía con los seres vivos es muy diferente. En el punto 5 se hablará sólo de los estudios de los efectos de la radiación no-ionizante en la salud humana, ya que los daños de la radiación ionizante son ampliamente conocidos.

**Resumen:** La radiación electromagnética es energía que viaja en forma de ondas y sirve para transmitir información a través del aire. Como toda onda, tiene una frecuencia y longitud de onda. Según su frecuencia, las ondas se ordenan en el espectro

electromagnético y pueden ser ionizantes si tienen frecuencias muy altas. Estas ondas son las que producen quemaduras en los tejidos. Las ondas que se usan en comunicaciones son no-ionizantes..

### 3.2 Emisión, Exposición y Absorción de Ondas de Radio

Se hablará de **emisión** cuando una fuente produce radiación electromagnética (como por ejemplo una antena), y de **exposición** cuando parte de la energía de una emisión entra en contacto con una persona en forma distinta a los fenómenos electromagnéticos que se originan de los procesos fisiológicos del cuerpo o de otros fenómenos naturales.

Estos fenómenos son medidos en términos de la **densidad de potencia**. La densidad de potencia está definida como la potencia por unidad de área. Puede ser expresada entonces en unidades de **Watt** por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). El Watt (W) es la unidad de **potencia** y representa la energía consumida o entregada por unidad de tiempo. Por ejemplo, una estufa eléctrica doméstica típicamente consume aproximadamente 1000 Watts de potencia.

Es muy importante distinguir las diferencias entre todos estos conceptos. Por ejemplo, no es lo mismo jugar un partido de fútbol de cuatro horas que un partido de golf de la misma duración. Es evidente que el jugador de fútbol consume una mayor cantidad de energía en el mismo tiempo, por lo que se puede decir que tuvo una sesión deportiva de mayor potencia. Tenemos que considerar también cómo afecta el tamaño de la superficie que está recibiendo la energía electromagnética. Si, por ejemplo, tenemos en una playa muy calurosa un vaso de agua, es probable que éste se caliente mucho, mientras el mar se mantiene igual de frío. Aunque el agua recibe la misma densidad de potencia en el vaso y en el mar, el vaso consume mayor energía debido a que tiene una menor superficie.

Se hablará además de **absorción** al referirse a la energía electromagnética que capta y asimila el cuerpo humano. Esta absorción se puede manifestar como un cambio de temperatura en la parte del cuerpo que está siendo irradiada. Si se absorben ondas de mucha energía, como los rayos X o gamma, el nivel de absorción es tan alto que se pueden producir quemaduras en la piel, debido a la ionización.

Para medir la absorción se usa el indicador llamado **SAR** (del inglés Specific Absorption Rate, o tasa de absorción específica). El SAR se ha establecido en círculos científicos y legislativos como el predictor preferido de efectos térmicos debido a la absorción de energía electromagnética. La Organización Mundial de Salud define el SAR como “la tasa a la cual la energía es absorbida en los tejidos del cuerpo en Watts por kg ( $W/kg$ )” [OMS Handbook].

Experimentalmente, con animales de laboratorio se ha encontrado que es necesario un SAR de al menos  $4 W/kg$  en el cuerpo completo (que genera un aumento de aproximadamente  $1^{\circ}C$ ) para producir un efecto fisiológico [Nokia 2006]. Además, bajo condiciones ambientales típicas, un tejido u órgano dado debe llegar a una temperatura de  $43^{\circ}C$  para sufrir algún daño, como formación de cataratas o leves quemaduras de la piel. Este aumento de temperatura se logra con una exposición de  $1000 W/m^2$  o absorción de SAR de más de  $100 W/kg$ . [Nokia 2006]

**Resumen:** Al hablar de los efectos de la radiación es necesario hablar de emisión, exposición y absorción. La exposición es el nivel de densidad de potencia a que está sujeto un punto dado. La absorción es el nivel de energía que penetra el cuerpo humano y es medido mediante el SAR.

### 3.3 Radiación Electromagnética en la Vida Diaria

Como se ha mencionado, la energía electromagnética es usada ampliamente por diferentes servicios de comunicaciones. A continuación, se presentan algunos ejemplos de dispositivos que generan ondas RF.

#### Radio y Televisión tradicional

Funcionan entre las bandas LF y UHF, según resume la siguiente tabla.

Radio AM	53 kHz – 160 kHz
Radio FM	88 MHz – 108 MHz
TV Canales 2 - 6	54 MHz – 88 MHz
TV Canales 7 -13	174 MHz – 216 MHz
TV Canales 14 - 69	512 MHz – 806 MHz

#### Televisión Digital

Corresponde a la nueva generación de televisión, en las que se transmiten y reciben señales digitales y no analógicas como en la televisión actual. Su ventaja sobre la televisión tradicional es que utiliza el espectro electromagnético en forma más eficiente. Esto permite dejar lugar para más canales digitales. Además cuenta con mejor calidad de sonido y nuevos servicios como la creación de comunicación de retorno desde el consumidor con lo que se genera la posibilidad de aplicaciones interactivas.

Existen los estándares europeo, norteamericano y japonés. En Chile aún se está legislando sobre qué estándar utilizar y actualmente se están discutiendo las ventajas y desventajas de cada uno. Se está por definir para comienzos del 2007.

#### Telefonía Celular

En Chile, la telefonía celular utiliza principalmente la tecnología GSM en las bandas de 900MHz y 1800MHz.

Una llamada mediante teléfonos celulares implica el uso de dos grandes componentes: el teléfono en sí, que se conoce como handset, y una estación base. La estación base corresponde a una estación de radio de baja potencia que entrega servicio a una región geográfica llamada celda. Dentro de esa celda un handset puede recibir o realizar una llamada a través de la estación base hacia cualquier otro teléfono fuera de la celda. Además pueden existir muchos usuarios dentro de una misma celda, lo que dependerá del número de canales de la estación base.

En este caso, a diferencia de la televisión y de la radio, ambos componentes son receptores y transmisores. Esto hace que ambos tengan que generar energía para transmitir una llamada, y por lo tanto transmitir energía electromagnética.

### **Acceso Inalámbrico a Internet**

El acceso inalámbrico a Internet más conocido como Wifi o WiMAX, se ha transformado en parte importante de oficinas y hogares, además de “hot spots” en algunos lugares públicos. Se utilizan bandas de frecuencia de entre 2,4 GHz y 5,85GHz.

Los computadores que utilizan Internet inalámbrico deben poseer (interna o externamente) una antena que les permita transmitir y recibir las ondas electromagnéticas desde las redes de área local inalámbrica.

### **Redes de Area Personal**

Redes de area personal son sistemas de comunicaciones inalámbricas que evitan el cableado local entre dispositivos electrónicos y con sus periféricos. Algunos ejemplos concretos ya existen en el mercado, como teclados y ratones inalámbricos para el computador, y dispositivos de “manos libres” para los teléfonos celulares. *Bluetooth* es una tecnología de este tipo de sistemas, los que operan en la banda de frecuencias de 2,4GHz.

### **RFID**

Los sistemas de identificación por radiofrecuencia (Radio Frequency Identification, RFID), consisten de dos tipos de dispositivos: los tags y los lectores. Los tags son pequeños circuitos integrados (microchips) que almacenan información; son muy económicos (existen tags que cuestan menos de un dólar norteamericano) y disponen de una pequeña antena para comunicarse con los lectores. Adjuntando o adhiriendo tags a objetos, animales o personas, es posible “marcarlos” con el propósito que puedan ser identificados automáticamente según la información contenida en el tag. Dicha información es leída en forma inalámbrica por los lectores, aparatos de mayor complejidad y costo típicamente conectados con sistemas de control de inventario, bases de datos, etc.

Según la fuente de la que proviene la energía que un tag utiliza para enviar su información hacia un lector, los tags se clasifican en activos y en pasivos. Los tags activos poseen una fuente de poder propia, lo cual los hace más costosos y de mayor tamaño, pero les permite mayor diversidad de funciones, pudiendo ser leídos a distancias de hasta 30 metros. Tags activos son utilizados por el sistema Televía de las autopistas concesionadas en Santiago. Los tags pasivos obtienen su energía de la señal de radio enviada por el mismo lector; ello limita significativamente el presupuesto energético del tag, y con ello su funcionalidad y radio de lectura, los que se ven reducidos hasta en 3 metros, pero por otra parte los hace sumamente económicos y no requieren de mantenimiento. Las tarjetas Multivía bip! del Transantiago son un ejemplo de tags pasivos, que requieren una distancia al lector menor que 10 cm para permitir la lectura. Ello explica, por ejemplo, que en el Metro exista un lector en cada uno de los torniquetes de acceso al andén.

Campos electromagnéticos también existen en la naturaleza y en aplicaciones eléctricas domésticas. Por ejemplo, la luz que entrega el sol es un caso de radiación electromagnética que luego de ser filtrada por las capas atmosféricas deja sólo radiación no-ionizante. La densidad de potencia en la superficie de la tierra debido a la luz del sol al mediodía es de aproximadamente  $1350 \text{ W/m}^2$  y la radiación infrarroja producto del calor de una persona es de  $20 \text{ W/m}^2$ .

Prácticamente todas las aplicaciones eléctricas domésticas generan campos del tipo ELF (Extremely Low Frequencies) debido a que se alimentan con una corriente alterna de 50 Hz (caso chileno). Otros dispositivos que funcionan a pilas también irradian energía electromagnética, como los *walkman* y reproductores MP3. También los lectores "multivía" del Metro emiten energía electromagnética en forma permanente a la altura de los genitales. Además, las líneas de transmisión de energía eléctrica se encuentran constantemente irradiando energía electromagnética de baja frecuencia (50 Hz).

La Tabla 2 presenta niveles de campos eléctricos emitidos por diferentes aplicaciones domésticas.

Dispositivo	Intensidad de campo Eléctrico (V/m)
Receptor de radio	180
Plancha	120
Refrigerador	120
Batidora	100
Tostadora	80
Secador de pelo	60

Televisor	60
Cafetera	60
Aspiradora	50
Horno Eléctrico	8
Ampolleta	5

Tabla 2 – Niveles de campos eléctricos emitidos por aplicaciones domésticas [OMSweb]

El nivel de intensidad de campo eléctrico sugerido para aplicaciones domésticas es de 5000 V/m [ICNIRP 1998]. Entonces, como se puede ver, los niveles de emisiones de estas aplicaciones son bastante bajos.

**Resumen:** En la actualidad existen muchos aparatos que usan la radiación electromagnética, principalmente en las comunicaciones. Además, la mayoría de los dispositivos domésticos emiten algún nivel de energía electromagnética. Los niveles de los campos emitidos son en general bajos.

## 4 Antenas

El lector seguramente habrá notado que todos los dispositivos de comunicación por radio (como los teléfonos celulares, las radios de auto, etc) tienen una antena. Las antenas existen de distintos tamaños y formas, dependiendo de los rangos de frecuencia que se intenta recibir o emitir. Algunas antenas pueden ser tan simples como una vara larga de metal (como la antena AM/FM de los automóviles) mientras otras pueden parecer más extrañas como los platos satelitales. Cuando se le entrega una señal RF a una antena transmisora, ella responde produciendo un campo electromagnético. Y en forma inversa, cuando esta onda electromagnética que se propaga por el espacio incide con una antena (la receptora), se produce la corriente en la superficie de ella que permite recibir la información. La Figura 5 muestra una típica transmisión por radio.

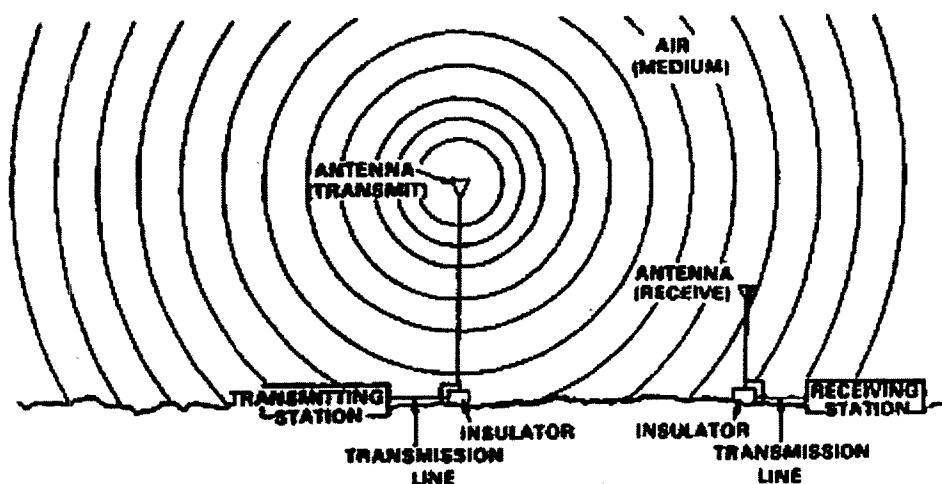


Fig. 5 – Transmisión por antenas en la atmósfera [Radiowavz]

El campo electromagnético que produce la antena puede producir una corriente en cualquier superficie metálica (es decir conductora) que choque. Sin embargo, si el largo del metal tiene alguna relación con la longitud de onda de la señal, se puede producir una corriente mucho mayor. Si, por ejemplo, transmitimos una onda de 36 metros de longitud de onda (o sea, de aproximadamente 8 MHz de frecuencia) en un objeto de 18 metros (un medio de la longitud de onda), 9 metros (un cuarto de la longitud de onda) o 36 metros (una longitud de onda completa), la corriente inducida será mucho mayor que si la longitud del objeto no es de una fracción de la longitud de onda de la señal transmitida.

Este fenómeno se conoce como **resonancia**. Cada antena tiene al menos un punto de frecuencia de resonancia. Este punto determina cuáles son las frecuencias a que puede recibir o emitir una antena. Es por esta razón que a medida que se van utilizando frecuencias mayores, las antenas disminuyen su tamaño. Por ejemplo, si se desea escuchar la radio Cooperativa que transmite en la frecuencia 93,3 MHz del dial FM (es decir con una longitud de onda 32 centímetros aproximadamente), con una antena de 8 centímetros (un cuarto de longitud de onda) es posible captarla perfectamente. Por supuesto, esto funciona dentro de un intervalo de longitudes de onda, lo que permite que



podamos captar muchas frecuencias dentro de las radios FM sin modificar el tamaño de la antena.

