

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA**

**RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CELULAR, REGULACIONES Y  
FUNDAMENTOS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA**

**ITALO GERARDO CID BADANI**

**PROFESOR GUÍA:  
ALVARO SILVA MADRID**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
PRISCILA LÓPEZ PAVEZ  
CRISTIÁN VÁSQUEZ DROUILLY**

**SANTIAGO DE CHILE  
2015**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA.  
POR: ITALO CID BADANI  
FECHA: NOVIEMBRE 2015  
PROF. GUÍA: Sr. ALVARO SILVA M.

## **RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CELULAR, REGULACIONES Y FUNDAMENTOS**

El objetivo general del presente trabajo es identificar, analizar y explicar los valores actualmente adoptados por la regulación chilena en relación a intensidades de campo electromagnético y otros parámetros relacionados, motivado principalmente por la preocupación que existe en parte importante de la población por los efectos que estos puedan provocar sobre la salud de los seres humanos.

Para esto se identifican, analizan y comparan, los elementos de mayor relevancia, como son los conceptos de campos electromagnéticos, radiación ionizante y no-ionizante, región de campo lejano, redes de comunicaciones móviles y sistemas radiantes. Se realiza una revisión bibliográfica del estado del arte sobre las normas internacionales relacionadas con los límites máximos de exposición humana a estos campos, así como los principales estudios biológicos disponibles y sus efectos en la salud. A continuación se analizan los valores límite sugeridos por la ICNIRP y la IEEE y su relación con la normativa vigente. Luego esta se compara con dos grupos que corresponden a los países miembros de la OCDE y Latino América, destacando a Chile como uno de los países más estrictos a nivel mundial. Para finalizar con las mediciones propuestas por el regulador SUBTEL y la experiencia de una Empresa Certificadora local de radiación emitida desde las antenas de los operadores celulares y se proponen diversas mejoras a este proceso.

A partir de las actividades descritas previamente se concluye que no existe un consenso global en lo que corresponde a daño que puedan provocar los campos electromagnéticos celulares en la salud, puesto que los estudios internacionales no han permitido esclarecer completamente sus efectos a largo plazo, debido en gran parte a que estas tecnologías siguen siendo relativamente jóvenes. También se puede agregar, en un ámbito distinto, que el actual protocolo de medición es mejorable, tanto para la toma de muestras, como para una mejor evaluación del espectro.

Finalmente, se presentan recomendaciones de trabajos a realizar en el futuro basados en los resultados de este proyecto.

*Finalmente,  
la última de mis ataduras con mi familia,  
ha terminado.*

# TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.1 MOTIVACIÓN .....	3
1.2 ALCANCE .....	4
1.3 OBJETIVOS .....	4
1.4 ESTRUCTURA DEL TRABAJO Y METODOLOGÍA .....	5
<b>CONTEXTUALIZACIÓN</b> .....	<b>7</b>
2.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	7
2.1.1 Clasificación de los Campos Electromagnéticos .....	8
2.1.2 Radiación Ionizante y No-Ionizante.....	10
2.1.3 Región de Campo Lejano y Campo Cercano .....	10
2.2 REDES DE COMUNICACIONES MÓVILES Y ANTENAS .....	14
2.2.1 Características de las Redes Móviles .....	15
2.2.2 Principales atributos de las Antenas de las Estaciones Base.....	16
2.3 ENTIDADES REGULATORIAS TÉCNICAS Y DE SALUD .....	20
2.3.1 Regulación Nacional en Telecomunicaciones .....	20
2.3.2 Normas y Recomendaciones Internacionales para los Niveles Máximos de Exposición a Campos Electromagnéticos .....	25
2.3.3 Estudios Biológicos y Efectos sobre la Salud.....	33
2.4 COMENTARIOS .....	39
<b>PROCESOS Y CRITERIOS DE ADOPCIÓN DE LA NORMA Y SUS VALORES</b> .....	<b>41</b>
3.1 PRESENTACIÓN DE LA NORMATIVA .....	41
3.1.1 Valores Límite por Radiación de Antena.....	42
3.1.2 De los Equipos Portátiles .....	44
3.2 DUDAS GENERADAS A PARTIR DE LA NORMATIVA .....	45
3.2.1 Dudas sobre Límites de Radiación de Antenas.....	45
3.2.2 ¿Cómo se interpreta la normativa en relación a los equipos portátiles?.....	47
3.3 COMENTARIOS .....	49

<b>NORMATIVAS COMPARADAS: CHILE Y OTROS PAÍSES .....</b>	<b>51</b>
4.1 ESTÁNDARES EN LOS PAÍSES DE LA OCDE .....	52
4.2 AMERICA LATINA .....	55
4.3 OBSERVACIONES .....	57
<b>MEDICIONES PROPUESTAS POR EL REGULADOR, LA EXPERIENCIA DE UNA EMPRESA CERTIFICADORA .....</b>	<b>58</b>
5.1 MEDICIÓN DE DENSIDAD DE POTENCIA .....	58
5.1.1 Preparativos para el trabajo en terreno .....	59
5.1.2 Experiencia Práctica .....	62
5.2 MEDICIÓN DE SAR.....	64
5.3 COMENTARIOS DE LA EXERIENCIA PRÁCTICA .....	70
<b>CONCLUSIONES Y COMENTARIOS .....</b>	<b>71</b>
TRABAJO FUTURO.....	72
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>77</b>
Tabla Comparativa “S” en países OCDE .....	77
Cómo reducir la exposición al SAR.....	80
Penetración de Comunicaciones Móviles .....	81
Fórmulas de Conversión.....	84
Instrumentación – Equipos.....	85
Empresas Certificadoras de Densidad de Potencia.....	88
Desarrollo de sumatoria para Múltiples Densidades de Potencia .....	90

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 MOTIVACIÓN**

La incidencia de la radiación electromagnética, proveniente de fuentes celulares fijas y móviles, se ha transformado en materia de constante preocupación en nuestra sociedad, por los efectos que puede tener sobre la salud de los seres humanos. La proliferación de radiobases celulares, motivadas por la creciente demanda de estos servicios así como el uso intensivo de estos por el hombre, ha llevado a la autoridad a intervenir y regular los niveles máximos de radiación admisibles. Esto a su vez ha generado crecientes movimientos de rechazo por parte de la población a la instalación de antenas en zonas urbanas, lo que afecta directamente la viabilidad de los proyectos y compromete en casos la calidad de servicio. Dar satisfacción a la ecuación que equilibra la calidad de servicio junto con asegurar un bajo nivel de emisiones electromagnéticas ha sido un problema mayor para el crecimiento de la red de telefonía móvil, demandando mayor inversión y aumento en los tiempos de despliegue de red.

El presente trabajo se aboca a estudiar este fenómeno, identificando los parámetros físicos concomitantes, su incidencia en el organismo humano y como estos son usados luego para establecer normas que minimicen su impacto en la salud. Se trata así de identificar el origen y justificación de la normativa local, la cual se compara y analiza en relación con los estándares internacionales a fin de conocer si esta es excesiva, adecuada o insuficiente, conclusiones que de ser consideradas podrían incidir en futuros proyectos.

## **1.2 ALCANCE**

Los alcances de este trabajo se centran en la investigación de los efectos que los campos electromagnéticos de alta frecuencia tienen sobre los seres humanos, enfocado principalmente en los campos emitidos por sistemas de antenas celulares cuyo rango de interés va desde los 800 MHz hasta los 2700 MHz. Se realiza una revisión de la normativa local, normativa internacional y recomendaciones internacionales sobre emisiones electromagnéticas para sistemas celulares.

## **1.3 OBJETIVOS**

El objetivo principal del presente trabajo es identificar, analizar y explicar los valores actualmente adoptados por la regulación chilena en relación a intensidades de campo electromagnético y similares, que pueden considerarse riesgosos para la salud humana. Para cumplir con el objetivo planteado se han de realizar las siguientes tareas.

- Estudiar reglamentación vigente, tanto nacional como internacional.
- Identificar principales parámetros de radiación electromagnética límites de las antenas y equipos celulares.
- Conocer sistemas y equipos de medición usados para certificar los índices de radiación electromagnética, tanto a nivel de antenas como de equipos celulares.
- Analizar de manera crítica el fundamento de cada uno de los valores límite establecidos y proponer eventuales mejoras.

## **1.4 ESTRUCTURA DEL TRABAJO Y METODOLOGÍA**

Este trabajo se desarrolla a lo largo de 6 capítulos, incluyendo la presente Introducción. Las materias abordadas en cada uno de ellos se presentan a continuación:

### ***CAPÍTULO 2 CONTEXTUALIZACIÓN***

Se identifican y describen las materias, conceptos y elementos que serán usados en la problemática a analizar, también permiten entender el contexto en el cual se enmarca el presente Trabajo de Título. Abarca conceptos de campos electromagnéticos y redes de comunicaciones móviles, el cual junto con incluir todo lo relacionado a la regulación nacional, incorpora las recomendaciones internacionales IEEE e ICNIRP, concluyendo con una revisión de estudios y efectos sobre la salud.

### ***CAPÍTULO 3 PROCESOS Y CRITERIOS DE ADOPCIÓN DE LA NORMA Y SUS VALORES***

Como parte del estudio de las recomendaciones internacionales, se rescatan los datos y tablas correspondientes con el fin de encontrar las bases de la actual regulación. También incluye una revisión de los métodos de medición utilizados en la actualidad, junto con una breve descripción de las empresas que se encargan de realizar las mediciones y certificación.

### ***CAPÍTULO 4 NORMATIVAS COMPARADAS: CHILE Y OTROS PAÍSES***

Se contrastan los índices de Densidad de Potencia y SAR (Specific Absorption Rate) definidos en la normativa chilena, con los países miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) y los países de América Latina, se incluye también un análisis en relación al índice de penetración móvil con el fin de comprender si existe o no directa relación entre este índice y las regulaciones de Chile y el mundo.

## ***CAPÍTULO 5 MEDICIONES PROPUESTAS POR EL REGULADOR, LA EXPERIENCIA DE UNA EMPRESA CERTIFICADORA***

Se describe el método contemplado en la normativa nacional, a continuación se complementa con la experiencia práctica de una Empresa Certificadora para luego finalizar con la presentación de una propuesta de medición del parámetro densidad de potencia. El capítulo también contiene la descripción de varios métodos de medición de SAR y se desarrolla con mayor profundidad la utilización de los llamados Modelos Fantasmas.

## ***CONCLUSIONES Y COMENTARIOS***

Se exponen las principales conclusiones que surgen del trabajo realizado. Se hace un análisis sobre el cumplimiento de los objetivos y resultados generales, para finalizar con una descripción de posibles trabajos futuros relacionados con el tema de las emisiones de ondas electromagnéticas.

## CAPÍTULO 2

### CONTEXTUALIZACIÓN

El objetivo del presente capítulo es dar una visión general de los temas básicos requeridos para la comprensión del resto del documento. En primer lugar se exponen los fundamentos básicos sobre campos electromagnéticos; luego se da una descripción general de las redes de comunicaciones móviles con énfasis en el área de acceso, en particular sobre las antenas ya que éstas son finalmente las fuentes de radiación. Cerrando el capítulo se presentan las principales normas, recomendaciones y estudios relacionados con los efectos a la salud producto de la exposición a campos electromagnéticos.

#### 2.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

El *electromagnetismo* es el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos causados por cargas eléctricas en reposo o en movimiento. La existencia de cargas eléctricas fue descubierta hace más de 2500 años por el astrónomo y filósofo griego *Tales de Mileto*, quien observó que una vara de ámbar, después de ser frotada con seda o lana, atraía paja y pequeños pedazos de tela. Atribuyó esta propiedad misteriosa a la vara de ámbar. La palabra para ámbar es *elektron*, de la cual se derivaron las palabras *electrón*, *electrónica*, *electricidad*, etc. (1)

Los conductores eléctricos energizados que transportan corriente (p.ej. las antenas o líneas de transmisión) son fuente de campos eléctricos cuando las cargas que almacena se encuentren detenidas, y fuente de campos magnéticos cuando las cargas se encuentran en movimiento. Se habla de campo electromagnético (CEM, o EMF<sup>1</sup>) cuando se está en presencia simultánea de ambos campos. A su vez los campos electromagnéticos variables en el tiempo transportan energía y son capaces de inducir campos eléctricos, corrientes y campos magnéticos sobre otros cuerpos y objetos de su entorno. Son caracterizados por dos parámetros: amplitud o intensidad y frecuencia o longitud de onda. Estas últimas se relacionan entre sí tal como se muestra a continuación.

---

<sup>1</sup> Electro Magnetic Field

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{siendo } c \text{ la velocidad de la luz ( } 3 \times 10^8 \text{ m/s )}$$

### 2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

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

- CEM de baja y extremadamente baja frecuencia, también llamada frecuencia industrial (desde 3 hasta 300 Hz): son producidos tanto por las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica, redes de telefonía, así como también por la mayoría de los electrodomésticos.
- CEM de frecuencia intermedia: son producidos por pantallas de computadoras, transmisores de radio AM, dispositivos antirrobo y sistemas de seguridad entre otros. Estos campos se encuentran en el rango que va desde los 300 Hz hasta los 10 MHz.
- CEM de alta frecuencia: son aquellos que parten en los 10 MHz llegando hasta los 300 GHz. Estos campos pueden ser generados por sistemas de radiodifusión, televisión, hornos de microondas, teléfonos celulares, enlaces de microondas, antenas de radares, etc.

Para visualizar y entender de mejor manera lo descrito anteriormente, se recurre al llamado espectro electromagnético, que corresponde a la representación gráfica de los distintos tipos de radiación de acuerdo a su frecuencia, tal como se muestran en las Figura 1 y Figura 2 siguientes.