#### 4.1 Pérdidas de Energía

Al realizar una transmisión se puede intuir que mientras mayor sea la distancia que tienen que recorrer las ondas electromagnéticas, más débil es la señal recibida. Es por esto que al alejarse de Santiago la señal recibida de una radio FM se hace cada vez más tenue hasta perderse. Este fenómeno se conoce como **pérdida por distancia** y sigue, en el peor de los casos, una regla del inverso del cuadrado de la distancia recorrida. En la Figura 6 se ve un ejemplo de una ampolleta irradiando sobre un par de superficies (recuerde que la luz también es un tipo de radiación electromagnética). Como la distancia a B es el doble que la de A, se puede deducir que A recibe cuatro veces más energía que B.

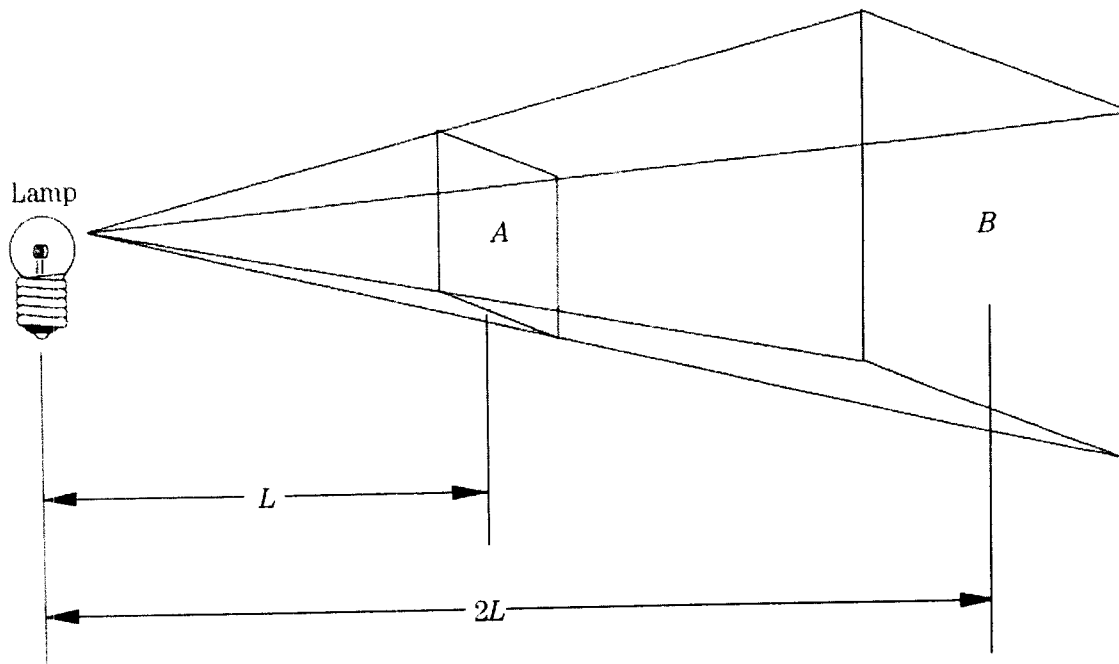


Fig. 6 – Ejemplo de pérdida por distancia de una ampolleta [Carr2001]

También es posible usar fórmulas empíricas para determinar los niveles de potencia que se reciben a determinadas distancias.

Para el caso de una antena transmisora de una estación de televisión, la comisión federal de comunicaciones (FCC) en Estados Unidos entrega una estimación que considera el siguiente modelo de ambiente suburbano: [OET 1997]

$$S = \frac{0,334 \times P}{R^2},$$

Donde S es el nivel de exposición, P es la potencia transmitida y R es la distancia entre el punto y la antena.

Supongamos que se tiene una antena transmisora de una estación de televisión (de frecuencia VHF, como por ejemplo el canal 13) cuya potencia emitida es 1000 W (equivalente al consumo de 5 computadores personales o de una estufa eléctrica). Su altura es de 10 metros, y se tiene a una persona a unos 20 metros de su base. En la Figura 7 se ilustra esta situación.

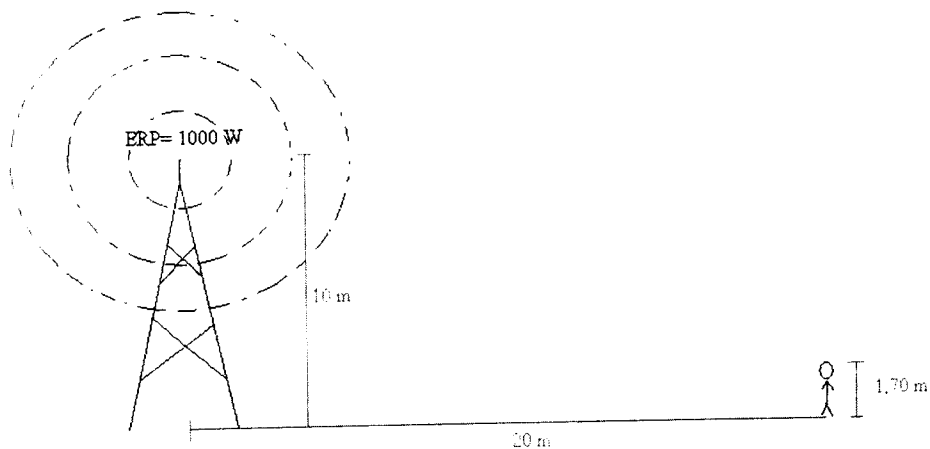


Fig. 7 – Ejemplo de exposición a ondas de radio emitidas por una antena.

Luego, aplicando el teorema de Pitágoras se calcula el valor de R (a la altura de la persona que es de 1 metro 70 centímetros).

$$R = \sqrt{20^2 + (10 - 1,7)^2}$$

$$R = 21,65 \text{ m}$$

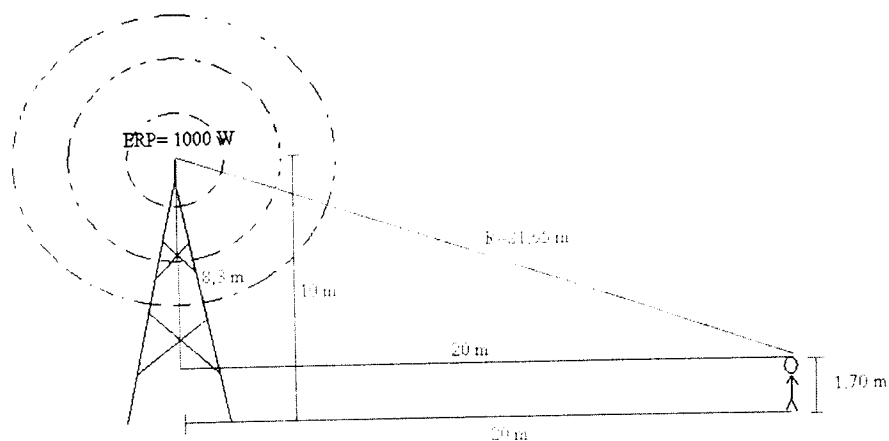


Fig. 8 – Continuación ejemplo de exposición

Entonces el valor de la densidad de potencia (definida en la sección 3.2) en ese punto se calcula aplicando la fórmula anterior, resultando:

$$S = \frac{0,334 \times 1000}{21,65^2} = 0,71 \frac{\text{Watts}}{\text{m}^2}$$

Se puede ver cómo a una distancia muy cercana de la antena transmisora las pérdidas por distancia hacen que la exposición tenga un valor mucho más pequeño que la potencia original. Los 1000 W emitidos se pierden rápidamente con la distancia y la exposición a que se enfrenta la persona es bastante baja. Y, como se verá en la sección 5.2, es más baja que el valor máximo sugerido para esta banda de frecuencia ( $2 \text{ W/m}^2$ ).

Este ejemplo ilustra un caso muy particular. La regla de inverso al cuadrado utilizada es válida sólo en el peor caso, ya que normalmente hay mayores pérdidas debido a otros factores, como se verá más adelante. Además, la potencia irradiada por esta antena (1000 W) es bastante alta. Las antenas de las estaciones base de telefonía celular, por ejemplo, emiten como máximo sólo una decena de Watts. Por último, la distancia a que se encuentra el sujeto (20 metros) es muy pequeña. En situaciones normales, por ejemplo para sistemas celulares, menos del 1% de los usuarios se encuentran a esa distancia de la estación base.

A partir de este ejemplo, se puede calcular también el nivel de absorción (es decir el SAR) de la persona producto de la antena transmisora:

Si se considera que la persona tiene una superficie de  $1 \text{ m}^2$ , se tiene que su cuerpo está recibiendo 0,71 Watts producto de la exposición. Si además se aproxima el peso de la persona como 71 kilogramos, el SAR en el cuerpo completo será de aproximadamente  $0,01 \text{ W/kg}$ . Si se desea calcular el SAR en la cabeza, se puede considerar su superficie como de  $30 \text{ cm}^2$  (algo muy razonable ya que sólo una parte de la cabeza recibe la radiación). Y si la cabeza de la persona es de 5 kilogramos, el SAR es entonces aproximadamente  $0,04 \text{ W/kg}$ .

Como comparación, el SAR que absorbe una cabeza al usar un handset Nokia 3220 es de  $0,8 \text{ W/kg}$  [Nokia web]. Es decir, un nivel de absorción 20 veces más grande que el producido por la antena del ejemplo. Aún cuando se consideró el peor caso, se puede ver que los niveles de absorción producto de la antena son muchísimos más bajos que los producidos al utilizar, por ejemplo, un teléfono celular.

En general, las antenas usadas para transmisión masiva se ven montadas en altas torres aún cuando el elemento radiante sea más bien pequeño. Esto es así porque mientras más alto sea el punto desde el que se transmite, la energía llega en forma más directa a la antena receptora. Lo que se busca es que no exista ningún obstáculo en la línea que une la antena emisora y la antena receptora. Si esto ocurre se dice que existe **línea de vista** (LOS, de Line Of Sight en inglés) en la transmisión. Si es que no hay línea de vista también ocurren pérdidas de energía en la transmisión que son conocidas como **pérdidas de sombra**.

Por último, a nivel local existen pérdidas producto de las múltiples trayectorias que recibe la antena receptora, que llegan atrasadas y atenuadas en forma similar al eco que se escucha en un ambiente montañoso.

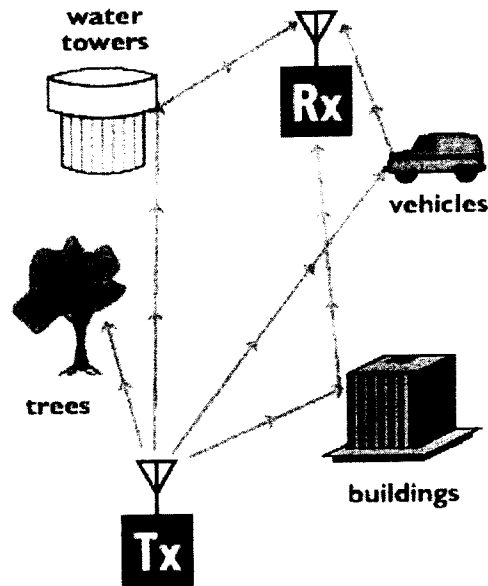


Fig. 9 – Ejemplo de propagación de multitrayectorias [DataRadio].

Estas pérdidas también son muy importantes y pueden hacer caer la señal hasta diez mil veces de su nivel promedio con un movimiento de una fracción de longitud de onda. En la literatura especializada, este fenómeno se conoce como **pérdida por multitrayectorias** o por **scattering**.

En general los sistemas de comunicaciones inalámbricas soportan estas pérdidas y permiten que en un ambiente sin línea vista y con múltiples trayectorias se pueda transmitir información sin problemas.

**Resumen:** Las ondas electromagnéticas sufren pérdidas de energía debido a distintos factores. Dependiendo de la distancia y el ambiente, el nivel de energía real percibido puede ser bastante menor que el nivel emitido. Los niveles de absorción debido a antenas transmisoras son en general más bajos que los que se producen al utilizar dispositivos de comunicaciones, como los handsets de telefonía celular.

## 4.2 Tipos de Antenas

Existen dos tipos principales de antenas:

- Las antenas lineales: Son antenas cuyos elementos radiantes son lineales, es decir, los conductores que las forman tienen una sección de grosor despreciable respecto a la longitud de onda de trabajo y respecto a su longitud física total. Típicamente son omnidireccionales, es decir, buscan transmitir o recibir en todas las direcciones.
- De apertura: Las antenas de apertura son aquellas que utilizan superficies o aperturas para darle dirección al haz electromagnético de forma que concentran la emisión y

recepción de su sistema radiante en una dirección. Al ocurrir esto se dice que son antenas direccionales.

A continuación se presentan algunos ejemplos de tipos de antenas usados:



Fig. 10 – Antena satelital [AntennaFlickr].

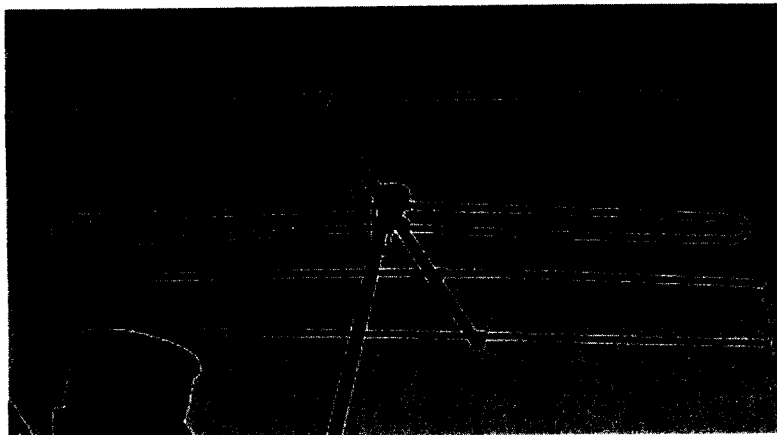


Fig. 11 – Antena Yagi, típica en televisión [AntennaFlickr].