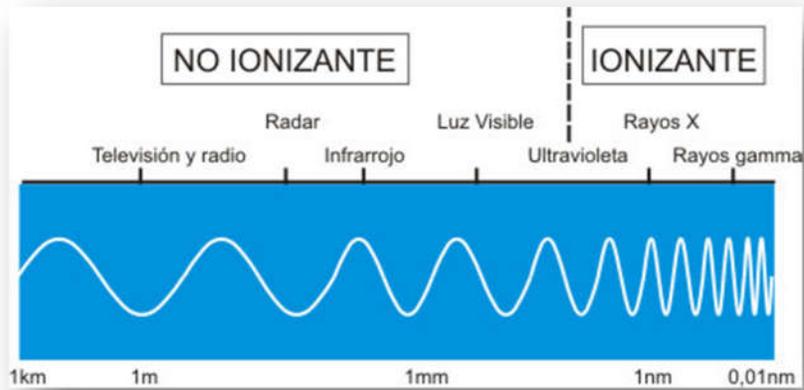


Figura 1: Espectro Electromagnético

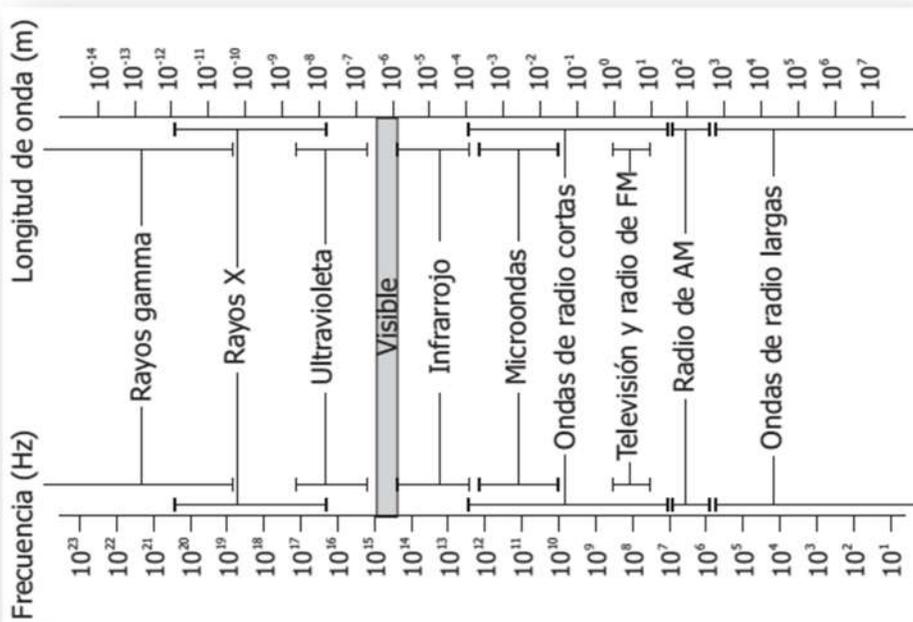


Figura 2: Esquema general del espectro electromagnético

## **2.1.2 RADIACIÓN IONIZANTE Y NO-IONIZANTE**

Según la energía que posean las ondas electromagnéticas y los efectos que estas producen en la materia, se pueden clasificar en los siguientes dos grupos:

### **Radiación No-Ionizante**

Comprenden la porción del espectro electromagnético cuya energía es insuficiente para romper las uniones atómicas, incluso a intensidades altas. Por lo tanto, no pueden ocasionar alteraciones, de manera directa, sobre las cadenas de ADN de las células. No obstante, estas radiaciones pueden ceder energía suficiente como para producir efectos térmicos (de calentamiento) tales como los inducidos por las microondas. También, las radiaciones no ionizantes intensas de frecuencias bajas pueden inducir corrientes eléctricas en los tejidos, pudiendo de esta manera afectar el funcionamiento de células sensibles a dichas corrientes, tales como las células musculares o las células nerviosas. En particular los campos electromagnéticos, a cualquier frecuencia, son radiaciones no ionizantes.

### **Radiación Ionizante**

Este tipo de radiación posee la energía suficiente para romper las uniones atómicas y por tanto modificar o romper las cadenas de ADN celulares. Entre éstas se encuentran la banda superior de las radiaciones Ultra-Violeta, los Rayos X y los Rayos Gamma.

## **2.1.3 REGIÓN DE CAMPO LEJANO Y CAMPO CERCANO**

Dependiendo de la distancia que se tenga con la antena el campo electromagnético cambia y puede ser modelado de diferente manera, así entonces se habla de Campo Lejano y Campo Cercano.

### 2.1.3.1 CAMPO LEJANO

A partir de una cierta distancia de la antena los campos eléctrico ( $E$ ) y magnético ( $H$ ) son ortogonales entre sí y a su vez también lo son con la dirección de propagación. De esta manera el campo electromagnético se puede modelar con una buena aproximación como una onda plana que se propaga en el aire. En ese caso la *densidad de potencia* ( $S$ ) transportada por el campo, es decir la potencia transportada por unidad de superficie normal a la dirección de propagación, está relacionada a los campos eléctricos y magnéticos por las siguientes expresiones:

$$S = E \times H$$

$$S = EH = E^2/377 = H^2 * 377$$

$$E = \eta_0 \cdot H$$

Donde  $\eta_0 = 377 \Omega$ <sup>2</sup>; [E] = Volt/metro; [H] = Ampere/metro

Como un criterio práctico aproximado, se establece el límite entre campo lejano y cercano mediante la siguiente relación:

→ Si  $d > 3\lambda$  → CAMPO LEJANO

→ Si  $d < 3\lambda$  → CAMPO CERCANO

Siendo “d” la distancia desde el punto de medida a la antena fuente, y “ $\lambda$ ” la longitud de onda del campo electromagnético.

Cuando se planifica una medición de campos electromagnéticos entorno a alguna antena, por ejemplo antenas de celulares, Radio o Televisión, es recomendable conocer la distancia mínima del campo lejano, pues tal como se explicó previamente, en esta región sólo es necesario medir una de las componentes para obtener la información completa. Para realizar el cálculo de la distancia mínima debemos recordar que  $\lambda = c/f$ , y sabiendo que  $d_{min} = 3\lambda \Rightarrow d_{min} = \frac{900 \cdot 10^6}{f}$  [m], con  $f$  en Hz; Se obtienen de esta manera el gráfico y la tabla de la página siguiente.

---

<sup>2</sup>  $\eta_0$ : impedancia característica ó intrínseca del vacío. Su valor exacto es  $119,9169832 \pi$ .

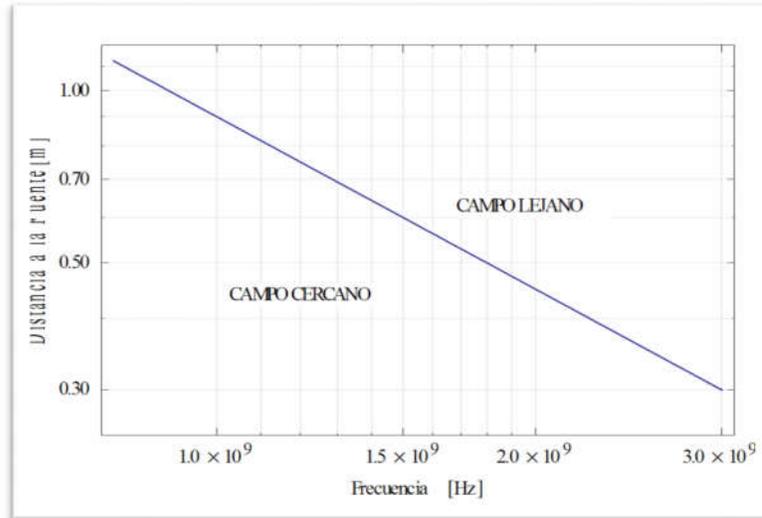


Figura 3: Distancia Campo Lejano

Frecuencia		Distancia Mínima para Campo Lejano	
50	[Hz]	18.000	[Km]
1	[KHz]	900	[Km]
32	[KHz]	28,125	[Km]
100	[KHz]	9	[Km]
1	[MHz]	900	[m]
27,12	[MHz]	33,2	[m]
100	[MHz]	9	[m]
150	[MHz]	6	[m]
800	[MHz]	1,125	[m]
900	[MHz]	1	[m]
1	[GHz]	90	[cm]
2	[GHz]	45	[cm]
2,7	[GHz]	33,3	[cm]
3	[GHz]	30	[cm]

Tabla 1: Distancia mínima para Campo Lejano

En el caso particular de las bandas de frecuencia utilizadas en nuestro país, se muestra en la Tabla 2 la distancia mínima de campo lejano para cada una de estas.

Tecnología	Nombre/Número	Banda (MHZ)	Distancia mínima de campo lejano [cm]	Frecuencia (MHz)	
				Uplink	Downlink
2G	GSM-850	850	106	824 – 849	869 – 894
	PCS-1900	1900	47	1850 – 1910	1930 – 1990
3G	B2 - PCS A-F	1900	47	1850 – 1910	1930 – 1990
	B4 - CLR	850	106	824 – 849	869 – 894
	B5 - AWS A-F	1700	53	1710 – 1755	2110 – 2155
4G	B7	2600	35	2500 - 2570	2620 – 2690

**Tabla 2: Bandas de Frecuencia utilizadas en Chile, y respectiva distancia mínima de campo lejano.**

Como es de esperar, para las frecuencias de operación más altas la distancia mínima para campo lejano disminuye, en particular, para la banda 7 (2600 MHz) asignada a servicios 4G es de tan solo 35 centímetros, casi un tercio en comparación a los 106 centímetros para las bandas 2G y 3G que operan a 850 MHz. Es por esto que basta con estar a más de 106 cms de distancia de una antena celular para considerarse en campo lejano.

### **2.1.3.2 CAMPO CERCANO**

La situación en el Campo Cercano es más complicada en comparación al Campo Lejano, pues los máximos y mínimos de los campos E y H no ocurren en los mismos puntos a lo largo de la dirección de propagación. En la región de Campo Cercano, la estructura del campo electromagnético puede ser altamente no homogénea y habrá variaciones substanciales en la impedancia de onda plana, es decir podría haber campos eléctricos puros en algunas regiones y campos magnéticos puros en otras. Las exposiciones en el Campo Cercano son más difíciles de especificar pues el campo eléctrico y el campo magnético se deben medir por separado, y también debido a que los patrones de los campos son mucho más complejos; en esta situación la densidad de potencia ya no es una cantidad apropiada para expresar las restricciones a la exposición, tal como sí lo es en el campo lejano. Esto ocurre ya sea en la cercanía de líneas de alta tensión como en las proximidades de las antenas, siendo esta última situación en donde se encuentran las personas respecto de los teléfonos móviles, equipos celulares; antenas de radio AM, etc.

## 2.2 REDES DE COMUNICACIONES MÓVILES Y ANTENAS

Los primeros sistemas de comunicaciones móviles aparecen a principio de los años 80, estos eran analógicos y operaban en las bandas de frecuencias de 450, 800 y 900 MHz. Luego en los años 90 aparecen los sistemas digitales, operando en bandas de frecuencias más altas (1800, 1900 MHz), empleando para ello diferentes técnicas de modulación. Recientemente han surgido los sistemas de cuarta generación, las que a nivel nacional operan en las bandas de 700 MHz y 2,6 GHz.

Estas redes hacen uso de antenas de radiofrecuencia, mediante las cuales los campos electromagnéticos establecen la comunicación entre el equipo de usuario (teléfono celular) y la estación radio base (Figura 4), permitiendo el acceso del cliente a los distintos servicios de la red como por ejemplo las llamadas de voz y transmisión de datos.

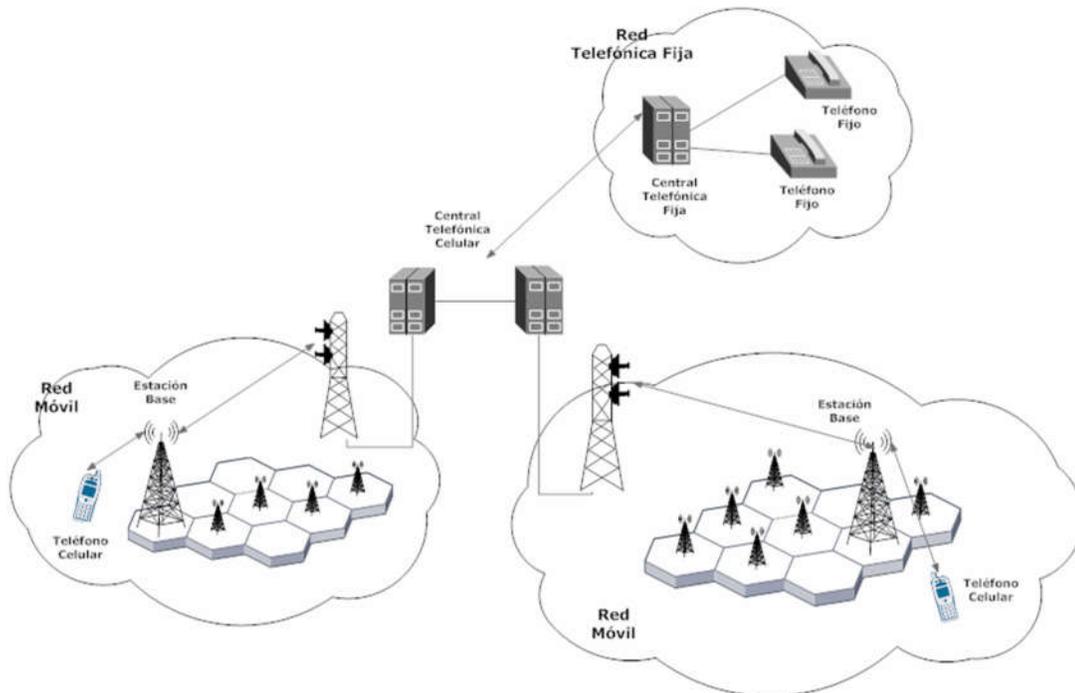


Figura 4: Esquema Básico de un Sistema de Telecomunicaciones Móviles Celular

## 2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES MÓVILES

Entre sus principales características se encuentran:

- Estaciones base, corresponden a instalaciones fijas que se interconectan mediante sus antenas con los teléfonos móviles a través de ondas electromagnéticas de radiofrecuencia.
- Operan bajo la forma de una red de celdas, las que por lo general se dividen en sectores, así en lugar de utilizar una antena omnidireccional, se utilizan antenas direccionales que son capaces de cubrir sectores de 60, 120 o 180 grados. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de sectorización en el cual las celdas A, B y C se dividen cada una en 3 sectores.
- Las antenas utilizadas en las redes móviles pueden ser montadas sobre torres, postes o instaladas de forma distribuida en las zonas superiores de los edificio, con el objetivo de tener una cobertura más amplia.
- Para que un cliente acceda a los servicios de la red (dejando a un lado el caso de conexión fallida), el equipo de usuario se conecta a la estación base (capa de acceso), luego utilizando la capa de distribución accede hasta el core (central telefónica celular) de la red (Figura 4). Siendo el core el que se conecta a las distintas redes PSTN, ISDN, Internet y redes de otros operadores, accediendo de esta manera al servicio requerido, como por ejemplo una llamada de voz a un teléfono de red fija, transmisión de datos a un abonado de otro operador móvil, etc.

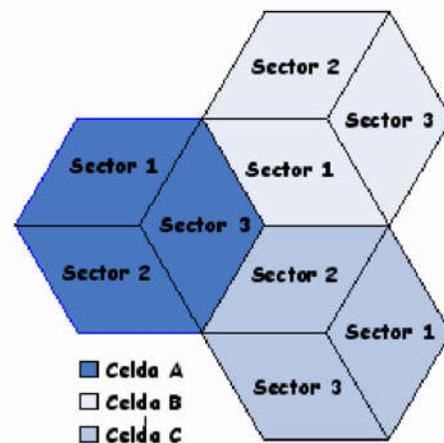


Figura 5: Celdas Sectorizadas

La sectorización permite una mayor cantidad de canales por celda, lo que se traduce en una mayor capacidad de tráfico; reduce la interferencia de canal adyacente así como la de co-canal. Por otra parte, en las ciudades la sectorización previene las reflexiones multi-trayecto, pues mientras más angosta sea la amplitud del rango de cobertura, menores son las posibilidades de experimentar este tipo de reflexión. La configuración sectorizada de las estaciones base hace posible también reducir la potencia utilizada en los transmisores permitiendo un ahorro potencial de 6 dB, pues la ganancia promedio de una antena sectorizada es de 17 dBi en comparación con los 11 dBi de ganancia para una antena omnidireccional.