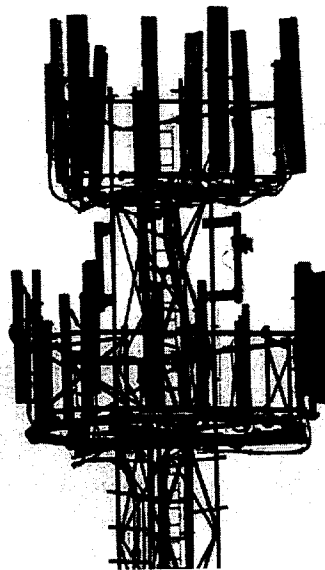


Fig. 12 – Torre de estación base de telefonía móvil, con múltiples antenas pequeñas [AntennaFlickr].

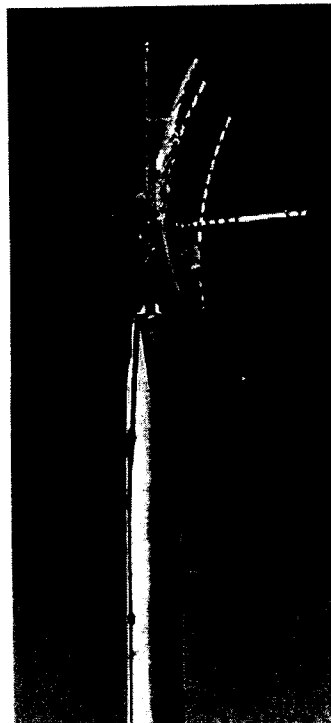


Fig. 13 – Antena parabólica [AntennaFlickr].



Fig. 14 – Handsets de telefonía celular. Note que algunos tienen su antena interna. [CellularFone].

### 4.3 Patrones de Radiación

El patrón de radiación es la descripción gráfica de la intensidad relativa de los campos transmitidos o recibidos por una antena. Si consideramos la antena de la Figura 15 se puede ver que el patrón de radiación indica una mayor intensidad relativa en  $90^\circ$  y  $270^\circ$  respecto a la posición de la antena. Con este patrón es posible ver la direccionalidad de la antena. En la Figura, la antena irradia hacia sus lados sin emitir mucha energía hacia arriba y abajo.

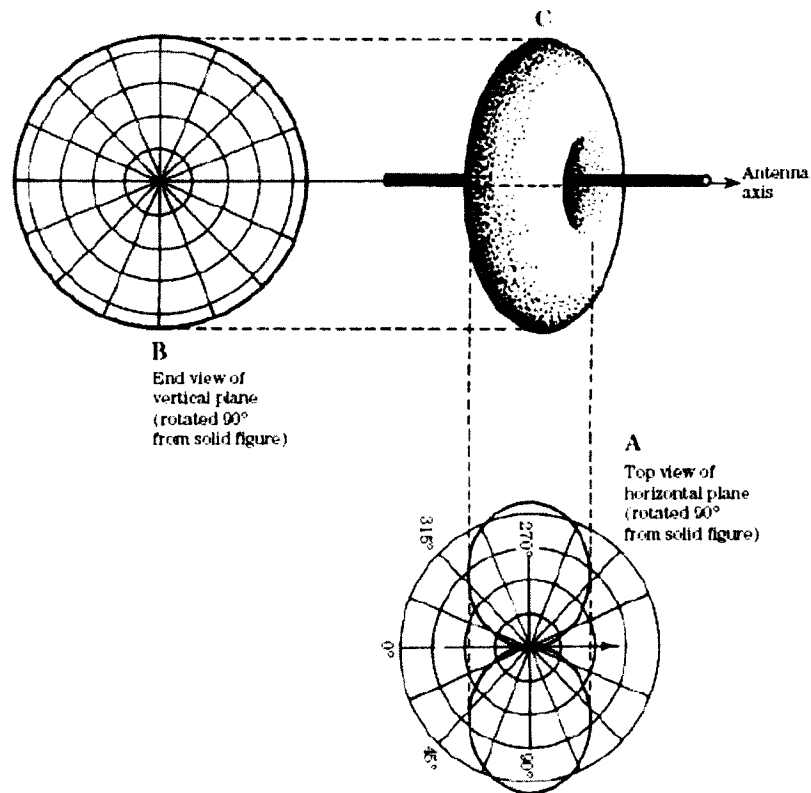


Fig. 15 – Patrón de radiación [Carr2001]

En el caso de las antenas direccionales se sacrifica la omnidireccionalidad para ganar en intensidad en alguna dirección. Por ejemplo, el tipo de antena más común en sistemas celulares consiste en una agrupación sectorial, con conjuntos de antenas direccionales que transmiten y reciben en sectores separados de unos  $120^\circ$  y están apuntando al horizonte. Las antenas producen un haz muy estrecho en el plano vertical y de unos  $120^\circ$  en el plano horizontal. La Figura 16 muestra los patrones de radiación que presentan estas antenas.

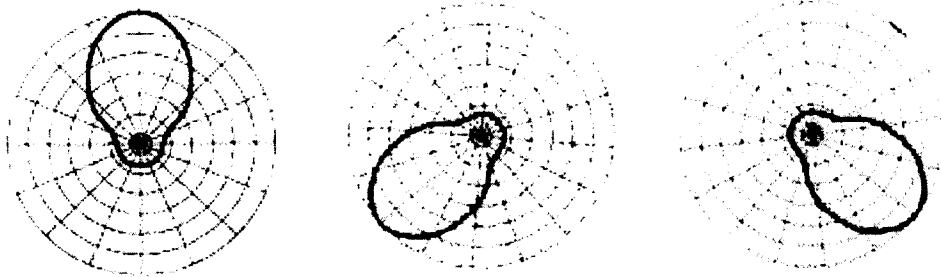


Fig. 16 – Patrones de radiación sectoriales de una estación base de telefonía celular compuesta por tres antenas direccionales.

En la Figura 17 que muestra un ejemplo de patrón de radiación de una antena transmisora.

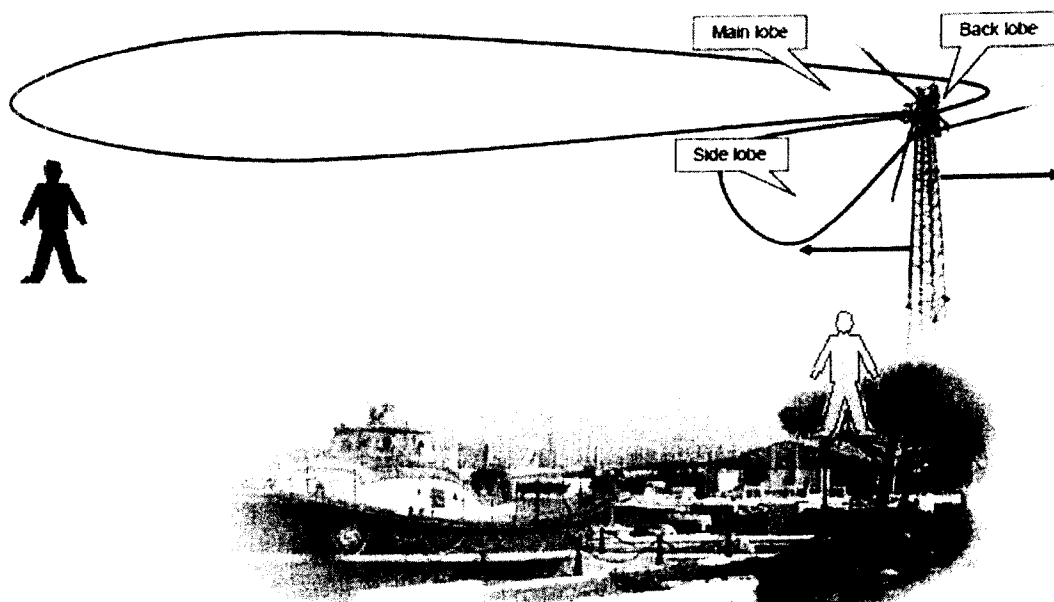


Fig. 17 – Ejemplo de posición en un patrón de radiación

Al analizar el patrón de radiación se puede ver como la direccionalidad de la antena hace que se gane en potencia irradiada en un sentido, sacrificando la potencia emitida en otros



sentidos. En este caso, la persona más alejada de la antena puede estar recibiendo una cantidad de energía electromagnética mayor que la persona cercana a la torre, a pesar de encontrarse en una posición más lejana.

**Resumen:** Cada antena tiene un patrón de radiación que indica en qué sentidos está emitiendo o recibiendo energía. Según este patrón, se pueden tener antenas direccionales u omnidireccionales.

#### *4.4 Efectos Estéticos*

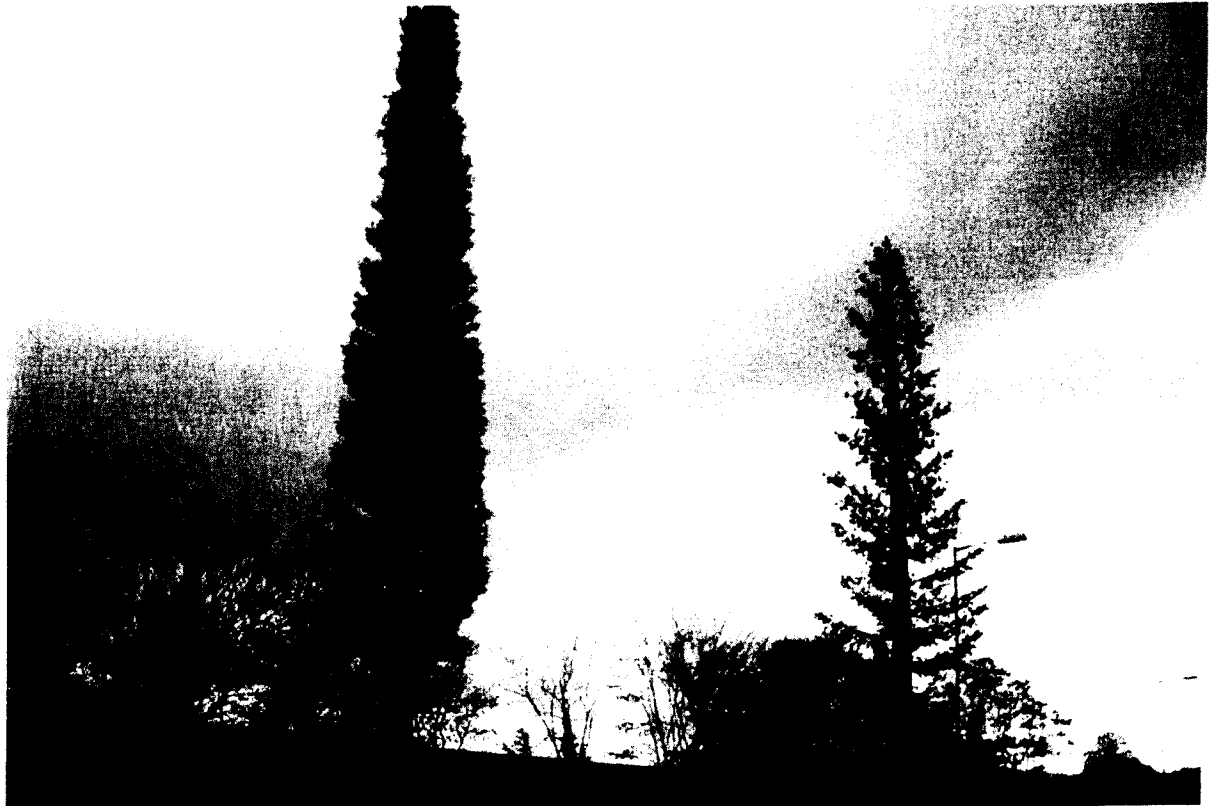


Fig. 18 – Dos antenas de celulares de 3ª generación camufladas como árboles (Dublin, Irlanda)  
[Wikipedia\_BaseStation].

Las empresas de telefonía móvil han debido enfrentar diferentes problemas al instalar torres de telefonía celular en ambientes urbanos. Uno de los aspectos que preocupa a la población son los posibles efectos en la salud, que serán discutidos en la sección 5. Sin embargo, otro aspecto importante son los efectos estéticos de las torres que sostienen a las antenas celulares.

Una de las razones por las que esto ha generado polémica es que, al carecer las torres de sentido estético, las propiedades en su entorno tienden a devaluarse. Y por otro lado la instalación de antenas en parques nacionales claramente afecta la belleza de los lugares.

Debido a esto, [Lin 2004] hace un comentario sobre las posibilidades que tiene una empresa para contribuir a la sociedad mediante la instalación de una antena de celular:

“Deben aplaudirse los esfuerzos de las compañías de celulares por intentar disfrazar las torres con nuevos diseños. Desafortunadamente dicho esfuerzo para suavizar el impacto en el paisaje han sido ejecutadas sin mucho entusiasmo o imaginación. Aún es común ver torres que empobrecen el paisaje, y no es posible instalar torres solamente en lugares industriales dadas las necesidades de una ciudad” [Lin 2004].

“En realidad debería ser al contrario. Las compañías de celulares y de Internet inalámbrico deberían aprovechar esta oportunidad para contribuir con “arte” a la ciudad. Por ejemplo se podría llamar a arquitectos a diseñar torres de celulares más estéticas y que aún así funcionen como estaciones base. Esto permitiría calmar los miedos de quienes aborrecen la presencia de torres cerca de sus casas o lugares de trabajo” [Lin 2004].

“Al proveer el espacio público de arte se agrega un valor tanto al lugar como a las comunidades. Por ejemplo a través de obras como torres con relojes, obeliscos, campanarios, etc” [Lin 2004].