## **2.2.2 PRINCIPALES ATRIBUTOS DE LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE**

Las antenas de radiofrecuencia son los elementos que permiten la comunicación entre el equipo de usuario y la estación base. A continuación destacamos los siguientes atributos: ganancia y amplitud de radiación.

### **2.2.2.1 GANANCIA**

La ganancia de una antena se define como la relación entre la potencia transmitida en la dirección de máxima radiación y la potencia emitida en el mismo punto por una antena de referencia, la que puede ser una antena isotrópica (*dBi*) o un dipolo de  $\frac{1}{2} \lambda$  (*dBd*)<sup>3</sup>. Por ejemplo, si se tiene una antena (A) y se considera sin pérdidas, la ganancia en dB's de la antena A se expresa mediante:

$$A_{P(dB)} = 10 \log (P/P_{ref}) [dB]$$

En la Figura 6 se puede apreciar el lóbulo de una antena isotrópica comparado con el lóbulo de una antena dipolo de  $\frac{1}{2} \lambda$ . (2)

---

<sup>3</sup> los índices de referencia cumplen la ecuación  $dBi = dBd + 2.15 dB$

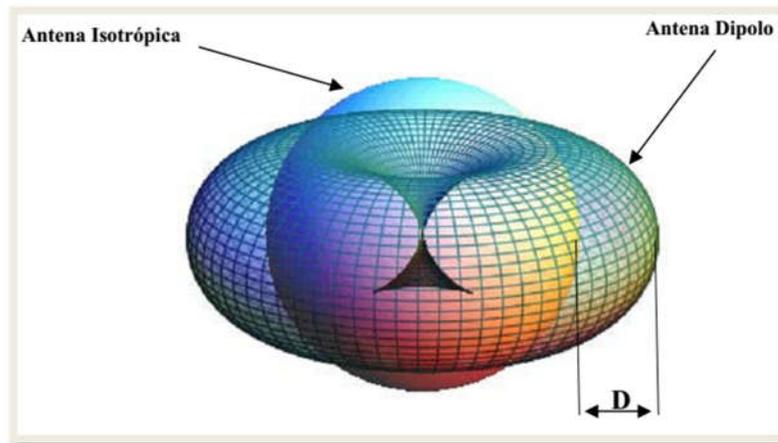


Figura 6 : Diagrama de radiación; antena isotrópica v/s antena dipolo de  $\frac{1}{2} \lambda$

El efecto de ganancia presentado de manera más práctica corresponde a una concentración del haz en una determinada dirección en desmedro de otras, hacia las cuales no se desea irradiar señal. Un diagrama o lóbulo de radiación es un gráfico que muestra la intensidad del campo radiado o densidad de potencia radiada, a una distancia fija en función de la dirección desde el sistema de antena. Los planos principales de la gráfica determinan la dirección de la máxima potencia radiada. Se puede observar un lóbulo principal en la dirección deseada, lóbulos laterales y opuesto que son no deseados (pérdida de potencia). La ganancia que presenta una antena está directamente relacionada con la directividad de la misma, la Figura 7 permite apreciar cómo la antena distribuye su energía privilegiando una determinada dirección.

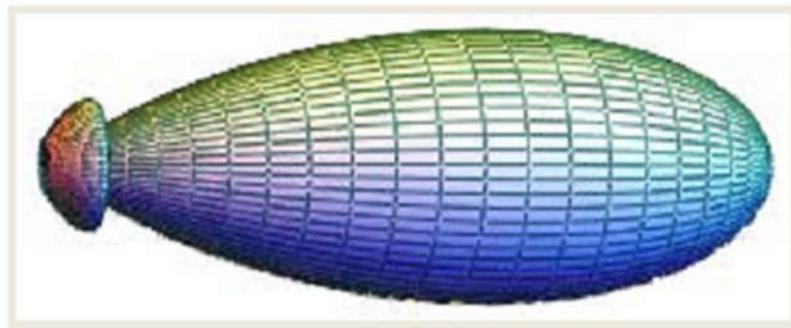


Figura 7: Diagrama de radiación para antena directiva

### 2.2.2.2 AMPLITUD DE HAZ

La amplitud de haz es un parámetro de radiación, ligado al diagrama de radiación. Este se puede definir como el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la potencia máxima en la dirección principal de radiación (Figura 8 - Half Power Beamwidth). También se puede definir el ancho de haz entre ceros (Figura 8 - Null to Null Beamwidth), que es el intervalo angular del haz principal del diagrama de radiación entre los dos ceros adyacentes al máximo.

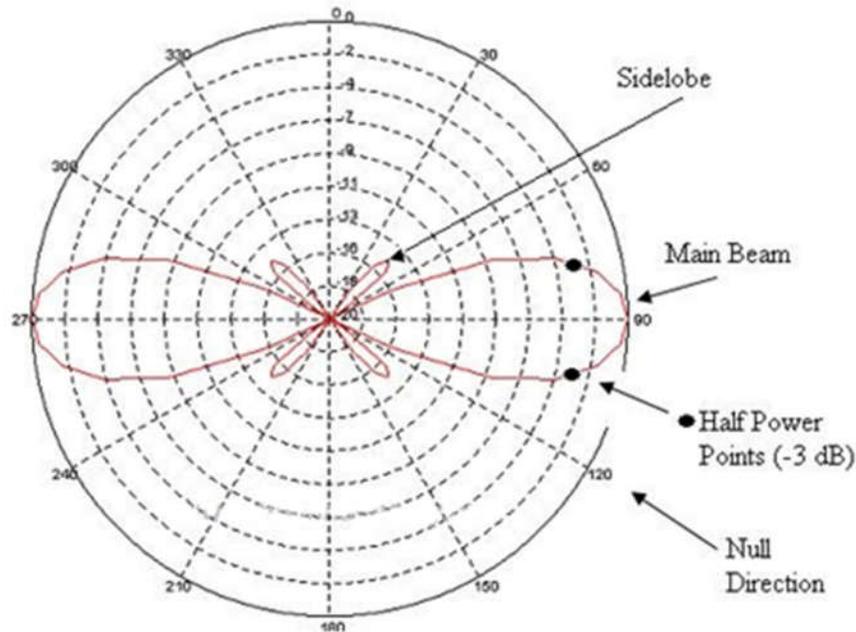


Figura 8: Diagrama de Radiación Polar

El **haz o lóbulo principal** es la región alrededor de la dirección de máxima radiación (usualmente corresponde a la región que está a menos de 3 dB del máximo del haz principal). En la Figura 8 el haz principal está centrado a 90°.

Los **lóbulos laterales** son haces que se encuentran fuera del lóbulo principal. Estos lóbulos por lo general corresponden a radiación emitida en direcciones no deseadas, las que no pueden ser eliminadas completamente. Estos lóbulos en la Figura 8 aparecen en 45 y 135 grados.

Según lo anterior, las antenas pueden ser clasificadas en dos tipos:

- **Omnidireccionales:** Estas antenas se caracterizan por tener un lóbulo de radiación que cubre  $360^\circ$  en el plano horizontal (Figura 9) y normalmente se utilizan en zonas rurales o en la etapa inicial de expansión de la estación base. La ganancia de estas antenas puede variar según su construcción, pudiendo llegar a valores del orden de 10 a 12 dBi.

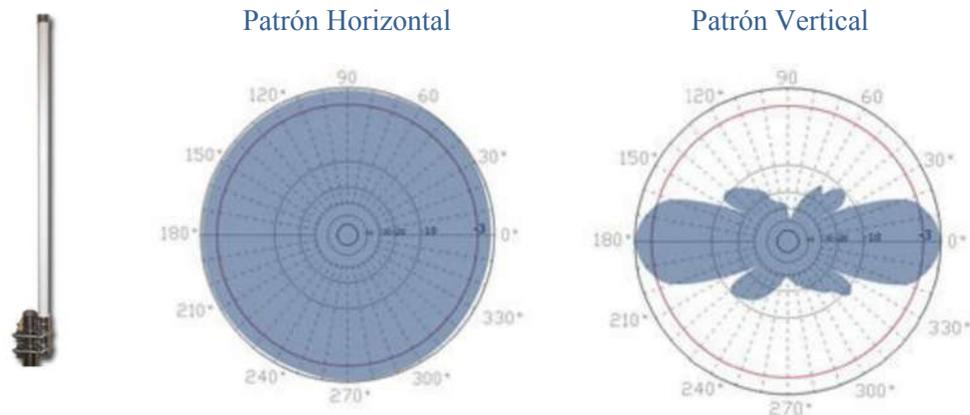


Figura 9: Antena omnidireccional y sus patrones de radiación

- **Direccionales:** El lóbulo de radiación de estas antenas es directivo (Figura 10), por lo general cubren ángulos de  $60^\circ$  y  $120^\circ$  y sirven para ampliar la cobertura de abonados asociados a la estación base, pudiendo obtenerse ganancias elevadas y llegar a valores del orden de los 30 o 35 dBi.

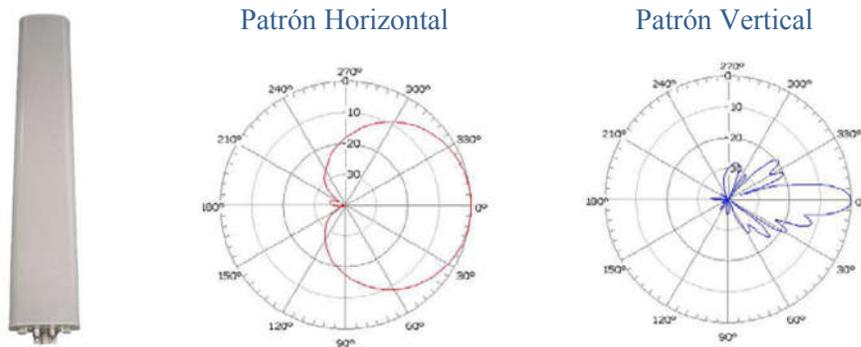


Figura 10: Antena direccional y sus patrones de radiación

## 2.3 ENTIDADES REGULATORIAS TÉCNICAS Y DE SALUD

Parte central del presente trabajo, es analizar las exigencias de las instituciones regulatorias nacionales para con la radiación electromagnética de radiofrecuencia generada por las antenas celulares, investigar sus bases y compararlas con aquellas de países referenciales como los de la OCDE. A continuación se revisa la misión y quehacer de cada una de estas a nivel local e internacional.

### 2.3.1 REGULACIÓN NACIONAL EN TELECOMUNICACIONES

#### 2.3.1.1 Subsecretaría de Telecomunicaciones (SUBTEL)

SUBTEL es un organismo dependiente del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, cuyo trabajo está orientado a coordinar, promover, fomentar y desarrollar las telecomunicaciones en Chile, transformando a este sector en motor para el desarrollo económico y social del país.

Tiene como principales funciones proponer las políticas nacionales en materias de telecomunicaciones, de acuerdo a las directrices del Gobierno, ejercer la dirección y control de su puesta en práctica, supervisar a las empresas públicas y privadas del sector en el país, controlando el cumplimiento de las leyes, reglamentos y normas pertinentes. (3)

En lo que respecta a la regulación de emisiones de radiación electromagnética se tiene como punto de partida la medida precautoria de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (4), la cual recomienda a los países establecer normas que fijen límites de densidad de potencia emitidas por las antenas con objeto de no exponer innecesariamente a las personas. En Chile se aplica estrictamente este principio precautorio, es por esto que el límite de *densidad de potencia* es de  $100 \mu W/cm^2$  para las antenas instaladas en zonas urbanas, correspondientes a las estaciones base del servicio público de telefonía móvil, transmisión de datos y servicios públicos del mismo tipo que operen en la banda de 700 - 2.600 MHz, Adicionalmente, en el caso de cercanía con establecimientos hospitalarios, asilos de ancianos, salas cuna, jardines infantiles y establecimientos educacionales de enseñanza básica, la densidad de potencia no deberá exceder los  $10 \mu W/cm^2$ . Estos límites son en promedio 10 veces más exigentes que lo recomendado por la OMS. (5)



El uso habitual de los equipos portátiles, a diferencia de las antenas de las estaciones base, se encuentran en la región de campo cercano, es por esto que la densidad de potencia deja de ser una medida adecuada para expresar las restricciones de exposición. En esta situación el parámetro adecuado es la Tasa de Absorción Específica - SAR (Specific Absorption Rate) cuyos valores límite son:

1,6 W/kg	sobre 1 gramo de tejido
2,0 W/kg	sobre 10 gramos contiguos de tejido

Tabla 3: Valores Límite para Equipos Portátiles

### 2.3.1.2 Ministerio del Medio Ambiente (MMA)

El Ministerio del Medio Ambiente de Chile, está encargado del diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa.

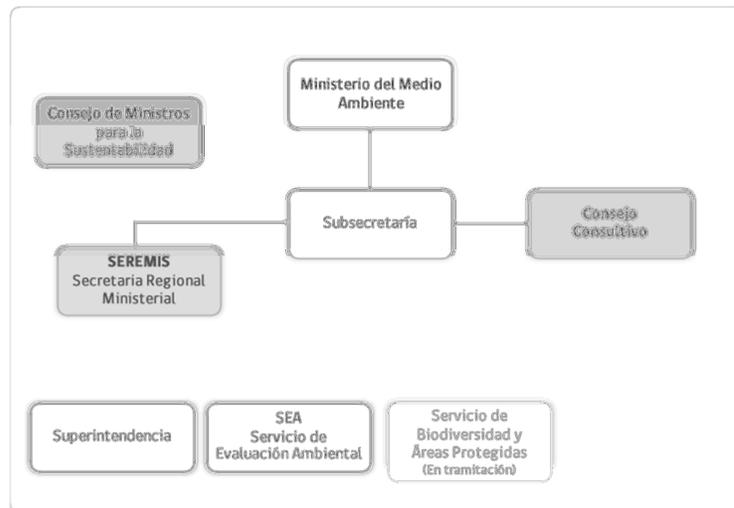


Figura 11: Institucionalidad Ambiental

Creado a través de la promulgación de la Ley 20.417, que reformó la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, el Ministerio tiene a su cargo el desarrollo y aplicación de variados instrumentos de gestión ambiental en materia normativa, protección de los recursos naturales, educación ambiental y control de la contaminación, entre otras materias.

### **Proceso de Dictación de Normas Ambientales**

Una de las funciones del Ministerio del Medio Ambiente es la creación de las normas ambientales. Para ello existe un proceso que contempla las siguientes fases: elaboración de anteproyecto de norma, consulta pública del anteproyecto, elaboración de proyecto definitivo, toma de razón de Contraloría General de la República, y finalmente la publicación del Decreto Supremo. (6)

El **Reglamento de Dictación de Normas de Calidad y de Emisión**, establece las siguientes etapas para la elaboración de las normas ambientales, proceso que se inicia con la publicación de la Resolución de Inicio en el Diario Oficial y en un periódico de circulación nacional (28 de Diciembre de 2012).

Etapa de Elaboración de Anteproyecto de norma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se forma un Expediente Público del proceso</li> <li>▪ Se fija plazo para la recepción de antecedentes</li> <li>▪ Se conforma el Comité Operativo y Ampliado</li> <li>▪ Se elabora el estudio “Análisis General de Impacto Económico y Social”</li> <li>▪ Se elabora el Anteproyecto</li> <li>▪ Publicación de Extracto de Anteproyecto en Diario Oficial y periódico de circulación nacional</li> </ul>
Etapa de Consulta Pública del Anteproyecto de Norma	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recepción de observaciones ciudadanas</li> <li>▪ Opinión Consejo Consultivo del Medio Ambiente</li> </ul>
Etapa de Elaboración de Proyecto Definitivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Análisis de observaciones ciudadanas</li> <li>▪ Elaboración Proyecto Definitivo</li> <li>▪ Consideración de Consejo de Ministros por la Sustentabilidad</li> </ul>
Etapa de Trámite y Toma de Razón en Contraloría	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaboración Decreto Supremo respectivo</li> <li>▪ Firmas de Ministros y Presidente de la República</li> <li>▪ Toma de Razón de Contraloría</li> </ul>
Publicación de Decreto Supremo en Diario Oficial	

## Norma Ambiental

La Constitución Política del Estado establece

- El derecho de todos los chilenos de vivir en un ambiente libre de contaminación
- El derecho de promover iniciativas de desarrollo económico en la medida que no pongan en peligro el bien común.

Una norma ambiental es un acuerdo social que establece el nivel de contaminación que considera aceptable para la protección de la población o el medio ambiente. Existen dos tipos de normas ambientales, que se citan a continuación.

### Normas de Emisión

- Establece la cantidad máxima permitida para un contaminante, medida en el *efluente* de la fuente emisora.
- Puede ser de aplicación local, regional o nacional.
- Puede tener distintos objetivos de protección.
- Puede ser usada como instrumento de prevención de la contaminación o de sus efectos, o como instrumento de gestión inserta en un plan de descontaminación o prevención.

### Norma de Calidad Ambiental

Establece los niveles máximos permisibles de contaminantes en los medios, de manera de proteger:

- Primaria: Protege la salud de la población
- Secundaria: Protege los recursos naturales y patrimonio ambiental

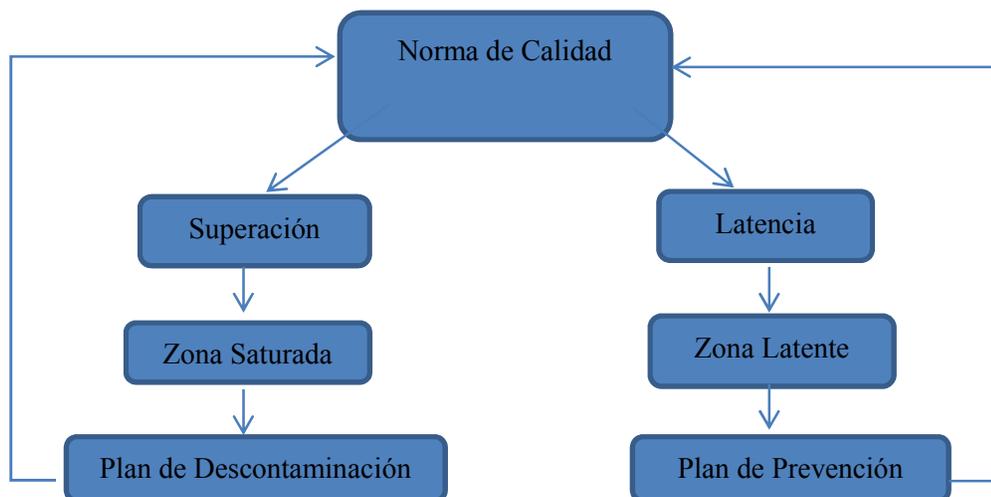
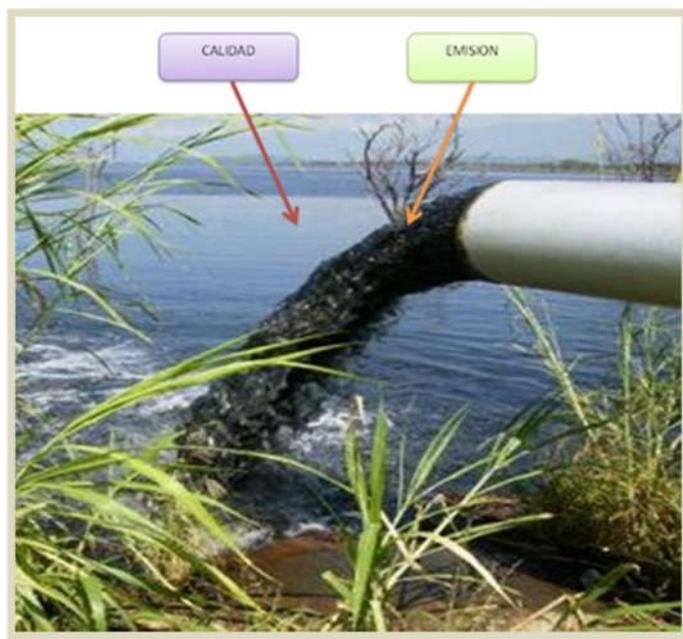


Figura 12: Esquema de Norma de Calidad Ambiental



**Figura 13: Calidad vs Emisión**

El ejemplo del lago (Figura 13) sirve perfectamente para explicar la diferencia entre las normas de emisión y de calidad ambiental. Una norma de emisión es la que se encarga de medir una fuente en particular, identificable; en este caso la cañería de desagüe resulta ser esa fuente. En cambio la norma de calidad ambiental mide el efecto de manera global en el medio ambiente, representado por el lago.

Al Ministerio del Medio Ambiente se le asigna la facultad de dictar las normas de calidad ambiental o de emisión relacionadas con las ondas electromagnéticas de los servicios de telecomunicaciones (7), de acuerdo a lo establecido en el proceso de dictación de normas, junto con la dictación de la Resolución que da inicio a dicho a un proceso de elaboración de una normativa, se crea un Expediente Público (8) que da cuenta de los actos administrativos y reúne los antecedentes que dan origen a la normativa, y del cual se rescata y resuelve lo siguiente:

*Resolución Exenta N°1021:*

- 1°. Iníciase la elaboración de la Norma de Emisión de ondas electromagnéticas.
- 2°. Fórmese un expediente para la tramitación del proceso de elaboración de la referida norma.

*Resolución Exenta N°626:*

El día 23 de Julio de 2013, se resuelve ampliar hasta el día 2 de Agosto de 2014 el plazo para la elaboración del anteproyecto de elaboración de la norma de emisión de ondas electromagnéticas asociadas a equipos y redes para la transmisión de servicios de telecomunicación.

*Resolución Exenta N°674:*

El día 22 de Julio de 2014, se resuelve ampliar hasta el día 2 de Agosto de 2016, el plazo para la elaboración del anteproyecto de elaboración de la norma de emisión de ondas electromagnéticas asociadas a equipos y redes para la transmisión de servicios de telecomunicación.

En el Expediente Público (8) no se entrega ninguna justificación respecto de las extensiones en los plazos para la elaboración de la norma de emisión de ondas electromagnéticas.

### **2.3.2 NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES PARA LOS NIVELES MÁXIMOS DE EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**

Las principales organizaciones internacionales que entregan directrices sobre la exposición de las personas a la radiación de campos electromagnéticos son la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), a través de su norma “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz”, y la ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), con el documento “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300GHz)”.

A continuación se describen los aspectos más relevantes de ambos documentos.

### 2.3.2.1 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

IEEE, con cerca de 426.000 miembros y voluntarios en 160 países<sup>4</sup>, es la mayor asociación mundial de técnicos e ingenieros dedicada a la estandarización y desarrollo en el área de las nuevas tecnologías. En su documento C95.1 (9) la IEEE entrega recomendaciones con el objetivo de proteger contra los efectos dañinos a la salud derivados de la exposición a campos electromagnéticos en el rango de frecuencias de 3 kHz a 300 GHz. Estas recomendaciones se expresan en términos de Restricciones Básicas (Basic Restrictions – BRs) y Exposición Máxima Permisible (Maximum Permissible exposure – MPE).

Restricciones Básicas: Estas restricciones de exposición están pensadas para prevenir los efectos adversos a la salud incorporando factores de seguridad adecuados. Se expresan en términos de campo eléctrico (3 kHz a 5 MHz), SAR (100 kHz a 3 GHz) o densidad de potencia (3 GHz to 300 GHz).

Tabla 4: Restricciones Básicas para frecuencias entre 100 kHz y 3 GHz

		Nivel de acción SAR (W/kg)	Personas en ambientes controlados SAR (W/kg)
Exposición de cuerpo completo	Promedio de cuerpo completo (WBA)	0,08	0,4
Exposición localizada	Localizado (máximo promedio espacial)	2	10
Exposición localizada	Extremidades y orejas	4	20

En la Tabla 4 se identifican dos tipos de exposiciones.

*Exposición de cuerpo completo*, las restricciones se basan en los efectos adversos a la salud asociados con el *calentamiento del cuerpo* durante la exposición de este a las ondas electromagnéticas. Ya que el objetivo primordial es proteger la salud de la población, se ha incorporado un factor de seguridad de valor 10, obteniéndose de esta manera un SAR de 0,4 W/kg promediado sobre todo el cuerpo, válido para

---

<sup>4</sup> [http://www.ieee.org/about/today/at\\_a\\_glance.html#sect1](http://www.ieee.org/about/today/at_a_glance.html#sect1), revisado al 07-09-15.

exposiciones en ambientes controlados, tal información se aprecia en la última columna de la tabla anterior.

*Exposición localizada*, está establecida para proteger contra el excesivo aumento de temperatura en cualquier parte del cuerpo, lo que puede ser provocado por la exposición localizada o no uniforme.

Exposición Máxima Permisible (MPE): Se define como el valor máximo (Tabla 5) ante el cual una persona puede estar expuesta sin encontrarse en riesgo de sufrir efectos dañinos a la salud, manteniendo un margen aceptable de seguridad. Los MPE's se derivan o estiman a partir de las restricciones básicas. En ocasiones los MPEs son conocidos como niveles de referencia.

**Tabla 5: MPE para personas en ambientes controlados (Ocupacional)**

Rango de Frecuencia (MHz)	RMS intensidad de campo eléctrico (E) (V/m)	RMS intensidad de campo magnético (H) (A/m)	Densidad de Potencia (S) [RMS] E-field, H-field (W/m <sup>2</sup> )	Tiempo promedio  E  <sup>2</sup> ,  H  <sup>2</sup> or S (min)
0.1 – 1	1842	16.3/ $f_M$	(9000, 100 000/ $f_M^2$ )	6
1 – 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/ $f_G^{0.476}$

Nota:  $f_M$  es la frecuencia en MHz y  $f_G$  es la frecuencia en GHz

**Tabla 6: MPE para público en general**

Rango de Frecuencia (MHz)	RMS intensidad de campo eléctrico (E) (V/m)	RMS intensidad de campo magnético (H) (A/m)	Densidad de Potencia (S) [RMS] E-field, H-field (W/m <sup>2</sup> )	Tiempo Promedio  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>3.3362</sup> )	30	0.0636f <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	-	-	(90f <sub>G</sub> – 7000)/200	5048/[(9f <sub>G</sub> – 700)f <sub>G</sub> <sup>0.476</sup> ]	

En las Tabla 5 y Tabla 6 se destacan los valores MPE asociados a las frecuencias de interés de nuestro trabajo, en estas se observa un único MPE de referencia y corresponde a la densidad de potencia, sin embargo, cada componente de campo puede ser utilizado siempre y cuando sea expresado como su densidad de potencia equivalente y así respetar el cumplimiento de los valores MPE. Para los ambientes controlados la densidad de potencia puede tomar valores desde los 10 hasta los 100 W/m<sup>2</sup>, en cambio para el público general estos valores oscilan entre los 2 y los 10 W/m<sup>2</sup>, lo que equivale a un factor de protección de entre 5 a 10 veces aproximadamente.

	Frecuencia [MHz]	Densidad de Potencia (S) [W/m <sup>2</sup> ]
<b>Ambiente Controlado (Ocupacional)</b>	300 – 3000	[10 , 100]
<b>Publico General</b>	400 – 2000	[2 , 10]
	2000 – 5000	10

### **2.3.2.2 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)**

La ICNIRP (*Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante*) es una comisión científica y de carácter independiente creada por la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA) para fomentar la protección ante los efectos de la radiación no ionizante (RNI). Proporciona orientación científica, elabora directrices y propone límites de exposición ante la radiación no ionizante<sup>5</sup>.

El objetivo principal del documento (10) es establecer recomendaciones para limitar la exposición a los CEM con el objetivo de proveer protección contra los efectos dañinos para la salud. Estas recomendaciones se expresan en términos de *Restricciones Básicas* y *Niveles de Referencia*.

**Restricciones Básicas:** "Restricciones a la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, que están basadas directamente en los efectos en la salud establecidos por estudios sobre el tema. Dependiendo de la frecuencia del campo, las cantidades físicas usadas para especificar estas restricciones son la Densidad de Corriente (J), la Tasa de Absorción Específica de Energía (SAR), y la Densidad de Potencia (S). Sólo la densidad de potencia en el aire, fuera del cuerpo, puede ser medida fácilmente".

**Niveles de Referencia:** "Estos niveles son proporcionados con el propósito de evaluar en forma práctica las exposiciones, para determinar si es probable que las restricciones básicas sean excedidas. Algunos niveles de referencia son derivados de restricciones básicas relevantes usando técnicas de medición y/o computacionales, y algunas están basadas en percepciones y efectos indirectos adversos por la exposición a los campos electromagnéticos. Las cantidades derivadas son la intensidad de Campo Eléctrico (E), Intensidad de Campo Magnético (H), Densidad de Flujo Magnético (B), Densidad de Potencia (S) y las corrientes que fluyen a través de las extremidades (IL). Las cantidades que están dirigidas a la percepción y otros efectos indirectos son las corrientes de contacto (IC) y, para campos pulsantes, la absorción de Energía Específica (SA). En cualquier situación de exposición particular, los valores medidos o calculados de cualquiera de estas cantidades pueden ser comparados con el nivel de referencia apropiado. Respetar los niveles de referencia asegurará que se respeten las restricciones básicas relevantes. Sin embargo, en caso que los valores medidos o calculados excedan estos niveles, no implica

---

<sup>5</sup> <http://www.who.int/peh-emf/project/intorg/es/>

necesariamente que las restricciones básicas sean excedidas. Por el contrario, siempre que un nivel de referencia sea excedido, es necesario evaluar el cumplimiento de la restricción básica relevante y determinar si corresponde o no tomar medidas adicionales de protección".

*Tabla 7: Restricciones básicas de exposición a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz*

Características de la exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente (J) para cabeza y tronco [ $\text{mA}/\text{m}^2$ ](rms)	SAR promedio en todo el cuerpo [ $\text{W}/\text{kg}$ ]	SAR localizado cabeza y tronco [ $\text{W}/\text{kg}$ ]	SAR localizado (extremidades) [ $\text{W}/\text{kg}$ ]
Exposición Ocupacional	Hasta 1 Hz	40	-	-	-
	1 – 4 Hz	$40/f^6$	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-
	1 – 100 kHz	$f/100$	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	$f/100$	0,4	10	20
	10 MHz – 10 GHz	--	0,4	10	20
Exposición al público en general	Hasta 1 Hz	8	-	-	-
	1 – 4 Hz	$8/f$	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
	1 – 100 kHz	$f/500$	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	$f/500$	0,08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	--	0,08	2	4

En la Tabla 7 las restricciones para la exposición a campos eléctricos y magnéticos se presentan en dos grupos distintos de exposición que son la exposición ocupacional y la exposición al público en general. Entre 100 kHz y 10 GHz, dichas restricciones son proveídas sólo en términos del SAR, índice que se utiliza para prevenir el estrés térmico de todo el cuerpo y un calentamiento localizado excesivo en los tejidos.