Existen diferentes alternativas que permiten “disfrazar” una torre. Esto ya es conocido en Chile en algunas torres disfrazadas típicamente de palmeras. Sin embargo como lo menciona Lin, se requiere de un esfuerzo mayor de las empresas en entregar un producto de mejor calidad, por ejemplo una palmera más realista y acorde a la realidad chilena. Esto es particularmente importante si se quiere instalar torres en parques nacionales.

Las Figuras 19 y 20 muestran un par de casos a través del mundo en los que se han instalado torres de celular con diferentes tipos de camuflaje.

**Resumen:** Existe preocupación acerca de los efectos estéticos que pueden tener las torres de antenas de telefonía celular. Se sugiere, si es posible, usar algún tipo de camuflaje en las torres para aminorar su impacto estético.



Fig. 19 – Antena camuflada como cactus [ARRL].



Fig. 20 – Antena camuflada como pino [WayMarking].

## 5 Efectos en la Salud y Límites de Protección

---

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define **salud** como el “estado de completo bienestar físico, mental y social” [OMS web]. Además, se define **efecto biológico** a la respuesta fisiológica de un organismo a la exposición a un campo electromagnético. Entonces, la OMS define una **amenaza a la salud** como un efecto biológico “que tiene consecuencias en la salud que superan la capacidad de compensación de los mecanismos naturales del cuerpo humano perjudicial para la salud” [OMS web], por ende, molestias o incomodidades causadas por la exposición a ondas electromagnéticas son consideradas una amenaza a la salud. Dichas molestias pueden o no ser **patológicas** y pueden afectar el bienestar de una persona física o mentalmente.

La literatura que estudia los efectos biológicos de ondas electromagnéticas sobre organismos biológicos (seres vivos) y las consecuentes amenazas a la salud se divide principalmente en dos categorías: Estudios científicos y normas de exposición y absorción recomendadas.

Se han hecho numerosos estudios relacionados con los campos electromagnéticos y la salud humana. Una de las principales preocupaciones actuales se refiere a la seguridad con los teléfonos celulares, tanto de los handset (el teléfono celular mismo) como a las estaciones base, además de los nuevos sistemas de comunicaciones inalámbricas.

Para evaluar el potencial efecto perjudicial en la salud de los EMF se necesita realizar una serie de estudios muy diversos en diferentes campos de investigación. Cada uno de los distintos tipos de estudios investiga diferentes aspectos del problema.

La **epidemiología** corresponde al estudio científico de los factores que afectan la salud y la enfermedad de una población, en el largo plazo. Estos estudios investigan la causa y distribución de las enfermedades en condiciones reales por comunidades o grupos profesionales [OMS web]. Mediante esto los investigadores intentan determinar si existe una asociación estadística entre la exposición a los EMF y la incidencia en alguna enfermedad o algún efecto perjudicial para la salud. El problema de los estudios epidemiológicos es que son difíciles de controlar con suficiente precisión para detectar efectos pequeños. Los estudios epidemiológicos que se han realizado en esta área tienen como fin detectar una asociación entre los EMF y la existencia de cáncer, tumor, neuroma, etc.

La experimentación **in vivo** se refiere a la experimentación hecha en un tejido vivo de un organismo vivo completo y no en una parte parcial de dicho organismo o un organismo muerto. Lo anterior se refiere por ejemplo a estudios con animales. En general estos estudios permiten entregar resultados que pueden ser analizados para determinar los niveles de intensidades de exposición para los humanos a los campos electromagnéticos. Busca la relación dosis- respuesta.

Por otro lado la experimentación **in vitro** se refiere a la técnica de realizar un experimento dado en un tubo de ensayo o en un ambiente controlado fuera de un organismo vivo. Para lo anterior se requiere que células o tejidos se remuevan de los organismos vivos, por lo que ciertos mecanismos de compensación se pueden ver

alterados. El objetivo de estos estudios es “elucidar los mecanismos básicos subyacentes que relacionan la exposición a campos electromagnéticos con los efectos biológicos” [OMS web]

Otro factor a considerar es si se trata de un efecto térmico o no térmico. Los efectos térmicos se refieren a niveles superiores a 4 W/kg (en el cuerpo completo) mientras que los efectos no térmicos se refieren a valores de exposición y absorción inferiores.

Además hay que considerar el tiempo de exposición. Se dividen en estudios de corto plazo (inferior a 10 años de exposición) y de largo plazo (más de 10 años de exposición). En general en lo que respecta a las nuevas tecnologías (telefonía celular por ejemplo) los estudios son generalmente de corto plazo debido al poco tiempo que llevan en funcionamiento.

A continuación se presentan las conclusiones y el análisis realizado por 4 organizaciones internacionales, basadas en los estudios que se han realizado a lo largo de los años relacionados a los EMF y los posibles efectos biológicos.

### *5.1 Estudios sobre EMF y la Salud*

Existen muchos estudios respecto al tema, sin embargo los estudios independientes no son representativos por lo que se requiere de estudios respaldados por instituciones competentes que sean capaces de validar los resultados obtenidos en conjunto.

Existen cuatro organismos que siguen de cerca el desarrollo de cuantiosos estudios relacionados a los EMF y que utilizan para sintetizar recomendaciones ya sea estándares de protección o trabajo futuro.

Estas instituciones son: la Organización Mundial de la Salud (OMS), la ICNIRP, la SCENIHR/CSTEE y la IEEE.

A continuación se presentan las principales las conclusiones a que han llegado estas organizaciones.

#### *5.1.1 Análisis de la Organización Mundial de la Salud*

La OMS realiza un monitoreo continuo de los trabajos científicos que se realizan respecto a las ondas electromagnéticas y genera reportes informando a la población sobre los avances y conclusiones en el tema. Existe información general disponible para todo público a través de su página web [OMS web], donde se pueden encontrar dichos reportes, además de conferencias y una amplia gama de información relativa a la salud y las ondas electromagnéticas.

Por otro lado, la OMS, como parte de su responsabilidad de proteger a la salud pública y debido a la preocupación que han generado las radiaciones de los campos electromagnéticos, creó en 1996 el Proyecto Internacional EMF para evaluar mediante pruebas científicas, los posibles efectos sobre la salud de los EMF en el intervalo de frecuencia de 0 a 300 GHz. Este proyecto fomenta a los investigadores a llenar las carencias que todavía existen con respecto a EMF y a facilitar el desarrollo de normas

que sean aceptables internacionalmente y que limiten la exposición a EMF. El proyecto tiene objetivos claros y una agenda bien establecida [OMS web]. Se pretende que en el año 2007 se tengan las evaluaciones de los riesgos para la salud de los EMF, ya que se prevé que las investigaciones en curso y propuestas proporcionarán en este plazo resultados suficientes para evaluar los riesgos para la salud en forma más categórica.

La OMS indica que en los últimos 30 años se han publicado más de 25000 artículos con respecto al tema y que a pesar de lo que mucha gente cree hay más estudios con respecto a los efectos de los EMF sobre la salud que estudios relacionados con otros temas, como por ejemplo, con productos químicos.

Basándose en una revisión profunda de las publicaciones científicas (sin indicar el número de referencias revisadas), la OMS concluyó que [OMS web] "...los resultados existentes no confirman que la exposición a campos electromagnéticos de baja intensidad produzca alguna consecuencia para la salud. Sin embargo, los conocimientos sobre los efectos biológicos presentan algunas lagunas que requieren más investigaciones."

Existen muchas preocupaciones específicas como los efectos sobre la incidencia en el cáncer, efectos sobre mujeres embarazadas, incidencia de cataratas, y efectos sobre los estados de salud en general. Como respuesta a esto, la OMS en su página web [OMS web] responde dichas inquietudes.

Con respecto al cáncer: "A pesar de los numerosos estudios realizados, la existencia o no de efectos cancerígenos es muy controvertida. En cualquier caso, es evidente que si los campos electromagnéticos realmente producen algún efecto de aumento de riesgo de cáncer, el efecto será extremadamente pequeño. Los resultados obtenidos hasta la fecha presentan numerosas contradicciones, pero no se han encontrado incrementos grandes del riesgo de ningún tipo de cáncer, ni en niños ni en adultos." [OMS web]

"Algunos estudios epidemiológicos sugieren que existen pequeños incrementos del riesgo de leucemia infantil asociados a la exposición a campos magnéticos de baja frecuencia en el hogar. Sin embargo, los científicos no han deducido en general de estos resultados la existencia de una relación causa-efecto entre la exposición a los campos electromagnéticos y la enfermedad, sino que se ha planteado la presencia en los estudios de efectos artificiosos o no relacionados con la exposición a campos electromagnéticos. Esta conclusión se ha alcanzado, en parte, porque los estudios con animales y de laboratorio no demuestran que existan efectos reproducibles coherentes con la hipótesis de que los campos electromagnéticos causen o fomenten el cáncer. Se están realizando actualmente estudios de gran escala en varios países que podrían ayudar a esclarecer estas cuestiones." [OMS web]

Con respecto a la exposición de mujeres embarazadas: "La OMS y otros organismos han evaluado numerosas fuentes y exposiciones diferentes a campos electromagnéticos en el entorno cotidiano y de trabajo, como las pantallas de computadora, colchones de agua y mantas eléctricas, equipos de soldadura por corrientes de radiofrecuencia, equipos de diatermia, y radares. El conjunto de los resultados demuestra que la exposición a los niveles típicos de los campos del medio no aumenta el riesgo de desenlaces adversos como abortos espontáneos, malformaciones, peso reducido al nacer y enfermedades congénitas. Se han publicado informes esporádicos de asociaciones entre problemas

sanitarios y la presunta exposición a campos electromagnéticos, como informes sobre partos prematuros y con peso reducido de trabajadoras de la industria electrónica, pero la comunidad científica no ha considerado que estos efectos estén necesariamente ocasionados por la exposición a campos electromagnéticos (frente a la influencia de factores como la exposición a disolventes).”

Con respecto a las cataratas la OMS dice: “Se ha informado de casos de irritación ocular general y cataratas en trabajadores expuestos a niveles altos de radiación de radiofrecuencia y microondas, pero estudios realizados con animales no confirman la idea de que estos tipos de trastornos oculares se puedan producir a niveles que no son peligrosos por su efecto térmico. No hay pruebas de que se produzcan estos efectos a los niveles a los que está expuesta la población general.”

Existen personas que presentan síntomas como dolores de cabeza, ansiedad, depresiones, náuseas, fatiga, pérdida de la libido e incluso suicidios, y que las han atribuidos a los niveles de exposición a los campos electromagnéticos en el hogar. Estos han sido llamados hipersensibles a los campos electromagnéticos. Frente a lo anterior la OMS responde de la siguiente manera: [OMS web] “... (Quienes presentan síntomas) preguntan si los dolores, cefaleas, depresión, letargo, alteraciones del sueño e incluso convulsiones y crisis epilépticas pueden estar asociados con la exposición a campos electromagnéticos.”

“Hay escasa evidencia científica que apoye la posible existencia de casos de hipersensibilidad a los campos electromagnéticos. Estudios recientes realizados en países escandinavos han comprobado que, en condiciones adecuadamente controladas de exposición a campos electromagnéticos, no se observan pautas de reacción coherentes en los sujetos expuestos. Tampoco existe ningún mecanismo biológico aceptado que explique la hipersensibilidad. La investigación en este campo es difícil porque, además de los efectos directos de los propios campos electromagnéticos, pueden intervenir muchas otras respuestas subjetivas. Están en curso más estudios sobre esta cuestión.” [OMS web]

Con respecto a los teléfonos móviles hay que considerar que los estudios deben enfocarse en el sector donde se localiza la exposición de los campos RF (en el caso del handset, en la cabeza). De acuerdo a esto se abren nuevamente las mismas dudas que con respecto a los EMF en general.

Con respecto al cáncer la OMS indica que [OMS web]: “Las evidencias científicas actuales indican que es improbable que la exposición a campos de RF, como los emitidos por los teléfonos móviles y sus estaciones base, induzca o produzca cáncer. Varios estudios en animales expuestos a campos de RF similares a los emitidos por los teléfonos móviles no encuentran evidencia de que la RF cause o estimule tumores cerebrales. A pesar de que un estudio realizado en 1997 encontró que los campos de RF incrementan la tasa de ratones genéticamente manipulados que desarrollan leucemia, las implicaciones de estos resultados para la salud humana no son claras. Varios estudios vienen llevándose a cabo para confirmar este hallazgo y determinar cualquier relevancia de estos resultados con el cáncer en seres humanos. Tres estudios epidemiológicos recientes no encontraron evidencia convincente del incremento de riesgo de cáncer o cualquier otra enfermedad debido al uso de teléfonos móviles.”

Sobre otros riesgos a la salud se refieren a lo que se ha reportado con respecto a las actividades cerebrales: actividad normal del cerebro, tiempo de reacción y patrones de sueño. Frente a lo anterior la OMS dice: “Estos efectos son mínimos y no tienen aparente significación en la salud. Más estudios se están llevando a cabo para confirmar estos hallazgos.”

Es importante mencionar que la OMS tiene como uno de sus objetivos la investigación de numerosos estudios sobre los efectos a largo plazo de la utilización de teléfonos móviles en la salud de la personas. En el corto plazo la OMS dice que “...no se ha descubierto ningún efecto perjudicial manifiesto de la exposición a niveles bajos de RF. 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.” [OMS web]

La OMS también se refiere a la necesidad de asegurar la preservación de los ecosistemas terrestres y marinos; y luego concluye con respecto a los EMF y el medioambiente: [OMS web]

“El número limitado de los estudios publicados referentes al riesgo de los EMF a los ecosistemas terrestres y acuáticos muestran poca o ninguna evidencia significativa del impacto ambiental, excepto para algunos efectos cercanos a las fuentes muy fuertes. De la información actual los límites de exposición de la recomendaciones ICNIRP para la protección de la salud de los seres humanos también son protectores del ambiente.”

### 5.1.2 Análisis de la ICNIRP

Es una organización Internacional compuesta por miembros de numerosos países como: Alemania, Australia, Austria, Francia, Finlandia, Italia, EEUU, Inglaterra, entre otros. Fue formada en 1974 inicialmente como un grupo de la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA) que se dedicara a examinar los problemas que se presentaba la radiación no ionizante. Finalmente en 1992 se forma como una organización independiente: la Comisión Internacional para la Protección de Radiación No Ionizante.

La OMS reconoce al ICNIRP como organización ya que ambos fueron parte del desarrollo conjunto de varios documentos relacionados con la salud y las radiaciones no ionizantes; y reconoce las recomendaciones dadas por la ICNIRP para las radiaciones de EMF.

Para establecer una pauta sobre los límites de exposición y absorción a los campos electromagnéticos, la ICNIRP se basa en estudios relacionados a los efectos biológicos y epidemiológicos, refiriéndose principalmente a los efectos térmicos. De esta manera, ICNIRP analiza más de 200 documentos y resume en un documento [ICNIRP 1998] lo siguiente sobre los efectos a la salud para dichos ámbitos:

“La evidencia experimental muestra que la exposición de seres humanos durante aproximadamente 30 minutos a un campo electromagnético que produce un SAR para el cuerpo completo de entre 1 y 4 W/kg resulta en un aumento en la temperatura de 1 °C (sobre 1°C puede producir efectos adversos). Los datos de animales indican un umbral de



respuestas de comportamiento en el mismo rango de SAR. Exposición a campos mayores que producen un valor de SAR superior a 4W/kg pueden sobrepasar la capacidad **termorreguladora** del cuerpo y producir niveles dañinos de calentamiento de tejidos. Muchos estudios de laboratorios con roedores y modelos de primates han demostrado el amplio rango de daño en tejidos que resulta del calentamiento de parte del cuerpo o del cuerpo completo y que produce un aumento en la temperatura que superior a 1 o 2 °C. La sensibilidad de varios tipos de tejido a daño térmico varía enormemente pero el umbral para efectos irreversibles en los tejidos más sensibles es superior a 4 W/kg bajo condiciones ambientales normales. Este dato forma la base para la restricción de exposición ocupacional de 0.4W/kg que provee un gran margen de seguridad para otras condiciones límites como altas temperaturas, humedad o nivel de actividad física.”

“Tanto los datos de laboratorio como los resultados de estudios en humanos (Michaelson y Elson 1996) dejan en claro que los ambientes térmicamente estresantes y el uso de drogas o alcohol pueden comprometer la capacidad termorreguladora del cuerpo. Bajo estas condiciones, factores de seguridad deben ser introducidos para proveer protección adecuada a los individuos expuestos. Se han obtenido datos de respuestas humanas a altas frecuencias de EMF que producen calentamiento detectable, mediante exposición controlada en voluntarios y estudios epidemiológicos en trabajadores expuestos a fuentes como radares, equipos médicos y selladores mediante calor. La conclusión a la que se llega es que no hay efectos mayores a la salud asociados a ambientes con exposición típicos. Aunque hay deficiencias en los trabajos epidemiológicos, como deficiencias en la valoración de la exposición, los estudios han concluido que no hay evidencia convincente de que los valores típicos de exposición puedan llevar resultados de reproducción adversos o a un aumento en el riesgo de cáncer en los individuos expuestos. Esto es consistente con los resultados de laboratorio en modelos celulares y modelos de animales, que han demostrado que no hay efectos **teratogénicos** ni cancerígenos a la exposición de niveles no térmicos de campos electromagnéticos.”

### *5.1.3 Análisis de la CSTEE y la SCENIHR*

Ambos corresponden a comités científicos de la Unión Europea. Los comités científicos proveen a las autoridades de un asesoramiento científico responsable que se requiere al preparar nuevas políticas y propuestas relacionadas con la seguridad de los clientes, la salud pública y el ambiente. Los comités también llaman la atención a los nuevos problemas emergentes que puedan plantear una potencial o efectiva amenaza.

El CSTEET corresponde al comité científico de toxicidad, ecotoxicidad y medioambiente que busca responder a preguntas técnicas y científicas relacionadas al análisis de la toxicidad y ecotoxicidad de componentes químicas, bioquímicas y biológicas que pudieran tener consecuencias dañinas para la salud humana y el ambiente. A pesar de no ser estrictamente parte de su área, la CSTEET elaboró en el 2001 un informe sobre los posibles efectos de los campos electromagnéticos, los campos de RF y la radiación de microondas en la salud humana. En este informe, concluyó: [CSTEET 2001]

“No hay evidencia de efectos cancerígenos en niños o adultos como resultado de los estudios epidemiológicos (el tamaño de algunos de los estudios fue bastante grande,

aunque el periodo de observación no fue lo suficientemente largo como para una afirmación definitiva). Una cantidad relativamente grande de estudios de laboratorio no han entregado evidencia de **genotoxicidad**. Pueden existir síntomas subjetivos que afectan a algunos individuos, pero no hay información disponible suficiente con respecto a: los niveles de exposición que producen tales efectos, las características de la susceptibilidad de dichos individuos, los mecanismos biológicos o la prevalencia de individuos susceptibles en distintas poblaciones. Así el conocimiento actual no es suficiente para implementar medidas destinadas a la identificación y protección de este subgrupo de población sensible a los campos EMF.”

El trabajo de de la CSTE fue retomado por el SCENIHR, que corresponde al comité científico sobre los riesgos a la salud nuevos y emergentes (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks). En el año 2006 actualizaron las opiniones del informe del año 2001, y en base a más de 170 referencias se concluyó lo siguiente: [SCENIHR 2006].

“El balance en evidencia epidemiológica indica que el uso de teléfonos celulares por menos de 10 años no plantea ningún incremento en el riesgo de tumor cerebral o **neuroma acústico**. Para uso prolongado (más de 10 años) los datos son escasos y las conclusiones son inciertas y tentativas. Sin embargo a partir de los datos disponibles parece que no hubiera incremento en tumores cerebrales en periodos prolongados de uso, con la excepción de neuroma acústico, para el cual hay algo de evidencia de alguna asociación. Para enfermedades distintas al cáncer, hay muy pocos datos epidemiológicos disponibles.” [SCENIHR 2006].

“Una consideración particular es el uso de teléfonos celulares por los niños. Aunque no existe evidencia específica, los niños o adolescentes pueden ser más sensibles a la exposición de los campos RF que los adultos. Los niños de hoy experimentarán una exposición acumulada mayor que las generaciones previas. A la fecha no hay estudios epidemiológicos disponibles en niños.”

“Estudios de observación y provocación han fallado en proveer un respaldo consistente para una relación entre exposición a RF y síntomas neurovegetativos (a veces conocido como sensibilidad electromagnética).”[SCENIHR 2006]

“Los estudios en efectos neurológicos y efectos reproductivos no han indicado ningún riesgo a la salud a niveles de exposición bajo los límites dados por la ICNIRP en 1998.”

“Estudios en animales no han entregado evidencia de que los campos RF puedan inducir cáncer, aumentar los efectos cancerígenos conocidos o acelerar el desarrollo de tumores transplantados.” En particular concluyen en esta sección que: “Los estudios han mostrado que las exposiciones de roedores durante largo plazo a campos de RF no parecen inducir ni acelerar el linfoma, tumores cerebrales o tumores en general. La exposición durante toda su vida de los roedores tampoco parece causar ninguna disminución de la esperanza de vida o mutaciones.” Sin embargo dice más tarde que: “La pregunta que aun queda abierta incluye modelos de experimentación adecuados y el uso de escasos datos a niveles de alta exposición.”[SCENIHR 2006]

Con respecto a las investigaciones in vitro el SCENIHR afirma: “Se han investigado los efectos de los campos RF en distintos sistemas biológicos. Aunque la mayoría de los estudios no ha encontrado evidencia en efectos genotóxicos existen unos pocos que si lo encontraron y que deben ser seguidos. Algunos estudios in vitro proveen evidencia que la expresión genética se ve afectada a la exposición de RF cercada a los límites dados. En general hay poca evidencia de cualquier efecto in Vitro en la salud por los campos electromagnéticos de RF bajo los límites establecidos.” Y finalmente concluye: “No hay evidencia consistente a partir de las investigaciones in vitro de que los campos RF afecten las células a un nivel de exposición no térmico.”

“En conclusión, no se han demostrado consistentemente efectos a la salud a niveles de exposición bajo los límites establecidos por la ICNIRP en 1998. Sin embargo, la base de datos para esta evaluación es limitada especialmente para exposición prolongada a bajos niveles.”[SCENIHR 2006]

#### *5.1.4 Análisis de la IEEE*

La IEEE es el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers), una asociación técnico profesional localizada en Estados Unidos pero de extensión global, dedicada a la estandarización de las tecnologías eléctricas, entre otras cosas.

La IEEE presenta un estándar relacionado a los límites de exposición y absorción a las ondas electromagnéticas de radio frecuencia (IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. [IEEE 2005]) cuya última actualización se realizó en el 2005 con una referencia de más de mil trabajos científicos. Este corresponde a una revisión del estándar anterior presentado en 1999 y es una revisión de los estudios publicados entre 1950 y el 2003, incluyendo a aquellos de bajos niveles de exposición.

El Anexo B del estándar de la IEEE hace un resumen de la literatura disponible. A continuación se exponen algunas de las conclusiones a las que llegó la IEEE a partir de estos estudios: [IEEE 2005]

Con relación a la termorregulación: “Se puede inducir un aumento significativo en la temperatura de ratones de laboratorio y primates no humanos como resultado de exposición a niveles de SAR de 4W/kg, lo que se traduce en efectos fisiológicos y de comportamiento. El mismo efecto no se produce en humanos bajo las mismas condiciones debido a un sistema termorregulatorio más eficiente. Incluso frente a exposiciones mucho más altas, la temperatura cuerpo humano es bien regulada. La exposición puede producir sensación de calor produciéndose un dolor cutáneo si se alcanzan los 45 -47 °C”.

Con respecto a la teratogenicidad, la reproducción y el desarrollo, el IEEE afirma: “Los resultados de unos pocos estudios que reportan efectos teratogénicos, reproductivos y de desarrollo a bajos niveles de exposición a campos RF son en general débiles en su diseño y no han sido confirmados independientemente. El peso de las evidencias en estudios con animales hacen concluir que los efectos teratogénicos, reproductivos y de desarrollo no

ocurren a menos que la exposición a campos RF sea mayor a 4W/kg. En población humana expuesta a campos RF de unidades de video, dispositivos de imagen magnéticos, unidades medicas, selladores de calor y radares no se sugieren efectos teratogénicos, reproductivos y de desarrollo dentro de los valores recomendados”.

Con respecto a **patologías** oculares menciona: “...efectos adversos de exposición de RF en los ojos, por ejemplo cataratas, están asociados a aumentos significativos de temperaturas debido a la absorción de energía de RF. No hay evidencia de otros efectos oculares significativos, incluyendo el cáncer.

Con respecto al cáncer en estudios de animales la IEEE resume lo siguiente: “No se han encontrado efectos fisiológicos, patológicos o enfermedades específicas debido a exposición prolongada a RF incluyendo exposición de por vida a niveles sobre 4W/kg”. “Estos estudios prolongados indican una falta de evidencia de que la exposición a RF cause o promueva inducciones a tumores. Además no se encontró efectos adversos en la esperanza de vida o masa corporal como resultado de exposición RF crónica” [IEEE 2005]

Al hablar de los estudios de cáncer en general: “No hay evidencia consistente de varios estudios en animales e in vitro de efectos reproductivos de exposición a RF a bajos niveles”. “La magnitud de los efectos reportados es en general muy pequeña, generalmente en el rango de variabilidad biológica y fisiológica sin implicaciones a la salud conocidas”

Y finalmente, con respecto a los estudios epidemiológicos, la IEEE concluye: “La evidencia epidemiológica no muestra evidencia clara ni consistente para indicar un rol causal de exposición a RF en conexión con cáncer humano y otras enfermedades. Sin embargo muchos de los estudios relevantes, son débiles en términos de diseño, falta de evaluación detallada de la exposición, y predisposición en los datos”. “(Por lo tanto) no pueden establecer la ausencia de un daño”. Sin embargo, indican que para valores típicos (sin mencionar cuales son) de exposición a campos RF “cualquier efecto en la salud, si es que existe, debe ser muy pequeño”. “El peso en conjunto de las evidencias es consistente con los resultados de periodos prolongados en animales que muestran que no hay evidencia de efectos fisiológicos, patológicos o en enfermedades específicas”. [IEEE 2005]

**Resumen:** Existen instituciones competentes que siguen de cerca las investigaciones relacionadas a los EMF y que entregan recomendaciones para velar por la salud humana. Ellas son la OMS, la ICNIRP, el SCENIHR/CSTEE y la IEEE. Las investigaciones se dividen en distintos tipos entre ellas en humanos, animales y células o tejidos, siempre orientadas a los humanos. Ellas concluyen que los estudios actuales no pueden afirmar que se produzcan daños a la salud humana, pero que las investigaciones deben continuar sobre todo a niveles de baja radiación y en períodos prolongados.

## 5.2 Recomendaciones para Niveles Máximos de Absorción y Exposición

Para definir las pautas de límites de exposición y absorción de ondas de radiofrecuencia seguros para la población, las normas internacionales utilizan los parámetros de densidad de potencia y SAR definidos en la sección 3.2. Estas normas y pautas están generalmente basadas en los niveles de exposición más bajos de los que se conoce hay efectos adversos para los humanos. Luego se incorporan factores de seguridad para entregar un valor específico de exposición que provea de suficiente protección a todos los segmentos de la población. Por lo tanto, cada pauta debe actualizarse cada ciertos años a medida que nuevos estudios entregan nuevos conocimientos sobre la radiación RF y los efectos adversos a la salud.

Generalmente se distingue entre dos tipos de exposición y absorción: ocupacional y no ocupacional. El tipo ocupacional establece los límites de exposición y absorción para quienes están encargados de trabajar directamente con radiofrecuencia, como por ejemplo quienes hacen mantenimiento a antenas en estaciones base. Ellos deben poseer el equipamiento adecuado para trabajar en dichos lugares. El tipo no-ocupacional, en cambio, se refiere al resto de la población, generalmente exceptuando a quienes poseen algún dispositivo médico implantado en su organismo.