---

<sup>6</sup>  $f$  es frecuencia en Hz

A continuación las Tabla 8 y Tabla 9 muestran los niveles de referencia propuestos. Es necesario mencionar que estos valores se obtienen a partir de las restricciones básicas mediante el uso de modelos matemáticos y extrapolación de resultados de las investigaciones de laboratorio a frecuencias específicas.

*Tabla 8: Niveles de Referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos*

Característica de la Exposición	Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico [V/m]	Intensidad de Campo Magnético [A/m]	Densidad de Flujo Magnético [ $\mu T$ ]	Densidad de Potencia [ $W/m^2$ ]
Exposición Ocupacional	Hasta 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	-
	1 – 8 Hz	20.000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
	8 – 25 Hz	20.000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-
	0,025 – 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
	0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	-
	0,065 – 1MHz	610	$1,6 / f$	$2 / f$	-
	1 – 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2 / f$	-
	10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
	400 – 2000 MHz	$3 f^{0,5}$	$0,008 f^{0,5}$	$0,01 f^{0,5}$	$f/40$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50	

*Tabla 9: Niveles de Referencia para exposición de público en general a campos eléctricos y magnéticos*

Característica de la Exposición	Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico [V/m]	Intensidad de Campo Magnético [A/m]	Densidad de Flujo Magnético [ $\mu T$ ]	Densidad de Potencia [ $W/m^2$ ]
Exposición al Público en General	Hasta 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	-
	1 – 8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
	8 – 25 Hz	10.000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
	0,025 – 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
	0,8 – 3 kHz	$250 / f$	5	6,25	-
	3 – 150 kHz	87	5	6,25	-
	0,15 – 1MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
	1 – 10 MHz	$87 / f^{0,5}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
	10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
	400 – 2000 MHz	$1,375 f^{0,5}$	$0,0037 f^{0,5}$	$0,0046 f^{0,5}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10	

### 2.3.2.3 Comentarios

Ya que ambas instituciones presentan recomendaciones para los mismos indicadores, es natural querer comparar tal información.

	S	SAR
Publico General	✓	✓
Ocupacional	✗	✓

Tabla 10: Coincidencias entre Recomendaciones ICNIRP e IEEE

La Tabla 10 nos muestra las coincidencias de ambas recomendaciones en los escenarios Ocupacional y Público en General. Se aprecia la coincidencia de los límites de SAR en ambos escenarios y de S para Público General, en cambio para S en ambiente ocupacional los niveles propuestos por ICNIRP son más estrictos que los propuestos por IEEE, lo que se observa claramente en la Tabla 11 y Figura 14.

	Frecuencia [MHz]	IEEE [ $W/m^2$ ]	ICRNIRP [ $W/m^2$ ]
<b>Ocupacional</b>	400 - 2000	$f_M/30$	$f_M/40$
	2000 - 3000	$f_M/30$	50
<b>Publico</b>	400 - 2000	$f_M/200$	$f_M/200$
	2000 – 3000	10	10

Tabla 11: Densidad de Potencia (S), IEEE vs ICNIRP

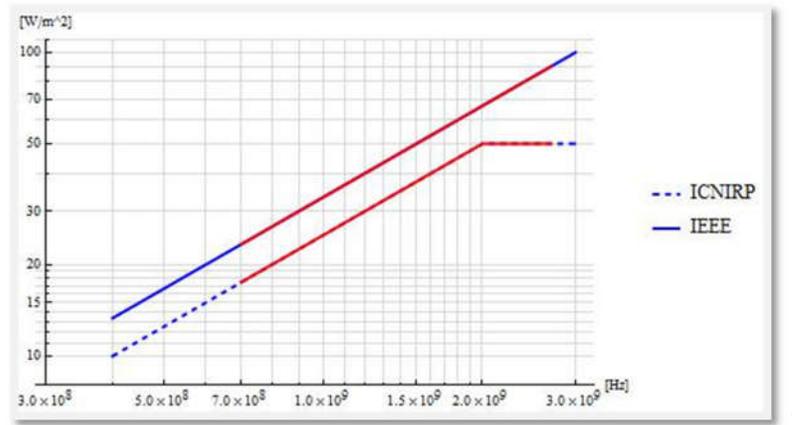


Figura 14: Densidad de Potencia en ambiente ocupacional, IEEE vs ICNIRP

### 2.3.3 ESTUDIOS BIOLÓGICOS Y EFECTOS SOBRE LA SALUD

Los efectos biológicos son respuestas medibles a un estímulo, mientras que un efecto sobre la salud es aquel que ocasiona una disfunción detectable en la salud de la persona expuesta o en la de sus descendientes. En tal sentido es importante destacar que no todos los efectos biológicos necesariamente son generadores de efectos nocivos para la salud. (11)

#### 2.3.3.1 OMS (*Organización Mundial de la Salud*)

La OMS es la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria a nivel global de las Naciones Unidas. Es la responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales, configurar la agenda de las investigaciones en salud, establecer normas, articular opciones de políticas basadas en la evidencia, prestar apoyo técnico a los países que lo requieran y vigilar las tendencias sanitarias mundiales.

<sup>7</sup> En color rojo se destaca el rango de frecuencias que va de 700 [MHz] a 2700 [MHz].

## ***Función de la OMS en la salud pública***

La OMS cumple sus objetivos mediante las siguientes funciones básicas:

- Ofrecer liderazgo en temas cruciales para la salud y participar en alianzas cuando se requieran actuaciones conjuntas.
- Determinar las líneas de investigación y estimular la producción, difusión y aplicación de conocimientos valiosos.
- Establecer normas, promoverlas y seguir de cerca su aplicación en la práctica.
- Formular opciones de política que aúnen principios éticos y de fundamento científico.
- Prestar apoyo técnico, catalizar el cambio y crear capacidad institucional duradera.
- Seguir de cerca la situación en materia de salud y determinar las tendencias sanitarias.

## ***Proyecto CEM***

Como parte de su mandato de proteger la salud pública, y en respuesta a la preocupación pública por los posibles efectos de la exposición a CEM (Campos Electromagnéticos) sobre la salud, la OMS creó en 1996 el ***Proyecto Internacional CEM***, proyecto que tiene como fin evaluar las pruebas científicas sobre los posibles efectos que estos campos podrían tener sobre la salud.

El proyecto CEM está abierto a todos los gobiernos de los estados miembros de la OMS, es decir, los departamentos de la salud, o representantes de otras instituciones nacionales responsables por la protección contra la radiación. El proyecto es totalmente financiado por los países y las agencias que participan.

Los objetivos del proyecto consisten en:

- Dar una respuesta internacional y coordinada a las inquietudes que suscitan los posibles efectos sanitarios de la exposición a los CEM.
- Evaluar las publicaciones científicas, y elaborar informes de actualidad sobre los efectos sanitarios.

- Descubrir aspectos poco conocidos en los que una investigación más a fondo permitiría evaluar mejor los riesgos.
- Alentar la creación de programas de investigación especializados y de alta calidad.
- Incorporar resultados de las investigaciones en monografías de la serie Criterios de Salud Ambiental de la OMS, en las que se evaluarán metódicamente los riesgos sanitarios de la exposición a los CEM.
- Facilitar el desarrollo de normas internacionalmente aceptables sobre la exposición a los CEM.
- Facilitar, a las autoridades nacionales y de otros ámbitos, información sobre la gestión de los programas de protección contra los CEM, y en particular monografías sobre la percepción, comunicación y gestión de los riesgos derivados de los CEM.
- Asesorar a las autoridades nacionales y de otros ámbitos sobre los efectos sanitarios y ambientales de los CEM, y sobre las eventuales medidas o actuaciones de protección necesarias.

En el área de investigación del *Proyecto CEM* se han realizado abundantes estudios sobre los posibles efectos en la salud debido a la exposición de radiación a distintas frecuencias a lo largo del espectro. Todas las evaluaciones realizadas hasta la fecha han indicado que la exposición a niveles inferiores a los límites recomendados por ICNIRP (1998), que abarcan el intervalo completo de frecuencias de 0 a 300 GHz, no producen ningún efecto perjudicial conocido para la salud. No obstante, aún hay lagunas de conocimiento que se deben abordar para poder mejorar las evaluaciones ante los posibles riesgos para la salud.

El plan de trabajo científico del Proyecto contempla los siguientes objetivos y actividades relacionadas:

*Evaluar el estado de la ciencia*

El Proyecto Internacional CEM ha realizado varias evaluaciones científicas de los efectos sobre la salud producto de la exposición a campos correspondientes a distintas frecuencias del espectro electromagnético. Además, ha realizado evaluaciones sobre objetivos de investigación específicos, que van de los niveles térmicos perjudiciales en el organismo humano hasta el impacto sobre el medio ambiente. La OMS actualmente realiza una evaluación y estimación completa de los riesgos para la salud ante exposiciones de todas las frecuencias. Los resultados de esta evaluación estarán disponibles hasta dentro de unos años.

*Identificar lagunas de conocimiento que deben investigarse en mayor profundidad para mejorar las evaluaciones de los riesgos para la salud*

Los resultados de las evaluaciones científicas se utilizan para identificar las lagunas de conocimiento y constituyen la base de la Agenda de Investigación sobre CEM de la OMS. Esta agenda incluye una lista de investigaciones pendientes sobre CEM que deben completarse para que la OMS disponga de información suficiente y así mejorar sus evaluaciones sobre los posibles riesgos para la salud de la exposición a campos electromagnéticos. La Agenda de Investigación incluye también un conjunto de directrices generales sobre la calidad de las investigaciones.

*Fomentar las investigaciones centradas en áreas previamente identificadas*

El Proyecto Internacional CEM ha creado una base de datos cuyo propósito es informar a investigadores de todo el mundo sobre los proyectos, tanto en curso como en carpeta, de interés para la Agenda de investigación.

**2.3.3.2 IARC (*International Agency for Research on Cancer*)**

La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, es una organización intergubernamental y forma parte de la OMS, promueve y coordina la colaboración internacional en la investigación sobre esta enfermedad. Asimismo, propone y desarrolla estrategias científicas para su control y prevención. De carácter interdisciplinar, reúne a especialistas con experiencia en epidemiología, ciencias básicas y bioestadística para identificar las causas del cáncer y así contribuir a la adopción de medidas preventivas.

(12)

IARC categoriza los agentes, compuestos y exposiciones en cinco categorías

Grupo	Característica	# de agentes
<b>1</b>	Cancerígeno para humanos. Basada en fuertes evidencias en humanos	133
<b>2A</b>	Probablemente cancerígeno para humanos. Basada en fuertes evidencias en animales.	66
<b>2B</b>	Posiblemente cancerígeno para humanos. Basada en evidencias en seres humanos consideradas como creíbles, pero otras explicaciones no pueden ser excluidas.	285
<b>3</b>	No clasificable como cancerígeno para humanos	505
<b>4</b>	Probablemente no cancerígeno para humanos	1

El 31 de mayo de 2011 la IARC ha clasificado los campos electromagnéticos de radiofrecuencias como *posiblemente carcinogénicos para el ser humano* (Grupo 2B), en base a un aumento del riesgo de glioma, un cáncer del cerebro de tipo maligno, asociado con el uso de teléfonos inalámbricos. Cabe mencionar que dentro del grupo 2B también se encuentran agentes tales como por ejemplo el aloe-vera y el carbón.

IARC posee distintas áreas de investigación, estas corresponden a *Cancer Surveillance, Mechanism of Carcinogenesis, Molecular Pathology, Infections, Environment and Radiation, Nutrition and Metabolism, Genetics* y *Early Detection and Prevention* (13).

Los objetivos generales de la sección *Environment and Radiation (ENV)* son investigar el medio ambiente, estilo de vida, el trabajo, y la radiación como posibles causas de cáncer en la población. En el caso particular de la radiación no-ionizante la IARC cuenta con el proyecto *INTERPHONE Study*, que corresponde a un estudio multinacional de casos y testigos sobre el riesgo de tumores cerebrales, neuroma acústico y tumores de las glándulas parótidas asociado a la exposición a los campos de radiofrecuencia procedentes de teléfonos móviles (11). Los resultados principales (14) que ha mostrado el estudio son los 2 que se mencionan a continuación:

*Riesgo de tumor cerebral asociado al uso del teléfono móvil.* No se ha observado un aumento en el riesgo de glioma o meningioma con el uso de los teléfonos móviles. Hubo un indicio de aumento del riesgo de

glioma en los niveles más altos de exposición, pero los sesgos y errores impiden una interpretación causal. Los posibles efectos de un uso intensivo a largo plazo de teléfonos móviles requieren mayor investigación. (15)

*Riesgo de neuroma acústico asociado al uso del teléfono móvil.* No existe un aumento del riesgo del neuroma acústico por el uso regular de un teléfono móvil. Se observa un aumento en las posibilidades asociadas a un alto nivel de llamadas acumuladas en el tiempo, lo que podría deberse al azar, al sesgo de la presentación o un efecto causal. Como el neuroma acústico es generalmente un tumor de crecimiento lento, el tiempo transcurrido entre la introducción de los teléfonos móviles y la aparición del tumor podría haber sido demasiado corto para observar un efecto, en caso de existir.

### **2.3.3.3 BIOINITIATIVE Report**

Bioinitiative Report se define como un informe independiente y ajeno a gobiernos, agencias y sociedades profesionales de la industria, producto de una investigación internacional y una iniciativa política pública que da una visión general sobre los efectos biológicos conocidos de los CEM. (16)

En general, más de 1800 estudios informan sobre genotoxicidad y daños en el ADN; condensación de la cromatina y la pérdida de la capacidad de reparación del ADN en las células madre humanas; reducción de los captadores de radicales libres - en particular de la melatonina; neurotoxicidad en humanos y animales, efecto cancerígeno en seres humanos; graves impactos sobre la morfología y función de los espermatozoides humanos y animales; los efectos sobre el cerebro y el desarrollo del hueso craneal en la descendencia de los animales que están expuestos a la radiación de los teléfonos celulares durante el embarazo. También señala que:

- Los actuales límites de la ICNIRP para exposición pública y laboral a ELF y RF son insuficientes para proteger la salud.
- Los actuales estándares no debieran basarse solamente en la absorción de energía, o calentamiento del tejido. Estos debieran proteger contra los efectos crónicos producidos por la exposición.
- Durante el uso del teléfono celular, una masa relativamente constante de tejido en el cerebro es expuesto a radiación de intensidad relativamente alta (peak SAR de 4 a 8 W/kg). Varios estudios han informado daños en el ADN a exposiciones menores de 4 W/kg.