La ICNIRP y la IEEE entregan recomendaciones para la exposición y absorción. Luego a cada país le corresponde definir un estándar en base a esta u otra guías, por lo tanto establecer una normativa al respecto.

Con relación a la exposición a campos electromagnéticos, la IEEE considera las frecuencias desde 0,1 MHz a los 300 GHz. Hay que notar que los valores de densidad de potencia que esta organización entrega son valores promedio, es decir calculados en un tiempo promedio de exposición. El tiempo promedio depende si se trata del caso ocupacional (para el cual es 6 minutos) o el caso no ocupacional (para el cual es 30 minutos).

En la Tabla 3 se muestra el caso más restrictivo dado por la IEEE y por la ICNIRP para la exposición en el caso ocupacional. En la Tabla 4 se muestra lo mismo pero para el caso no ocupacional. Para las tablas exactas dadas por las recomendaciones de la IEEE y de la ICNIRP es necesario referirse al Anexo A.

Rango de Frecuencias (en Mhz)	Densidad de potencia ( $W/m^2$ )	Densidad de potencia ( $W/m^2$ )	Ejemplo
100kHz - 1MHz	9000	-	
1MHz - 30MHz	300	-	
30MHz - 100MHz	10	10	Radio FM
100MHz - 300MHz	10	10	TV
300MHz - 3GHz	10	10	Celulares
3GHz - 30GHz	100	50	Internet Inalámbrico
30GHz - 300GHz	100	50	Radio Astronomía

Tabla 3 – Niveles de exposición máximos recomendados por la IEEE y la ICNIRP para el caso ocupacional [IEEE 2005] [ICNIRP 1998].

Rango de Frecuencias (en Mhz)	Densidad de potencia ( $W/m^2$ )	Densidad de potencia ( $W/m^2$ )	Ejemplo
100kHz - 1,34MHz	1000	-	
1,34MHz - 3MHz	200	-	
3MHz - 30MHz	2	-	
30MHz - 100MHz	2	2	Radio FM
100MHz - 400MHz	2	2	TV
400MHz - 2GHz	2	2	Celulares
2GHz - 5GHz	10	10	Internet Inalámbrico
5GHz - 30GHz	10	10	Comunicaciones Satelitales
30GHz - 100GHz	10	10	
100GHz - 300GHz	10	10	

Tabla 4 – Niveles de exposición máximos recomendados por la IEEE y la ICNIRP para el caso no ocupacional [IEEE 2005] [ICNIRP 1998].

Entonces, de las Tablas 3 y 4 se puede ver que, por ejemplo, para el caso ocupacional en una transmisión de radio FM en la banda 94,1 MHz, la densidad de potencia promedio límite será de  $10 W/m^2$ . En el caso no ocupacional se tiene que la densidad de potencia será de  $2 W/m^2$ .

Cabe recordar que ocupacional se refiere a quienes deben trabajar directamente con las antenas de transmisión, mientras que no ocupacional se refiere a todo otro tipo de personas. Por ejemplo en el caso de “celular, ocupacional corresponde al operario que arregla una antena en la estación base y no ocupacional se refiere a una persona que utiliza su handset.

Además de esto valores promedio existen valores máximos de exposición instantáneos que indican a cuanto puede exponerse una persona en un instante de tiempo. El valor instantáneo máximo o peak de densidad de potencia no debe exceder 20 veces el cuadrado de los valores promedio límites de exposición dados por las recomendaciones de la IEEE y la ICNIRP (dados en las tablas 3 y 4) [IEEE 2005] [ICNIRP 1998]

Cabe destacar que, para ambos estándares, la suma de los productos de los niveles de exposición y los tiempos permitidos para la exposición debe ser igual al producto del límite apropiados y el tiempo promedio. Por ejemplo, si el límite de densidad de potencia es  $10 W/m^2$ , entonces  $10 W/m^2$  por 6 minutos son  $60W/m^2$  por minuto. Luego una persona (caso ocupacional) puede exponerse a  $20 W/m^2$  en 3 minutos ( $20 W/m^2$  por 3 minutos =  $60W/m^2$  por minuto). Por supuesto, se pueden realizar varias combinaciones de esto, lo importante es no superar el límite establecido.

Hay que mencionar además que lo anterior significa que la exposición ocurre en períodos de 6 o 30 minutos (dependiendo del caso ocupacional o no ocupacional). Por lo tanto si una persona se expone todo el día (24 horas = 1440 minutos) a un campo de RF eso no

significa que pueda exponerse a un valor muy pequeño por minuto, sino que cada 6 o 30 minutos puede estar expuesta al valor límite, siempre y cuando en esos 6 o 30 minutos no supere el valor máximo establecido para ese tiempo. Esto puede aplicarse a personas que por ejemplo viven o trabajan rodeados de campos RF (estaciones base frente a una casa, Internet inalámbrico en la casa u oficina, etc.)

De la misma forma, ambos documentos entregan recomendaciones de absorción (representado por el SAR) para el caso ocupacional y no ocupacional. En este caso los valores dados por ambos documentos han sido calculados en 10 gramos de tejido y han llegado a coincidir en sus últimas versiones, la diferencia es que en el caso de la IEEE los valores dados son válidos entre las frecuencias 100kHz y 3GHz y en el caso de la ICNIRP los valores son válidos entre las frecuencias 100kHz y 10GHz. Estos valores pueden verse en la Tabla 7 y en el Anexo A.

SAR IEEE/ICNIRP		SAR ocupacional (W/kg)	SAR no ocupacional (W/kg)
<b>Cuerpo Completo</b>		<b>0,4</b>	<b>0,08</b>
Exposición localizada	(cabeza)	10	2
Exposición localizada	(extremidades)	20	4

Tabla 7 – Niveles máximos de absorción recomendados por el IEEE y el ICNIRP [IEEE 2005] [ICNIRP 1998]

Mediante estas recomendaciones los países pueden establecer sus propias normas de exposición y absorción. Lo anterior puede encontrarse con detalle en la base de datos de la web de la OMS [web OMS]. En la Tabla 8 se indican los valores adoptados por algunos países sobre la absorción de ondas de RF:

	Australia	EEUU	Europa	Japón	Nueva Zelandia
<b>Cuerpo Completo</b>	0,4 W/kg	0,4 W/kg	0,4 W/kg	0,4 W/kg	0,4 W/kg
<b>Máximo Espacial</b>	10 W/kg	8 W/kg	10 W/kg	8 W/kg	10 W/kg
<b>Tiempo Promedio</b>	6 min	6 min	6 min	6 min	6 min

Tabla 8 – Límites de SAR para el caso ocupacional adoptado por algunos países. [Zombolas 2003]

	Australia	EEUU	Europa	Japón	Nueva Zelandia
<b>Cuerpo Completo</b>	0,08 W/kg	0,08 W/kg	0,08 W/kg	0,04 W/kg	0,08 W/kg
<b>Máximo Espacial</b>	2 W/kg	1,6 W/kg	2 W/kg	2 W/kg	2 W/kg
<b>Tiempo Promedio</b>	6 min	30 min	6 min	6 min	6 min

Tabla 9 – Límites de SAR para el caso no ocupacional adoptado por algunos países. [Zombolas 2003]

En Chile, la Subtel ha determinado la siguiente norma técnica sobre Requisitos de Seguridad Aplicables a las instalaciones de Servicios de Telecomunicaciones que generan Ondas Electromagnéticas: “Las antenas correspondientes al Servicio Público de Telefonía Móvil deberán instalarse de manera tal que la densidad de potencia medida en los puntos a los cuales tengan libre acceso las personas en general, sea inferior a 435 micro Watts/cm<sup>2</sup>” [Subtel 2000].

Y respecto a la absorción, han dicho: “En la red telefónica móvil las concesionarias sólo habilitarán en sus redes equipos portátiles cuyo SAR no exceda los valores máximos que a continuación se indican:

Dependiendo de la cantidad de tejido humano que se considere para la determinación del referido índice, se aceptará los siguientes valores de SAR para cuerpo parcial, cabeza y tronco:

- 1,6 W/kg, sobre 1 gramo de tejido; o
- 2 W/kg, sobre 10 gramos contiguos de tejido.” [Subtel 2000]

De lo anterior se concluye que la Subtel ha determinado que el límite promedio de exposición para el caso de telefonía celular corresponde a 4,35 W/m<sup>2</sup> y que los límites promedio de absorción corresponden a 1.6 W/kg (por 1 gramo) o 2W/kg (por 10 gramos). Por lo tanto los valores son muy similares a los recomendados por la IEEE y por la ICNIRP.

**Resumen:** Organizaciones como la ICNIRP y la IEEE han generado recomendaciones sobre los niveles de exposición y absorción de las ondas de RF, a partir de una gran base de datos de estudios realizados en los últimos años. Mediante estas recomendaciones los países pueden establecer sus propios estándares de seguridad.



## 6 Proyección Futura

---

La masificación de las comunicaciones inalámbricas es un fenómeno reciente, y el explosivo crecimiento que tuvo en los últimos 15 años fue subestimado por amplio margen tanto por políticos como economistas. Se trata, por lo tanto, de una tecnología cuyo efecto en la sociedad es aún difícil de predecir en lo específico. No obstante, es posible identificar las características técnicas esenciales que estos sistemas probablemente tendrán, así como también identificar las tendencias actuales. Se reconocen dos áreas principales de desarrollo: la evolución de las tecnologías existentes, y la aparición de nuevas aplicaciones inalámbricas.

### 6.1 Evolución de Tecnologías Existentes

Las aplicaciones principales de tecnologías inalámbricas que exponen cotidianamente a las personas a ondas de radio son la telefonía celular y el acceso de banda ancha por vía inalámbrica redes de dato (Internet principalmente): WiFi (redes de area local), y WiMAX (redes de area metropolitana). Otras aplicaciones como las comunicaciones satelitales, radio y televisión, si bien son fundamentales en la vida moderna, son de segunda importancia en términos de la exposición a energía de radiofrecuencia que causan a las personas. De hecho, involucran una fracción despreciable en cantidad de antenas emisoras en comparación con telefonía celular, WiFi y WiMAX, y valores SAR significativamente menores.

La telefonía celular es actualmente una tecnología separada de aquellas que proveen acceso inalámbrico de banda ancha a redes de datos. No obstante, el énfasis en investigación y desarrollo está hoy en día mundialmente orientado a la integración de estos servicios, en lo que ha llegado a conocerse con el concepto de *convergencia*. Convergencia no sólo se refiere a tecnologías inalámbricas sino en general a la unificación de redes de todos los tipos en una sola infraestructura de comunicaciones. Por ejemplo, la telefonía IP es un ejemplo de convergencia entre el tradicional servicio de telefonía (comunicación de voz realizada sobre una infraestructura de red dedicada a ese propósito), con una infraestructura cuyo génesis fue la comunicación de datos (Internet).

La convergencia de tecnologías inalámbricas no necesariamente aumentará la cantidad de radiación en el ambiente. El argumento se basa en el principio que el acceso inalámbrico es atractivo más que nada para usuarios móviles, puesto que para usuarios fijos es más costo-eficiente utilizar métodos de conectividad fija en su hogar o lugar de trabajo. Además, usuarios móviles tienen un presupuesto energético limitado por la capacidad de la batería de sus equipos de comunicación, motivo por el cual el diseño de sistemas de comunicaciones inalámbricas está fuertemente orientado hacia lograr una comunicación exitosa con la menor posible emisión de energía desde el *handset*.

Tampoco se espera un crecimiento importante en el consumo de telefonía inalámbrica, puesto que a la fecha su penetración de mercado en Chile ya es superior al 70%. Y si bien el acceso inalámbrico a Internet aún tiene mucho por crecer, en el mediano plazo (año 2015-2020) lo hará con alta probabilidad sobre infraestructura de la telefonía móvil

(convergencia). Esto puede limitar en cierta medida la proliferación descontrolada de torres y antenas.

El tamaño de las antenas (el elemento radiante montado en una torre o en el interior de los *handset*) no cambiará significativamente. El motivo de ello es que las frecuencias más atractivas del espectro electromagnético para aplicaciones de comunicaciones inalámbricas móviles son aquellas en uso actualmente. En frecuencias más altas (antenas más pequeñas) hay disponibilidad de espectro, pero la absorción de ondas de radio causada por la atmósfera obliga usar potencias de transmisión mayores. Esto, sin embargo, no es atractivo debido a las limitaciones energéticas de las baterías mencionadas anteriormente. Por otro lado, hay insuficiente espectro libre para migrar hacia frecuencias más bajas, las que además son poco atractivas por el mayor tamaño de las antenas requeridas en *handsets*.

La altura de las torres –y por ende su impacto estético y visibilidad pública– probablemente disminuirá paulatinamente con el tiempo, en la medida que se requiera reducir el área de cobertura de cada celda. Esto es necesario para aumentar la *capacidad* de un sistema celular, es decir, lograr atender a más usuarios dentro de la misma área de cobertura. La reducción de celdas también mejora la eficiencia energética de los *handsets*, puesto que una menor distancia media entre *handsets* y bases permite reducir la potencia de transmisión.

## 6.2 Aplicaciones Futuras

Los dos sectores de aplicación de ondas de radio con probablemente los mayores potenciales de expansión a futuro son sin duda las redes de área personal y los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID), ambos ya introducidos en la Sección 3.3. Para el primer caso, aplicaciones en desarrollo incluyen transmisión de señales de audio y video entre lectores DVD, televisores y parlantes, interconexión inalámbrica de sensores y actuadores en líneas de producción industriales. RFID, por su parte, está viviendo un auge masivo en automatización de bodegaje, cadenas de distribución y manejo de inventario. Se pronostica que la utilización de *tags* en productos de supermercado permitirá, por ejemplo, leer el contenido de un carro en segundos y generar la cuenta en forma automatizada.