- El uso prolongado mayor a 10 años, tanto para teléfonos móviles como celulares, entregan un patrón de aumento en el riesgo de neuroma acústico y glioma. El riesgo es más alto debido a la exposición ipsilateral (uso del teléfono en un solo lado de la cabeza)
- La evidencia sugiere que la leucemia infantil está asociada a la exposición de CEM ya sea durante los primeros años de vida o incluso en el embarazo.

Esta es sólo una muestra de la evidencia presentada en el informe BioInitiative 2012. (17): Para mayor detalle e información respecto a los resultados y conclusiones de este proyecto, revisar BioInitiative Report 2012.

## 2.4 COMENTARIOS

Principalmente en las zonas urbanas nos encontramos expuestos de forma permanente a la radiación electromagnética emitida por antenas de las estaciones base, pertenecientes a las distintas redes móviles de telefonía celular. Esta corresponde a radiación no-ionizante ( $f < 300$  GHz), se caracteriza por que su energía es insuficiente para romper las uniones atómicas, por lo tanto no puede ocasionar alteraciones sobre el ADN de manera directa. Sin embargo posee la energía suficiente para producir efectos de calentamiento en la materia, y por lo tanto en el cuerpo humano.

Los indicadores definidos en la ley son Densidad de Potencia (S) y Tasa de Absorción Específica (SAR). Si queremos asignar estos índices a algún elemento de una red móvil, la densidad de potencia corresponde a las emisiones de las antenas de las estaciones base, y el SAR a las emisiones de los equipos móviles de los usuarios.

Según la frecuencia de la fuente de radiación, existe un punto a partir del cual las ondas electromagnéticas se pueden representar con su equivalente de onda plana, esta distancia en función de la frecuencia ( $3\lambda = \frac{900 \cdot 10^6}{f} [m]$ ) corresponde a lo que se conoce como *campo lejano*, hemos visto que para nuestro estudio la distancia de campo lejano varía de 34 a 105 cms, lo que permite simplificar el cálculo y medición de la densidad de potencia.

$$S = EH = E^2/377 = H^2 * 377$$

SUBTEL ha definido los valores de la normativa actual, sin embargo la próxima normativa será de responsabilidad del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), división Calidad del Aire. Que a través del expediente público ROL 01/2012 informa de los avances correspondientes, es así que en la Resolución Exenta N°674 se resuelve ampliar hasta el 2016 el plazo de elaboración del anteproyecto de norma de emisión de ondas electromagnéticas.

Por parte de IEEE e ICNIRP, entidades de carácter técnico y de salud respectivamente, se aprecia la coincidencia al limitar la exposición al SAR y S, (restricciones básicas y exposición máxima permisible/niveles de referencia), tales sugerencias se obtienen a partir del criterio de calentamiento dejando en claro la ausencia, hasta el momento, de evidencia sobre efectos adversos a la salud por exposición a campos electromagnéticos en el largo plazo.

## CAPÍTULO 3

# PROCESOS Y CRITERIOS DE ADOPCIÓN DE LA NORMA Y SUS VALORES

Al revisar la normativa es válido preguntarse si los límites establecidos son suficiente, cuál es el origen de estos valores, qué estudios o recomendaciones se han considerado para la elaboración de los documentos que estamos analizando. También es necesario clarificar datos y restricciones que se presentan de manera aparentemente arbitraria. El objetivo de este capítulo es exponer con la mayor claridad posible las respuestas a dichos cuestionamientos.

### 3.1 PRESENTACIÓN DE LA NORMATIVA

Los límites que nos rigen actualmente en el ámbito de las emisiones electromagnéticas celulares están definidos mediante un conjunto de leyes, resoluciones y decretos<sup>8</sup>. En estas se entregan los niveles de radiación máximos permitidos tanto para las antenas de redes móviles como para los equipos portátiles de telefonía celular. A continuación se procede a exponer cómo la legislación hace frente a estos escenarios, pero antes mostraremos las definiciones de Densidad de Potencia y de SAR señaladas en (18) Artículo 2°.

- **Densidad de potencia (S)**: Energía por unidad de tiempo que incide sobre la unidad de superficie ubicada perpendicularmente a la propagación de la onda radioeléctrica. Las unidades de medición más usuales son Watt/m<sup>2</sup>, miliWatt/cm<sup>2</sup> o microWatt/cm<sup>2</sup>.

- **Tasa de absorción específica (SAR, Specific Absorption Rate)**: indicativo de la cantidad de potencia depositada por unidad de masa de tejido del cuerpo humano, proveniente de ondas radioeléctricas. La unidad de medida más usual es Watt/kg.

---

<sup>8</sup> Para mayor información, el listado actualizado con la documentación relacionada a la Ley de Antenas lo puede encontrar en “<http://antenas.subtel.gob.cl/LeyDeTorres/normativa>”.

### 3.1.1 VALORES LÍMITE POR RADIACIÓN DE ANTENA

A continuación se presentan dos artículos en los cuales se establecen, cada uno por separado, los límites máximos de densidad de potencia, siendo estos los puntos de mayor interés en nuestro estudio.

El primero de estos es el artículo 3° (19), donde se establece que las antenas de las estaciones base o fijas, correspondientes a los servicios de telecomunicaciones, deberán instalarse y operarse de manera tal que la intensidad de campo eléctrico o la densidad de potencia, medida en los puntos a los cuales tengan libre acceso las personas en general, no excedan de un determinado valor, el que se puede apreciar en la tabla siguiente. Asimismo, se deberán determinar límites especiales de densidad de potencia o intensidad de campo eléctrico en los casos de establecimientos hospitalarios, asilos de ancianos, salas cuna, jardines infantiles y establecimientos educacionales.

**Tabla 12: Valores Límite por Radiación de Antenas<sup>9</sup>**

Bandas de Frecuencias [MHz]	Valores límite	
	Intensidad de Campo Eléctrico [V/m]	Densidad de Potencia [ $\mu W/cm^2$ ]
0,009 – 1	87	-
1 – 10	$87/f^{(1/2)}$	-
10 – 400	-	200
400 - 2.200	-	$f/2$
2.200 - 300.000	-	1.000

**Nota: f es la frecuencia a medir en MHz.**

Los valores eficaces (valores r.m.s) de intensidad de campo eléctrico o de densidad de potencia promediados en cualquier período de 6 minutos no deberán superar los valores límite señalados en la tabla precedente para frecuencias inferiores a 10.000 MHz.

<sup>9</sup> Asumiendo que se cumplen las restricciones básicas y que se pueden excluir los efectos indirectos adversos, los valores de las intensidades de campo pueden ser excedidos.

En (20) el artículo 2.1 señala que “Los límites de densidad de potencia que se establezcan **deberán ser iguales o menores al promedio simple de los cinco estándares más rigurosos** establecidos en los países que integran la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)”. Este valor promedio<sup>10</sup> se encuentra dentro de los límites expuestos en la Tabla 12.

Con el fin de completar lo anterior, el artículo 4° de (19) intenta hacerse cargo de la situación de múltiples antenas, las que pueden ser de distintas frecuencias, distintas tecnologías (2G, 3G y 4G-LTE) o bien pertenecer a distintos operadores, señalando que “Cuando existan contribuciones de intensidad de campo eléctrico o densidad de potencia provenientes de múltiples antenas de estaciones base o fijas de dos o más sistemas, deberá cumplirse lo siguiente:

$$\sum_{f=9 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} R_f \leq 1$$

Donde

$$R_f = \frac{S_i}{S_m} \text{ o } R_f = \left[ \frac{E_i}{E_m} \right]^2, \text{ según corresponda}$$

- $S_i$  = Valor medido de densidad de potencia a la frecuencia  $f$ ;
- $S_m$  = Valor máximo permitido de la densidad de potencia a la frecuencia  $f$ , obtenido de la aplicación de la Tabla 12;
- $E_i$  = Valor medido de intensidad de campo eléctrico a la frecuencia  $f$ ;
- $E_m$  = Valor máximo permitido de intensidad de campo eléctrico a la frecuencia  $f$ , obtenido de la aplicación de la Tabla 12.

Las emisiones generadas por la última antena que se instale en una ubicación, donde ya existan otras antenas dentro de un radio de 100 metros, deberán ser tales que se cumpla con la relación antes señalada”.

---

<sup>10</sup> valores expuestos en el capítulo 2.3.1.1

Por ejemplo, se tienen N antenas que satisfacen la condición “ $\sum_{f=9\text{ kHz}}^{300\text{ GHz}} R_f \leq 1$ ”, al instalar una nueva antena se revisa la condición para las N+1 antenas, en caso que la sumatoria sea mayor a 1 la relación deja de cumplirse y debiera buscarse una solución adecuada, ya sea modificando la potencia emitida por las antenas vecinas o encontrar otro lugar para su instalación. En la normativa actual  $S_m$  es constante para todo el rango de interés, esto permite tomarlo como factor común y así sacarlo de la sumatoria, luego se realiza un sencillo ejercicio matemático<sup>11</sup>, obteniendo como resultado que, sin importar cuál sea la cantidad de antenas convergentes en un mismo punto, la sumatoria de las densidades conjuntas debe ser  $\leq S_m$ .

### 3.1.2 DE LOS EQUIPOS PORTÁTILES

Tal como se menciona en el capítulo 2.3.1.1, durante el uso habitual los equipos portátiles, a diferencia de las antenas de las estaciones base, se encuentran dentro de la región de campo cercano, haciendo de esta manera que la Tasa de Absorción Específica (SAR) sea el indicador apropiado para expresar las restricciones. Los artículos 18° y 19° (19) señalan que las concesionarias de servicio público de telefonía móvil podrán comercializar y habilitar en sus redes equipos portátiles cuyo SAR no exceda los valores establecidos en la normativa.

Adicionalmente, las concesionarias deberán tener disponible en sus oficinas comerciales una lista actualizada mensualmente, cuya copia deberá ser remitida a la Subsecretaría, indicando marca, modelo y SAR de los equipos portátiles homologados en sus redes. Información que también deberá estar disponible para cualquier usuario que lo solicite.

En el caso de equipos que sean comercializados directamente por terceros, éstos estarán obligados a enviar a las concesionarias, con copia a la Subsecretaría, la información respecto a la marca, modelo y SAR de los equipos portátiles que hayan comercializado.

---

<sup>11</sup> Anexos. Página 90

## 3.2 DUDAS GENERADAS A PARTIR DE LA NORMATIVA

Al revisar la documentación que limita las emisiones de radiación electromagnética tanto para antenas como para equipos portátiles, surgen varias interrogantes y el objetivo de esta sección es aclararlas entregando la información necesaria para comprender su origen, justificación o utilidad.

### 3.2.1 DUDAS SOBRE LÍMITES DE RADIACIÓN DE ANTENAS

*¿Cuál es el origen de la Tabla 12: Valores Límite por Radiación de Antenas?*

Estos valores corresponden a una adaptación de los Niveles de Referencia propuestos en las recomendaciones de la ICNIRP. En esta adaptación se aprecia la ausencia de valores de Intensidad de Campo Eléctrico para frecuencias superiores a 10 MHz, esto es debido a dos motivos, el primero corresponde a una observación realizada por la ICNIRP en la cual se indica que “asumiendo que se cumplen las restricciones básicas y que se pueden excluir los efectos indirectos adversos<sup>12</sup>, los valores de las intensidades de campo pueden ser excedidos”. El segundo motivo tiene un carácter mucho más práctico, y se debe al uso de la equivalencia de onda plana en campo lejano donde  $S = E^2/377$ , permitiendo de esta manera evitar confusiones y restringir la regulación a un solo parámetro según rango de frecuencia.

*¿Por qué se debe promediar en periodos de 6 minutos?*

En general, los estándares de exposición especifican un nivel máximo medido sobre una ventana de tiempo determinada – típicamente 0,1 h (6 min). Este tiempo promedio se considera apropiado desde un punto de vista térmico, en particular, debido a las características de regulación de temperatura en el cuerpo. Los valores de E, H o S promedio sobre cualquier periodo de tiempo pueden ser calculados desde su valor máximo (peak value). Si, por ejemplo, un estándar de exposición RF especifica un S máximo de 1 mW/cm<sup>2</sup> promediado sobre un periodo de 6 minutos, el nivel de exposición permitido se puede expresar como

---

<sup>12</sup> Se definen los efectos indirectos de campos electromagnéticos exclusivamente para el rango de frecuencias de 100 kHz a 110 MHz. Recomendación ICNIRP, pág. 22.

$$S * t = 6 \left[ \frac{mW \text{ min}}{cm^2} \right]$$

Con S en mW/cm<sup>2</sup> y t en minutos.

El uso de este concepto se ilustra en la Figura 15, donde el área bajo la curva representa la exposición promediada en el tiempo, expresado en  $\left[ \frac{mW \text{ min}}{cm^2} \right]$ . Por ejemplo, si tenemos una exposición de S = 2 mW/cm<sup>2</sup> que dura 3 minutos, durante los 3 minutos restantes la exposición deberá ser nula. Generalmente, las exposiciones RF varían en el tiempo ya sea por las características operacionales de la fuente cómo por el movimiento del individuo a través del campo.

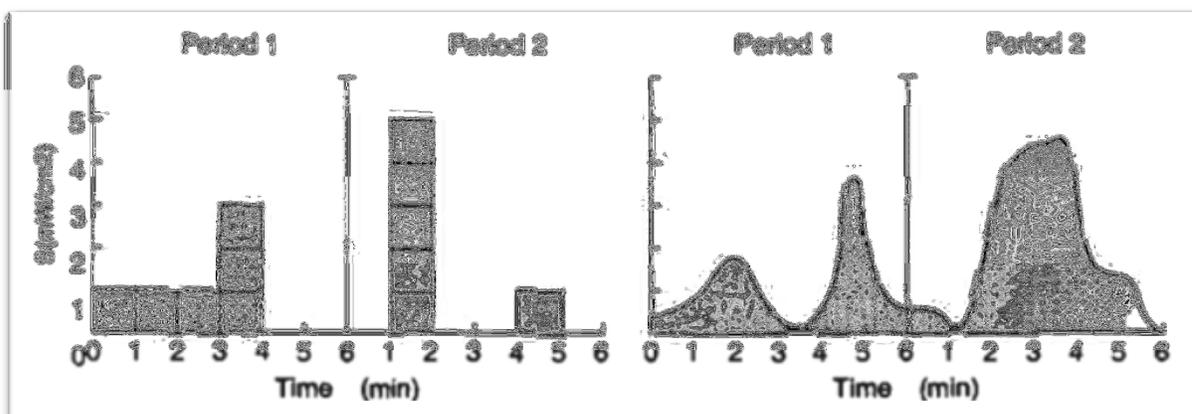


Figura 15: Exposición RF promediada en el tiempo.

*Los valores de las restricciones finales, ¿corresponden verdaderamente al promedio señalado?*

El desarrollo de esta respuesta se encuentra en la Sección 4.1, de todas formas se puede adelantar que la normativa nacional no cumple con la condición señalada ya que se encuentra ocupando el 6to lugar<sup>13</sup> entre los países miembros de la OCDE, aun así la normativa sigue siendo bastante exigente dentro de esta agrupación.

---

<sup>13</sup> Debiendo ser inferior o igual al promedio de los cinco más exigentes.

### 3.2.2 ¿CÓMO SE INTERPRETA LA NORMATIVA EN RELACIÓN A LOS EQUIPOS PORTÁTILES?

La Tabla 3 (pág. 21) corresponde a una adaptación de las Restricciones Básicas propuestas en las recomendaciones ICNIRP<sup>14</sup>. Esta adaptación nos muestra solamente los valores requeridos, mencionando brevemente los distintos tipos de SAR (cuerpo completo, o localizado) sin relacionarlos con la cantidad ni con el tipo de tejido involucrado en su definición. También se aprecia la falta de un procedimiento de medición, reduciendo el poder de fiscalización a un mero requerimiento a las empresas comercializadoras de teléfonos móviles y operadores de telefonía móvil, de solamente informar los valores de SAR que los fabricantes por su parte han definido para sus distintos equipos. Para complementar la información, a continuación se entregará una definición de SAR más completa.

En dosimetría, la transferencia de energía desde los campos electromagnéticos hacia partículas cargadas en una materia absorbente es descrita en términos de *specific absorption rate* (SAR). “Specific”, debido a la normalización de masa; “absorption”, por la energía absorbida; y “rate”, la tasa de cambio de la absorción de energía en el tiempo. El SAR se define, en un punto *específico* en la materia absorbente, como la tasa de cambio de la absorción de energía en el tiempo, transferida hacia partículas cargadas en un *volumen infinitesimal* en el punto dado, dividido por la masa de dicho volumen infinitesimal.

$$SAR = \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial W_c}{\partial t}$$

Donde  $\rho_m$  es la densidad de masa del objeto en el punto específico y  $\partial W_c / \partial t$  es la tasa de cambio de energía por unidad de volumen de partículas cargadas en el mismo punto.

El SAR promedio para *cuerpo completo* (*whole-body average SAR*) se define como la tasa de cambio de la energía total transferida en el tiempo hacia el material absorbente, dividido por la masa total del objeto, y está dada por la siguiente ecuación:

---

<sup>14</sup> Tabla 7: Restricciones básicas de exposición a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz

$$SAR_{Average} = \frac{1}{M} \int_V \langle P_c \rangle dV$$

El término  $\langle P_c \rangle$  representa la potencia transferida hacia las partículas cargadas en un punto dado de volumen infinitesimal, y M corresponde a la masa total del material absorbente. Frecuentemente, en la práctica, el término “SAR promedio de cuerpo entero” es acortado simplemente a “SAR promedio”

El *SAR local* se relaciona al campo eléctrico interno ( $E_{in}$ ) a través de la siguiente ecuación:

$$SAR = \frac{P}{\rho_m} = \frac{\sigma E^2}{\rho_m}$$

De esta manera, si se conoce el valor de la conductividad del objeto, basta conocer el valor del SAR o de E para que el otro término quede completamente definido.

El SAR es una cantidad importante en dosimetría, tanto por entregar una medida de la tasa de absorción de energía en el tiempo, la que puede manifestarse como calor, así como también por entregar una medida de los campos internos, los que podrían afectar el sistema biológico de maneras distintas al calentamiento.

### 3.3 COMENTARIOS

Al presentar la normativa, lo primero que salta a la vista es la tabla de Valores Límite por radiación de antenas (pág. 42), la cual se complementa con la condición que indica que “Los límites de densidad de potencia que se establezcan *deberán ser iguales o menores al promedio simple de los cinco estándares más rigurosos* establecidos en los países que integran la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico”. Ambas condiciones se traducen finalmente en los valores establecidos en la norma.

Esto nos lleva a revisar los límites adoptados por los países miembros del OCDE, para descubrir que no se cumple la condición de ser igual o menor al promedio señalado. Muchos de estos países pertenecen a la unión europea, quienes adoptan las recomendaciones del Council Europeo, el que a su vez adopta las sugerencias realizadas por ICNIRP. Sin embargo, algunos de estos países poseen límites más exigentes con el fin de evitar daños a largo plazo, pues tales efectos aún no han sido descartados ni confirmados.

La presentación del índice SAR deja más dudas que certezas, la descripción realizada en la normativa es bastante breve, y gracias a este estudio ha podido ser complementada. Continuando con la revisión de la normativa, en esta no se menciona ningún método de medición de SAR, lo que conlleva una reducción en las capacidades de fiscalización de los aparatos distribuidos y utilizados a lo largo del país. El estudio junto con exponer distintos métodos de medición, también permite comprender que existe un alto grado de dificultad para realizar la medición de este indicador, tanto por las condiciones ambientales cómo por el factor económico. En lugar de esto, se confía plenamente en los valores entregados por cada fabricante, medida que no está libre de errores, hecho que quedó comprobado en un estudio realizado en Finlandia (21) donde los valores obtenidos mediante pruebas de laboratorio no son iguales a los valores entregados por los fabricantes, pudiendo ser superiores o inferiores, siempre manteniéndose dentro de los límites establecidos.

En la sección dedicada a la regulación de Densidad de Potencia se encuentra una pequeña noción sobre Densidad de Potencia *acumulativa*, es decir, la situación en donde intervienen las emisiones de múltiples antenas en un mismo punto. En el caso del SAR, no se han encontrado sugerencias respecto a un SAR *acumulativo*, el que, de manera similar a la Densidad de Potencia acumulativa, debiera considerar la radiación proveniente de múltiples equipos portátiles hacia un mismo punto con una distancia de 0,5 o 1 m por ejemplo. Este es un tema importante pues en nuestro país el índice de penetración de telefonía móvil a

Septiembre del 2014 es de 128.6%<sup>15</sup>, lo que se traduce en aproximadamente 1.3 celulares por persona. En el caso del metro de Santiago, durante el periodo de hora punta el nivel de aglomeración es tal que se puede llegar a compartir el mismo metro cuadrado [m<sup>2</sup>] por hasta 7 personas, aplicando el índice de penetración de telefonía móvil a estas 7 personas, se estima entonces la existencia de 9 equipos celulares irradiando de manera simultánea en un mismo metro cuadrado. Esta es una situación de alto estrés para los equipos móviles pues a medida que decae el nivel de señal recibida, el equipo portátil debe aumentar su potencia para mantenerse conectado a la red. Tal aumento de potencia se traduce en un aumento directo en el nivel de SAR, en comparación a su nivel en ambiente de uso habitual, así como también en un calentamiento del equipo, el que a su vez también genera un aumento de la temperatura en el tejido cercano.

---

<sup>15</sup> <http://www.subtel.gob.cl/wp-content/uploads/2015/01/PPT-Series-Septiembre-2014-041214-v1.pdf>

## CAPÍTULO 4

### NORMATIVAS COMPARADAS: CHILE Y OTROS PAÍSES

Para comprender de mejor manera la situación de Chile a nivel mundial en el ámbito de las emisiones de ondas electromagnéticas de telefonía celular, se realiza la comparación de la normativa nacional con las normativas de los siguientes grupos de interés:

**Tabla 13: Países Miembros de la OCDE**

Alemania	Finlandia	Nueva Zelanda
Australia	Francia	Holanda - Países Bajos
Austria	Grecia	Polonia
Bélgica	Hungría	Portugal
Canadá	Irlanda	Reino Unido
Chile	Islandia	República Checa
Corea	Israel	República Soviética
Dinamarca	Italia	Suecia
Eslovenia	Japón	Suiza
España	Luxemburgo	Turquía
Estados Unidos	México	
Estonia	Noruega	

**Tabla 14: Países de América Latina<sup>16</sup>**

Argentina	Costa Rica	Perú
Bolivia	Ecuador	Uruguay
Brasil	México	Venezuela
Chile	Panamá	
Colombia	Paraguay	

<sup>16</sup> Listado e información obtenida de (30). No se logró encontrar las normas de los países faltantes.

## 4.1 ESTÁNDARES EN LOS PAÍSES DE LA OCDE

### DENSIDAD DE POTENCIA

La Figura 16 nos muestra los niveles máximos de exposición para público general<sup>17</sup>. Aquí resalta el hecho de que la mayoría coinciden en sus niveles permitidos ya sea a 800 cómo a 2700 MHz. Esto es resultado directo de la Recomendación del Consejo de la Unión Europea, que a su vez se basa estrictamente en la recomendación ICNIRP, la que también es adoptada por países como Japón, Corea y Turquía entre otros; sin embargo, existen otros países que se atreven con valores más restrictivos pues se considera que dicha recomendación no contempla posibles efectos a largo plazo, los cuales serían dañinos para la salud (22).

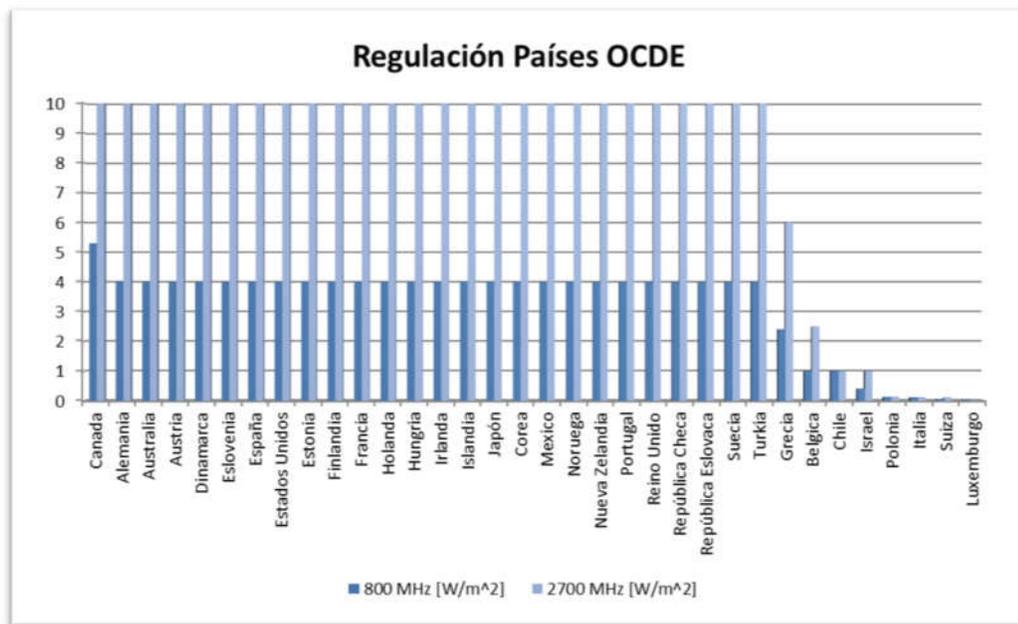


Figura 16: Densidad de Potencia - Países OCDE

El gráfico anterior también sirve para invalidar la condición en que los límites de densidad de potencia deben ser iguales o menores al promedio de los cinco estándares más rigurosos, pues Chile se encuentra en el 6to lugar de las normativas más restrictivas.

<sup>17</sup> El listado de estos valores se puede revisar en los anexos, Tabla 18

Los valores promedio de los cinco países más rigurosos son  $0,13676 W/m^2$  y  $0,26736 W/m^2$  a 800 MHz y 2700 MHz respectivamente, mientras que en Chile el límite para ambas frecuencias es de  $1 W/m^2$ , tal valor es 7 y 4 veces mayor que lo esperado, sin embargo los valores establecidos siguen siendo bastante exigentes en comparación con el resto de los países miembros de la OCDE.

## **SAR**

El proceso de comparación del índice SAR contempla un conjunto de valores que corresponden a la masa (Averaging Mass) y al tiempo (Averaging Time) en que la masa estará expuesta a los campos electromagnéticos; a continuación se considera el SAR para tres secciones distintas del cuerpo - cuerpo entero, cabeza y tronco, y extremidades (Whole-body; Head & Trunk; Limbs) - esto debido a la no homogeneidad del cuerpo humano ante los efectos de los campos electromagnéticos. Y finalmente, a estos valores se agrega una última columna en la que se indica el Método de Medición (Measurement Method) adoptado, en caso que corresponda.

Así, en la Tabla 15 se puede apreciar que la recomendación ICNIRP es adoptada nuevamente por la mayoría de los países, ya sea directamente o por intermedio de la recomendación del Council de la Unión Europea, la que en algunos casos es modificada levemente.

Dentro de los valores a los cuales se logró acceder, se observa una falta importante de normalización y de claridad en lo que a restricción y medición de SAR se refiere. Varios de estos países *descansan* en el método de medición asignado, sin intención de profundizar en este tema, dificultando el entendimiento sobre cómo la medición y regulación de este parámetro es utilizada con el fin de prevenir, hasta el momento, efectos dañinos producidos por el aumento de la temperatura corporal.

Tabla 15: Restricciones SAR

País	Tiempo Promedio (min)	Masa Promedio (gr)	SAR promedio, Cuerpo Completo (W/kg)	SAR Máximo, cabeza y tronco (W/kg)	SAR Máximo, extremidades (W/kg)	Método de Medición
Australia	6	1		2		
Austria		1	0,08	2	4	ICNIRP
Canadá	6	1		1,6		Industry Canada's Radio Standards Specifications, RSS-102
Chile		1		1,6		
		10		2		
España	6	10				ICNIRP
Estados Unidos	6	1	0,08	1,6	1,6	FCC Bulletin 65 + Supplements, IEEE C95.3, NCRP Report 119
		10				
Finlandia	6	10				EU COUNCIL / ICNIRP
Francia	6	10				EC 1999/519
Israel	6	10				ICNIRP
Japón	6	10				Based on measurement methods of CENELEC and IEEE
Corea		1		1,6		
Noruega						ICNIRP
Nueva Zelanda						ICNIRP
Reino Unido	6	10				
		100				
Suecia	6	10 (local SAR)				CENELEC
Brasil						ICNIRP

## 4.2 AMERICA LATINA

En el caso de América Latina se observa un comportamiento similar al anterior, donde la mayoría de los países han adoptado los valores de la recomendación ICNIRP. Se destaca la normativa chilena como la más estricta de la región, seguida por la normativa peruana.