Las ideas anteriores sugieren el auge de una nueva forma de utilizar ondas de radio: para automatizar y simplificar en el manejo de información sobre objetos *consumidos* o *manejados* por las personas. Estas tecnologías se caracterizarán por

- tener antenas pequeñas, a menudo ocultas,
- utilizar potencias de transmisión bajas, y
- emisiones en el entorno inmediato de las personas.

Aplicaciones con tasas de datos pequeñas (RFID, algunos sensores inalámbricos) requerirán anchos de banda muy pequeños y podrán operar en las bandas de frecuencia tradicionales (por ejemplo, 2,4 GHz y 5,25 GHz). Sin embargo, aplicaciones que requieran transferir altas tasas de datos en forma continua, como señales de video de alta

resolución, deberán utilizar frecuencias en porciones más altas del espectro electromagnético. Para ello, en los Estados Unidos la FCC liberó una banda de 10 GHz de ancho en torno a los 60 GHz de frecuencia para experimentar y desarrollar este tipo de tecnologías. Esto corresponde a una porción de espectro dos veces más ancha que aquella entre 0 Hz y 5 GHz en la que hoy en día se realiza la grán mayoría de todas las comunicaciones inalámbricas en el mundo (Radio, TV, telefonía celular, WiFi, WiMAX, etc.). Si bien las recomendaciones de la IEEE e ICNIRP incluyen límites de protección relativamente bien fundados para las frecuencias en torno a 60 GHz, los efectos sobre la salud por una exposición regular a ondas de radio en esas frecuencias no han sido estudiados en forma específica ni detallada. De hecho, equipamiento de laboratorio para realizar experimentos a esas frecuencias son aún escasos y costosos.

## *7 Resumen y Conclusiones Generales*

---

Los antecedentes presentados en este documento pueden ser resumidas en las siguientes conclusiones principales.

La vida moderna se desenvuelve en un medio ambiente ricamente perfundido por ondas de radio. Estas ondas no sólo son creadas intencionalmente mediante dispositivos electrónicos para lograr comunicación por vía inalámbrica (teléfonos y bases celulares, estaciones de radio y televisión), sino también por esencialmente cualquier artefacto eléctrico o electrónico de uso cotidiano, tanto en el hogar como fuera de él (hornos microondas, televisores, aspiradoras, maquinaria industrial).

En forma análoga a lo que ocurre con el humo de fumadores, algunas de las radiaciones a las que cada persona se ve expuesta diariamente, están bajo su propio control (“fumador activo”), mientras que otras no (“fumador pasivo”). Un ejemplo del primer caso es la dosificación del uso del teléfono celular propio, mientras que las emisiones de radio y televisión son ejemplos del segundo caso.

El uso de ondas de radio para comunicación requiere de antenas para emitir y captar la energía de las ondas. El tamaño de una antena es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda de radio. Para las frecuencias de interés en las comunicaciones inalámbricas modernas, las antenas tienen tamaños típicos entre pocos centímetros y pocos metros. No obstante, para lograr una vista descubierta sobre el área de cobertura deseada, las antenas a menudo son montadas en estructuras conocidas como “torres”. Las torres no generan radiación, y su tamaño (altura) está típicamente en el rango desde una a varias decenas de metros. Por lo tanto, la parte más notoria de lo que popularmente es denominado “antena” es, de hecho, la torre que la soporta.

Las instalaciones de torres y antenas a menudo sacrifican la estética de un lugar. Asimismo, su visibilidad tiende a generar inquietud y resistencia en la población debido a temores vastamente infundados sobre los efectos nocivos que estas instalaciones puedan tener sobre la salud de las personas. Ambos problemas pueden ser minimizados mediante instalaciones camufladas, las que limitan la pérdida estética y reducen su visibilidad al público.

La cantidad de radiación electromagnética a la cual una persona está expuesta en cada momento se mide en “potencia por unidad de área corporal” (Watts / cm<sup>2</sup>). La cantidad de dicha potencia efectivamente absorbida por los tejidos del cuerpo es medida mediante el índice llamado SAR, cuyas unidades son “potencia por unidad de peso corporal” (Watts / kg).

1. El marco regulatorio que cada país adopta para salvaguardar la salud de las personas ante la exposición a ondas de radio lleva el nombre de “especificaciones de límites de protección”. La gran mayoría de los países que han adoptado límites de protección, lo han hecho ya sea en base a los límites recomendados por el ICNIRP, un comité de expertos internacionales formalmente apoyado por la Organización Mundial de la Salud, o bien en base al estándar de límites de protección recomendado por la

reconocida asociación de ingenieros eléctricos IEEE. Ambas recomendaciones son muy similares entre sí.

2. Contrario a la creencia popular, en los últimos 30 años se han publicado más artículos científicos sobre el efecto de radiaciones electromagnéticas en la salud de seres vivos, que estudios similares sobre los efectos nocivos de productos químicos. Hasta la fecha, sin embargo, no se ha encontrado evidencia concluyente que demuestre que las ondas de radio producidas por dispositivos de uso diario, no médico-terapéuticos, que satisfacen los límites de protección recomendados internacionalmente, tengan efectos nocivos sobre la salud. En particular:
  - La evidencia científica sugiere que el uso regular de teléfonos celulares por un periodo inferior a 10 años no aumenta el riesgo de tumores cerebrales o neuromas acústicos. La escasa cantidad de datos disponibles para estudiar el uso de teléfonos celulares en períodos superiores a 10 años no contiene indicaciones sobre un aumento en el riesgo de tumores, pero sí hay limitada evidencia que sugiere un mayor factor de riesgo de neuromas acústicos. No obstante, la asociación estadística entre estos neuromas con las ondas de radio como factor causante es, por el momento, débil.
  - Los estudios científicos no han podido demostrar relación entre la exposición a ondas de radio que satisfacen los límites de protección internacionales, con los síntomas de hipersensibilidad a ondas de radio. Tampoco hay evidencia sobre riesgos neurotóxicos ni reproductivos para exposiciones debajo de los límites de protección recomendados.
  - No hay indicación concluyente de las investigaciones in-vitro sobre el efecto en células de campos de radiofrecuencia menores que los límites de protección recomendados.
3. Sobre el efecto de las ondas de radio en la salud aún hay preguntas abiertas, entre las que cuentan las siguientes:
  - Es necesario investigar con mayor detalle los efectos causados por exposición regular a ondas de radio durante períodos mayores a 10 años. La principal limitación actual es la escasez de datos experimentales para niveles bajos de exposición a ondas de radio por períodos prolongados. Este tipo de estudios será posible en la medida que la masificación del uso de telefonía celular y redes inalámbricas sean fenómenos más antiguos. Tampoco es claro si algunos modelos obtenidos de experimentos con dosis de radiación altas son representativos para dosis bajas.
  - Estudios recientes revelan la necesidad por entender los efectos genotóxicos con más claridad.
  - La epidemiología del efecto de ondas de radio en niños requiere más estudio.

- Para enfermedades distintas a cáncer hay pocos datos epidemiológicos disponibles que permitan estudiar su posible relación con las ondas de radio.
- Falta mejor conocimiento del efecto *combinado* de ondas de radio de distintas frecuencias y fuentes de radiación sobre un mismo organismo.

## 8 Referencias

---

- [AntennaFlickr] <http://www.flickr.com/photos/rabinal/sets/710532>.
- [ARRL] Amateur Radio News, <http://www.arrl.org>.
- [Carr2001] Practical antenna handbook / Joseph J. Carr McGraw-Hill 2001
- [CellularFone] CellularFone, Cell Phone Plans, <http://www.cellularfone.us/>
- [Comar 2000] E. Adair, Q. Balzano, H. Bassen, Consideraciones sobre la seguridad de las estaciones base de telefonía móvil, [http://ewh.ieee.org/soc/embs/comar/exposicion\\_estaciones\\_base.htm](http://ewh.ieee.org/soc/embs/comar/exposicion_estaciones_base.htm)
- [Chau 2005] Chau T.T., Foster K.R., Should Children Use Mobile Phones?, IEEE Microwave Magazine, Vol 6, Issue 4, Dec 2005 Page(s):18 – 30.
- [CSTEE 2001] Scientific Committee on Toxicity , Ecotoxicity and the Environment (CSTEE) , Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on Human Health, <http://ec.europa.eu/>
- [DataRadio] Dataradio inc., <http://www.dataradio.com/>
- [ICNIRP 1998] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), [www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf](http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf)
- [IEEE 2005] IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.
- [Lin 2004] Lin J.C., Controversy over cellular mobile-telecommunication base-station-antenna installations , IEEE Antennas and Propagation Magazine, v 46, n 1, February, 2004, p 155-156.
- [Moulder 2006] Moulder J., Electromagnetic Fields and Human Health, John E. Moulder, <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>
- [Nokia 2006] An insight into EMF health - research and standardization, 2006
- [Nokia web] Niveles de SAR de equipos Nokia, <http://sar.nokia.com/>
- [OET 1997] Evaluation Compliance with FCC Guidelines for human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields
- [OET 1999] Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields.
- [OMS Handbook] Estableciendo un Diálogo sobre los Riesgos de los Campos Electromagnéticos – OMS – 2005
- [OMS web] Organización Mundial de la Salud, <http://www.who.int>

- [Radiowavz] RadioWavz, <http://www.radiowavz.com/>.
- [Rense] Rense.com, <http://www.rense.com/general56/rad.htm>.
- [SCENIHR 2006] Scientific committee on emerging and newly identified health risks (SCENIHR) , Preliminary Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health, <http://ec.europa.eu/>
- [ScienceClarified] Science Clarified, <http://www.scienceclarified.com/>.
- [Subtel 2000] Subsecretaría de Telecomunicaciones, Norma Técnica sobre Requisitos de Seguridad Aplicables a las instalaciones de Servicios de Telecomunicaciones que generan Ondas Electromagnéticas , Resolución N° 505 Exenta de 2000.
- [WayMarking] Waymarking, <http://www.waymarking.com/>
- [Wikipedia\_BaseStation]Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Base\\_station](http://en.wikipedia.org/wiki/Base_station).
- [Zombolas 2003] C. Zombolas, New Compliance requirements for mobile telecommunications equipment, 2003.  
[http://www.emctech.com.au/sar/SAR\\_Article\\_2003.pdf](http://www.emctech.com.au/sar/SAR_Article_2003.pdf)



## 9 Glosario

---

**Absorción:** Fenómeno de captación de energía electromagnética en el cuerpo humano.

**Amenaza a la salud:** Efecto biológico que tiene consecuencias en la salud que superan la capacidad de compensación de los mecanismos naturales del cuerpo humano

**Antena:** Elemento capaces de emitir o recibir ondas de radio.

**Campo electromagnético:** Combinación de campos eléctricos y magnéticos. Se usa el término “campo” para describir la intensidad de energía eléctrica o magnética en un punto dado del espacio.

**Corriente alterna:** Forma en que se entrega corriente eléctrica a una antena para que realizar una transmisión. Se caracteriza por entregar y recibir energía alternadamente.

**CSTEE:** Comité científico de toxicidad y medioambiente que busca responder a preguntas técnicas y científicas relacionadas al análisis de la toxicidad de componentes químicas, bioquímicas y biológicas que pudieran tener consecuencias dañinas para la salud humana y el medio ambiente.

**Densidad de Potencia:** Potencia por unidad de área ( $W/m^2$ ).

**Efecto biológico:** Respuesta fisiológica de un organismo ante la exposición a un campo electromagnético.

**Emisión:** Radiación electromagnética producida por una antena.

**Epidemiología:** Estudio científico de los factores que afectan la salud y la enfermedad de una población.

**Espectro electromagnético:** Rango de todas las frecuencias de ondas electromagnéticas.

**Exposición:** Incidencia de energía de radiofrecuencia sobre un determinado objeto.

**ELF:** Ondas de extremadamente baja frecuencia (Extremely Low Frequencies, del inglés). Usan parte del espectro electromagnético entre los 30 y 300 Hz. Las líneas de transmisión eléctrica y los aparatos domésticos generan radiación a estas frecuencias.

**Frecuencia:** Cantidad de ciclos u oscilaciones que tiene una onda en un segundo.

**Genotóxico:** Se refiere a radiaciones capaces de causar mutación genética y contribuir al desarrollo de tumores.

**Hertz:** Unidad de frecuencia abreviada como Hz. Corresponde un ciclo por segundo. A menudo se expresa como miles = kilo Hertz (kHz), millones = Mega Hertz (MHz) y miles de millones = Giga Hertz (GHz).

**ICNIRP:** International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; Comisión Internacional de protección contra la radiación no ionizante.

**IEEE:** El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers), una asociación técnico profesional mundial dedicada a la estandarización de las tecnologías eléctricas, entre otras cosas.

**In vitro:** Se refiere a la técnica de realizar experimentos en tubos de ensayo o en ambientes controlados fuera de un organismo vivo.

**In vivo:** Se refiere a la experimentación hecha en tejido vivo de organismos vivos.

**Ionización:** Proceso mediante el cual los átomos pierden o ganan electrones.

**Línea de Vista (LOS):** Se dice que hay línea vista cuando no existen obstáculos entre el emisor y el receptor.

**Longitud de Onda:** Distancia cubierta por una onda en un ciclo completo de oscilación.

**Neuroma:** Tumor de las células del sistema nervioso. Puede ser maligno o benigno.

**Neuroma acústico:** Tumor intracraneano benigno.

**Onda electromagnética:** Tipo de energía que puede ser aprovechada para transmitir información por el aire mediante la generación controlada de campos eléctricos y magnéticos.

**Ondas de radiofrecuencia:** Tipo de ondas electromagnéticas usadas para comunicaciones inalámbricas. Su frecuencia está en el rango entre 3 kHz y 300 GHz.

**Organización Mundial de la Salud (OMS):** Organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial.

**Patología:** Conjunto de síntomas de una enfermedad. Un efecto se dice patológico si produce los síntomas de alguna enfermedad.

**Patrón de radiación:** Representación gráfica de la sensibilidad de una antena en distintas direcciones.

**Pérdidas de sombra:** Pérdidas de energía que sufre una onda de radio producto de la falta de línea de vista entre transmisor y receptor.

**Pérdidas por distancia:** Pérdidas de energía que sufre una onda de radio desde un emisor producto de la distancia recorrida. La pérdida crece con el cuadrado de la distancia.

**Pérdida por multitrayectoria:** Pérdidas producidas debido a las múltiples trayectorias que sigue la energía emitida. Se conoce también como scattering.

**Potencia:** Energía consumida o entregada por unidad de tiempo.

**Radiación electromagnética:** Propagación de energía electromagnética por el espacio en forma de ondas o partículas.

**Radiofrecuencia (RF):** Segmento del espectro usado para transmisión de información.

**Radiación ionizante:** Tipo de radiación de alta frecuencia que produce ionización en los átomos. Este tipo de radiación produce daños conocidos en los tejidos.

**Radiación no-ionizante:** Tipo de radiación que no produce ionización. La radiación de RF es de este tipo.

**Resonancia:** Fenómeno físico que hace que a determinadas frecuencias una antena es capaz de emitir más energía.

**RF:** Ver Ondas de Radiofrecuencia.

**Salud:** Estado de completo bienestar físico, mental y social.

**SAR:** Indicador del nivel de absorción de ondas de radio. Corresponde a la potencia absorbida por kilogramo de tejidos del cuerpo, medido en Watts por kg (W/kg).

**SCENIHR:** Comité científico sobre los riesgos a la salud nuevos y emergentes (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks).

**Teratogénesis:** Estudio de la frecuencia, causa y desarrollo de malformaciones congénitas.

**Termoregulación:** Capacidad del cuerpo de regular su temperatura mediante mecanismos naturales.

**Watt:** Unidad de potencia, mide cantidad de energía por unidad de tiempo.

## Anexo A. Recomendaciones IEEE e ICNIRP

En Estados Unidos se utilizan los límites de protección especificados por el estándar IEEE Std C95.1. Los límites para exposición a campos electromagnéticos se detallan en las Tablas que siguen. Las tablas de la sección 5.2 hacen referencia a los valores más restrictivos de estas tablas (es decir el valor más bajo). Esto significa que por ejemplo en la Tabla A.2, en la banda de frecuencia 3-30 MHz se toma el valor más bajo de densidad de potencia ( $1800/f_m^2$  con  $f_m=30$  da como resultado  $2 \text{ W/m}^2$ ). Lo mismo se aplicó en todas las tablas siguientes en las que se tiene que reemplazar un valor de frecuencia.

Frequency range (MHz)	RMS electric field strength (E) <sup>a</sup> (V/m)	RMS magnetic field strength (H) <sup>a</sup> (A/m)	RMS power density (S) E-field, H-field (W/m <sup>2</sup> )	Averaging time  E  <sup>2</sup> ,  H  <sup>2</sup> or S (min)
0.1–1.0	1842	$16.3/f_M$	$(9000, 100\,000/f_M^2)^b$	6
1.0–30	$1842/f_M$	$16.3/f_M$	$(9000/f_M^2, 100\,000/f_M^2)$	6
30–100	61.4	$16.3/f_M$	$(10, 100\,000/f_M^2)$	6
100–300	61.4	0.163	10	6
300–3000	–	–	$f_M/30$	6
3000–30 000	–	–	100	$19.63/f_G^{1.079}$
30 000–300 000	–	–	100	$2.524/f_G^{0.476}$

NOTE— $f_M$  is the frequency in MHz.  $f_G$  is the frequency in GHz.

<sup>a</sup>For exposures that are uniform over the dimensions of the body, such as certain far-field plane-wave exposures, the exposure field strengths and power densities are compared with the MPEs in the Table. For non-uniform exposures, the mean values of the exposure fields, as obtained by spatially averaging the squares of the field strengths or averaging the power densities over an area equivalent to the vertical cross section of the human body (projected area), or a smaller area depending on the frequency (see NOTES to Table 8 and Table 9 below), are compared with the MPEs in the Table.

<sup>b</sup>These plane-wave equivalent power density values are commonly used as a convenient comparison with MPEs at higher frequencies and are displayed on some instruments in use.

Tabla A.1 – Niveles de exposición para caso ocupacional desde 0,1 MHz a los 300000 MHz [IEEE 2005]

Frequency range (MHz)	RMS electric field strength (E) <sup>a</sup> (V/m)	RMS magnetic field strength (H) <sup>a</sup> (A/m)	RMS power density (S) E-field, H-field (W/m <sup>2</sup> )	Averaging time <sup>b</sup>  E  <sup>2</sup> ,  H  <sup>2</sup> or S (min)	
0.1-1.34	614	16.3/f <sub>M</sub>	(1000, 100 000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> ) <sup>c</sup>	6	6
1.34-3	823.8/f <sub>M</sub>	16.3/f <sub>M</sub>	(1800/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> , 100 000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> )	f <sub>M</sub> <sup>2</sup> ·0.3	6
3-30	823.8/f <sub>M</sub>	16.3/f <sub>M</sub>	(1800/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> , 100 000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> )	30	6
30-100	27.5	158.3/f <sub>M</sub> <sup>1.668</sup>	(2.9 400 000/f <sub>M</sub> <sup>3.336</sup> )	30	0.0636 f <sub>M</sub> <sup>1.337</sup>
100-400	27.5	0.0729	2	30	30
400-2000	-	-	f <sub>M</sub> ·200	30	
2000-5000	-	-	10	30	
5000-30 000	-	-	10	150/f <sub>G</sub>	
30 000-100 000	-	-	10	25.24/f <sub>G</sub> <sup>0.476</sup>	
100 000-300 000	-	-	(90/f <sub>G</sub> -7000)·200	50.48/[(9/f <sub>G</sub> -700)/f <sub>G</sub> <sup>0.476</sup> ]	

NOTE—f<sub>M</sub> is the frequency in MHz, f<sub>G</sub> is the frequency in GHz.

<sup>a</sup>For exposures that are uniform over the dimensions of the body, such as certain far-field plane-wave exposures, the exposure field strengths and power densities are compared with the MPEs in the Table. For non-uniform exposures, the mean values of the exposure fields, as obtained by spatially averaging the squares of the field strengths or averaging the power densities over an area equivalent to the vertical cross section of the human body (projected area) or a smaller area depending on the frequency (see NOTES to Table 8 and Table 9 below), are compared with the MPEs in the Table.

<sup>b</sup>The left column is the averaging time for |E|<sup>2</sup>, the right column is the averaging time for |H|<sup>2</sup>. For frequencies greater than 400 MHz, the averaging time is for power density S.

<sup>c</sup>These plane-wave equivalent power density values are commonly used as a convenient comparison with MPEs at higher frequencies and are displayed on some instruments in use.

Tabla A.2 – Niveles de exposición para público general desde 0.1 MHz a los 300000 MHz [IEEE 2005]

Para absorción de campos magnéticos, la Tabla A.3 muestra los valores máximos permitidos.

		Action level <sup>a</sup> SAR <sup>b</sup> (W/kg)	Persons in controlled environments SAR <sup>c</sup> (W/kg)
Whole-body exposure	Whole-Body Average (WBA)	0.08	0.4
Localized exposure	Localized (peak spatial-average)	2 <sup>c</sup>	10 <sup>c</sup>
Localized exposure	Extremities <sup>d</sup> and pinnae	4 <sup>c</sup>	20 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>BR for the general public when an RF safety program is unavailable.

<sup>b</sup>SAR is averaged over the appropriate averaging times as shown in Table 8 and Table 9.

<sup>c</sup>Averaged over any 10 g of tissue (defined as a tissue volume in the shape of a cube).<sup>4</sup>

<sup>d</sup>The extremities are the arms and legs distal from the elbows and knees, respectively.

<sup>4</sup>The volume of the cube is approximately 10 cm<sup>3</sup>.

Tabla A.3 – Valores de SAR para frecuencias entre 100kHz y 3GHz [IEEE 2005]

Las siguientes tablas resumen los límites de exposición y absorción sugeridos por la ICNIRP.

Frequency range	E-field strength ( $V\ m^{-1}$ )	H-field strength ( $A\ m^{-1}$ )	B-field ( $\mu T$ )	Equivalent plane wave power density $S_{eq}$ ( $W\ m^{-2}$ )
up to 1 Hz	—	$1.63 \times 10^3$	$2 \times 10^5$	—
1–8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^3 f^2$	$2 \times 10^5 f^2$	—
8–25 Hz	20,000	$2 \times 10^4 f$	$2.5 \times 10^4 f$	—
0.025–0.82 kHz	$500f$	$20f$	$25f$	—
0.82–65 kHz	610	24.4	30.7	—
0.065–1 MHz	610	$1.6f$	$2.0f$	—
1–10 MHz	$610f$	$1.6f$	$2.0f$	—
10–400 MHz	61	0.16	0.2	10
400–2,000 MHz	$3f^{1.2}$	$0.008f^{1.2}$	$0.01f^{1.2}$	$f/40$
2–300 GHz	137	0.36	0.45	50

<sup>a</sup> Note:

1.  $f$  as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz,  $S_{eq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$ , and  $B^2$  are to be averaged over any 6-min period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figs. 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width, does not exceed 1,000 times the  $S_{eq}$  restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz,  $S_{eq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$ , and  $B^2$  are to be averaged over any  $68f^{1.05}$ -min period ( $f$  in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies  $<1$  Hz, which are effectively static electric fields. Electric shock from low impedance sources is prevented by established electrical safety procedures for such equipment.

Tabla A.4 – Niveles de referencia para exposición ocupacional hasta 300GHz [ICNIRP 1998]

Frequency range	E-field strength ( $V\ m^{-1}$ )	H-field strength ( $A\ m^{-1}$ )	B-field ( $\mu T$ )	Equivalent plane wave power density $S_{eq}$ ( $W\ m^{-2}$ )
up to 1 Hz	—	$3.2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	—
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4 f^2$	$4 \times 10^4 f^2$	—
8–25 Hz	10,000	$4,000f$	$5,000f$	—
0.025–0.8 kHz	$250f$	$4f$	$5f$	—
0.8–3 kHz	$250f$	5	6.25	—
3–150 kHz	87	5	6.25	—
0.15–1 MHz	87	$0.73f$	$0.92f$	—
1–10 MHz	$87f^{1.2}$	$0.73f$	$0.92f$	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2,000 MHz	$1.375f^{1.2}$	$0.0037f^{1.2}$	$0.0046f^{1.2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10

<sup>a</sup> Note:

1.  $f$  as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz,  $S_{eq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$ , and  $B^2$  are to be averaged over any 6-min period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figs. 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width does not exceed 1,000 times the  $S_{eq}$  restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz,  $S_{eq}$ ,  $E^2$ ,  $H^2$ , and  $B^2$  are to be averaged over any  $68f^{1.05}$ -min period ( $f$  in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies  $<1$  Hz, which are effectively static electric fields. perception of surface electric charges will not occur at field strengths less than  $25\ kV\ m^{-1}$ . Spark discharges causing stress or annoyance should be avoided.

Tabla A.5 – Niveles de referencia para exposición no ocupacional hasta 300GHz [ICNIRP 1998]

Exposure characteristics	Frequency range	Current density for head and trunk ( $\text{mA m}^{-2}$ ) (rms)	Whole-body average SAR ( $\text{W kg}^{-1}$ )	Localized SAR (head and trunk) ( $\text{W kg}^{-1}$ )	Localized SAR (limbs) ( $\text{W kg}^{-1}$ )
Occupational exposure	up to 1 Hz	40	—	—	—
	1–4 Hz	$40/f$	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	10	—	—	—
	1–100 kHz	$f/100$	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	$f/100$	0.4	10	20
General public exposure	10 MHz–10 GHz	—	0.4	10	20
	up to 1 Hz	8	—	—	—
	1–4 Hz	$8/f$	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	2	—	—	—
	1–100 kHz	$f/500$	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	$f/500$	0.08	2	4
10 MHz–10 GHz	—	0.08	2	4	

<sup>a</sup>Note

1.  $f$  is the frequency in hertz.
2. Because of electrical inhomogeneity of the body, current densities should be averaged over a cross-section of  $1 \text{ cm}^2$  perpendicular to the current direction.
3. For frequencies up to 100 kHz, peak current density values can be obtained by multiplying the rms value by  $\sqrt{2}$  ( $\approx 1.414$ ). For pulses of duration  $t_p$ , the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as  $f = 1/(2t_p)$ .
4. For frequencies up to 100 kHz and for pulsed magnetic fields, the maximum current density associated with the pulses can be calculated from the rise/fall times and the maximum rate of change of magnetic flux density. The induced current density can then be compared with the appropriate basic restriction.
5. All SAR values are to be averaged over any 6-min period.
6. Localized SAR averaging mass is any 10 g of contiguous tissue; the maximum SAR so obtained should be the value used for the estimation of exposure.
7. For pulses of duration  $t_p$ , the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as  $f = 1/(2t_p)$ . Additionally, for pulsed exposures in the frequency range 0.3 to 10 GHz and for localized exposure of the head, in order to limit or avoid auditory effects caused by thermoelastic expansion, an additional basic restriction is recommended. This is that the SA should not exceed  $10 \text{ mJ kg}^{-1}$  for workers and  $2 \text{ mJ kg}^{-1}$  for the general public, averaged over 10 g tissue.

Tabla A.6 – Valores de SAR para frecuencias entre 100kHz y 10GHz [ICNIRP 1998]

Exposure characteristics	Power density ( $\text{W m}^{-2}$ )
Occupational exposure	50
General public	10

<sup>a</sup> Note:

1. Power densities are to be averaged over any  $20 \text{ cm}^2$  of exposed area and any  $68/f^{1.05}$ -min period (where  $f$  is in GHz) to compensate for progressively shorter penetration depth as the frequency increases.
2. Spatial maximum power densities, averaged over  $1 \text{ cm}^2$ , should not exceed 20 times the values above.

Tabla A.7 – Valores de exposición para frecuencias entre 10 y 300GHz. [ICNIRP 1998]