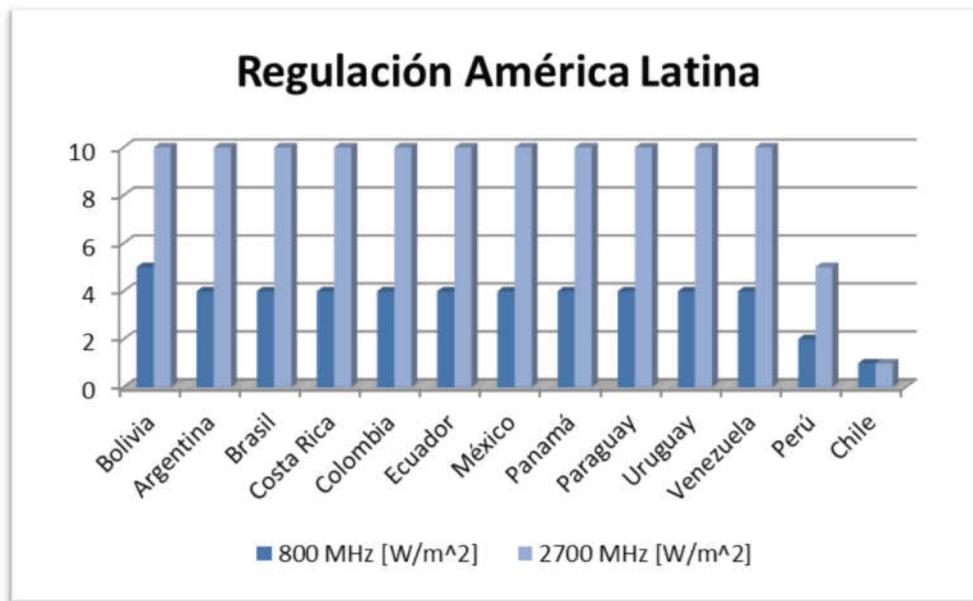


Figura 17: Densidad de Potencia - América Latina

Tabla 16: Valores de Normativas (Densidad de Potencia) de América Latina

País	Norma	Valor Regulación		800 MHz [W/m <sup>2</sup> ]	2700 MHz [W/m <sup>2</sup> ]
Argentina	MS 202/95	30 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	0.2 [mW/cm <sup>2</sup> ] f/2000 [mW/cm <sup>2</sup> ] 1 [mW/cm <sup>2</sup> ]	4*	10*
Bolivia	Resolución Administrativa Regulatoria N°2002/0313	30 - 300 [MHz] 300 - 1500 [MHz] 1500 [MHz] - 100 [GHz]	0.2 [mW/cm <sup>2</sup> ] f/1500 [mW/cm <sup>2</sup> ] 1 [mW/cm <sup>2</sup> ]	5,3*	10*
Brasil	Norma N°11934	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] f/200 [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Costa Rica	Decreto 36324	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] f/200 [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Colombia	Decreto 195 de 2005	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] f/200 [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Chile	Norma Técnica N° 403 30 de Abril, 2008	100 [μW/cm <sup>2</sup> ] en general 10 [μW/cm <sup>2</sup> ], zonas especiales; hospitales, jardín infantil, asilos.		1**	1**
Ecuador	Resolución 01-01-CONATEL-2005	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] f/200 [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
México	Decreto 10071 del 2 de marzo de 2007	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] f/200 [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Panamá	ICNIRP	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] f/200 [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Paraguay	Decreto N°10071 del 2 de marzo de 2007	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] f/200 [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Perú	Resol N°120-2005-MTC-03	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	1 [W/m <sup>2</sup> ] f/400 [W/m <sup>2</sup> ] 5 [W/m <sup>2</sup> ]	2	5
Uruguay	Proyecto reglamento agosto 2009	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	0.2 [mW/cm <sup>2</sup> ] f/2000 [mW/cm <sup>2</sup> ] 1 [mW/cm <sup>2</sup> ]	4*	10*
Venezuela	COVENIN 2238:2000	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	0.2 [mW/cm <sup>2</sup> ] f/2000 [mW/cm <sup>2</sup> ] 1 [mW/cm <sup>2</sup> ]	4*	10*

(\*)  $1 \left[ \frac{W}{m^2} \right] = 0,1 \left[ \frac{mW}{cm^2} \right]$ ; (\*\*)  $1 \left[ \frac{W}{m^2} \right] = 100 \left[ \frac{\mu W}{cm^2} \right]$

### **4.3 OBSERVACIONES**

Se aprecia la coincidencia de los valores límite que existen en las normativas de la mayoría de los países europeos, su explicación corresponde a que estos tienen como referencia común el Council Recommendation.

Chile, a diferencia de lo que se esperaba en un principio, se encuentra en el 6° lugar de los países más exigentes en lo que a radiación electromagnética celular respecta, alejándose del promedio simple de las 5 normativas más exigentes de la OCDE. Cabe señalar que los valores comparados son los definidos para ambientes de acceso a público general.

Para Latinoamérica, el dato que llama la atención es Bolivia, el cual muestra una exigencia superior al resto en la banda de 800 [MHz], debido a que en Bolivia se toma como referencia las directrices definidas por la FCC, documento redactado en 1996, sin embargo la FCC se encuentra en proceso de realizar una nueva normativa

Los documentos de referencia tanto IEEE como ICNIRP no han sido actualizados desde 2005.

## **CAPÍTULO 5**

### **MEDICIONES PROPUESTAS POR EL REGULADOR, LA EXPERIENCIA DE UNA EMPRESA CERTIFICADORA**

La medición se define como un proceso básico de la ciencia que consiste en comparar un patrón con un objeto o fenómeno determinado, con la finalidad de conocer cuantas veces dicho patrón es contenido en el objeto o fenómeno.

El proceso de medición presentado por el regulador<sup>18</sup> nos señala a grandes rasgos los pasos a seguir con el fin de obtener los valores que servirán para validar si las antenas de comunicación celular se encuentran operando dentro de los límites establecidos por la norma o si, por el contrario, se encuentran fuera de este. La labor de realizar las mediciones en terreno ha sido asignada a un grupo de 8 empresas certificadoras, las cuales participaron en un proceso de selección, conforme lo establece la normativa, siendo éstas las únicas acreditadas para realizar este tipo de mediciones.

El párrafo siguiente corresponde a la medición de la densidad de potencia, el cual contiene una breve revisión del actual proceso de medición señalado por el regulador. Información que es complementada con la experiencia práctica extraída de una entrevista realizada al gerente de una de estas empresas certificadoras (ingeniero señor Italo Mazzei<sup>19</sup>). También se da a conocer un estudio con propuestas para un nuevo y más completo método de medición de densidad de potencia. El apartado 5.2 aborda el proceso de medición de SAR.

#### **5.1 MEDICIÓN DE DENSIDAD DE POTENCIA**

La medición de densidad de potencia es fundamental para el proceso de fiscalización, que aspira a certificar que los límites establecidos no sean sobrepasados. El protocolo de medición utilizado

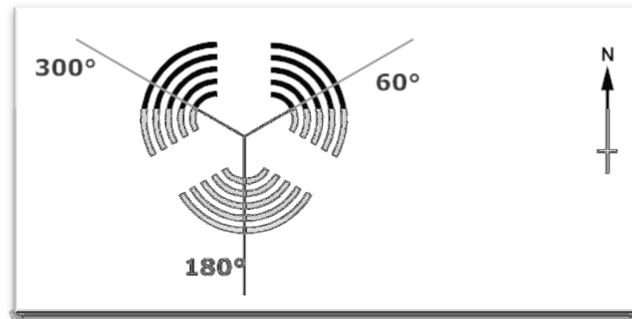
---

<sup>18</sup> Títulos III y IV, Resolución Exenta N°3103.

<sup>19</sup> Ingeniero Eléctrico, a quien se agradece su tiempo y buena disposición para ser entrevistado en el contexto del presente trabajo de título, socio de Ingeniería Mazzei, empresa que se dedica a la medición de Densidad de Potencia entre otras labores del área de Telecomunicaciones.



El paso siguiente es trazar el radial físico, para esto se revisa el azimuth<sup>22</sup> de las distintas antenas del sitio, información que también es entregada por el operador. A modo de ejemplo el sitio contará con 3 antenas<sup>23</sup> y sus azimuth serán de 60°, 180° y 300°. Se entenderá como radial físico de una antena a la proyección lineal del azimuth de dicha antena.



**Figura 19: Ejemplo de azimuth 60°, 180° y 300° para sitio con 3 sectores**

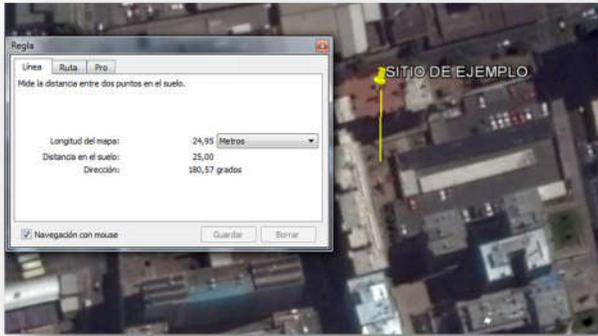
La normativa establece que el sensor de intensidad de campo se ubica a 1,5 mts sobre el nivel del suelo, efectuándose registros a 25, 50, 100 y 200 mts desde la base de la torre o de la estructura de apoyo de la antena en observación.<sup>24</sup>. A continuación se describe este procedimiento utilizando el Sitio de Ejemplo.

---

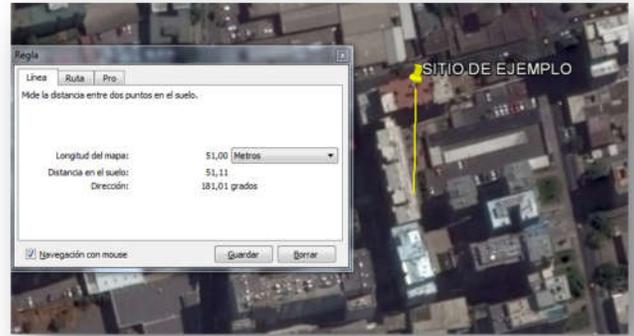
<sup>22</sup> Azimuth es una palabra que proviene del árabe y significa dirección, cenit. En comunicaciones móviles se conoce como azimuth al ángulo formado entre la dirección de referencia (0° al norte) y la dirección de máxima radiación de la antena.

<sup>23</sup> Un sitio básico por lo general cuenta con 3 sectores con 1 antena por sector.

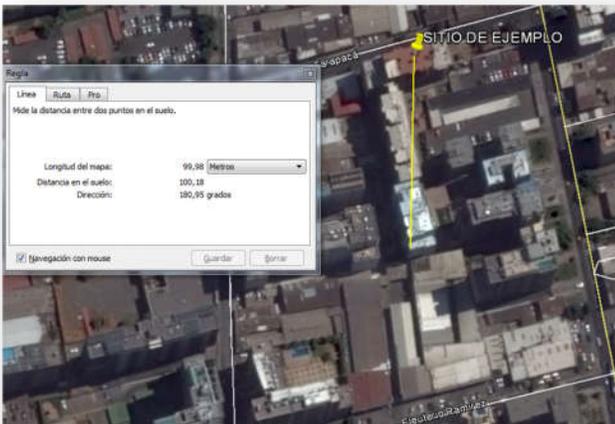
<sup>24</sup> Los registros se efectúan de forma selectiva, según la banda de frecuencias de operación, procurando respetar el radial físico.



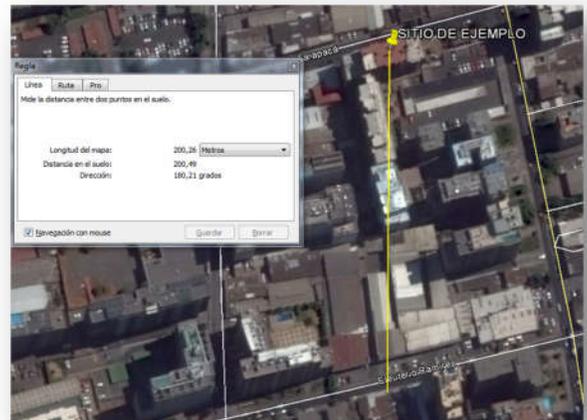
Radial 25 mts



Radial 50 mts



Radial 100 mts



Radial 200 mts

Figura 20: Sitio de Ejemplo - azimuth 180°

En la Figura 20 se aprecia el ícono amarillo (📌) que señala la ubicación del sitio de ejemplo, y abajo de este se dibuja una línea amarilla que representa el “radial físico”. También se observa una situación bastante común en zonas urbanas, las obstrucciones que dificultan o impiden la toma de muestras en las distancias establecidas por el regulador (25, 50, 100 y 200 mts a 1,5 mts sobre el nivel del suelo). En este ejemplo la medición se puede realizar solamente a 200 metros de distancia a la base de la antena. En los casos en que la medición sea impracticable, se proyecta el radial hasta llegar al primer punto donde se pueda realizar la toma de muestras, manteniendo registro de esta nueva distancia. El mismo proceso se lleva a cabo para todos los sectores del sitio de interés.

## 5.1.2 EXPERIENCIA PRÁCTICA

La esencia de las directrices señaladas en la normativa se mantienen intactas, lo que sí experimenta un cambio notorio es la cantidad de mediciones, aumentando de 1 a 5 en cada punto de medición, y ajustando la distancia a la base de la antena en caso que sea infactible posicionarse en las distancias establecidas para esta acción.

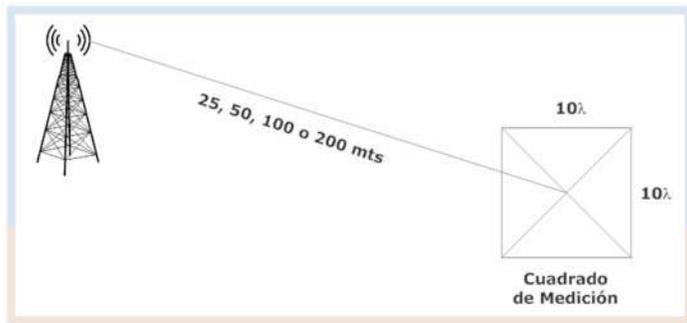


Figura 21: Cuadrado de Medición,  $10\lambda$

Frecuencia [MHz]	$10\lambda$ [m]
850	3,53
900	3,33
1800	1,67
1900	1,58
2100	1,43
2700	1,11

Tabla 17:  $10\lambda$  en función de la Frecuencia

Para obtener datos confiables, la metodología utilizada por Ingeniería Mazzei Ltda. consiste en identificar el punto de medición establecido en la normativa, este punto será el centro de un cuadrado de 10 lambdas [m] por lado. En este cuadrado, como se muestra en la Fig. 21, se realizan 4 mediciones, una por cada extremo, más una quinta medición al centro del cuadrado. Se obtiene la desviación media<sup>25</sup> de estos datos y en el caso que la desviación sea superior a los 5 dB, se toma otro set de muestras hasta obtener un resultado consistente.

El proceso se repite para las antenas/sectores que sean necesarios, el cual toma bastante tiempo, por lo general la medición completa de un sitio de 3 sectores puede durar a lo menos dos horas y media o tres horas. Sin contar el trabajo de oficina que requiere de al menos otras 4 horas correspondiente a la

<sup>25</sup> Rango y Desviación Media corresponden a medidas de dispersión las cuales indican si los datos están más o menos agrupados respecto de las medidas de centralización. Rango o recorrido, es la diferencia entre el mayor y el menor valor de la variable, indica la longitud del intervalo en el que se hallan todos los datos. Desviación media, es la media de los valores absolutos de las diferencias entre la media y cada uno de los datos.

elaboración del informe, el cual incluye el análisis y procesamiento de la información obtenida. Labor que se ve simplificada por la alta tecnología integrada en los equipos de medición<sup>26</sup>.

En Chile existe gente trabajando en elaborar mejoras al método de medición, en particular un grupo de la Universidad de Concepción proponen, en sus propias palabras, una metodología sistemática de medición que pretende facilitar la tarea de medición y fiscalización de los niveles de radiación de los sistemas radiantes que operan en Chile. El protocolo desarrollado mide radiación en la región de campo lejano de las antenas emisoras, y presenta esquemas de medición que consideran aspectos prácticos como la topología y el número de antenas emisoras cercanas al sitio de medición. Además el protocolo propuesto presenta dos etapas de mediciones, las que deben llevarse a cabo con el mismo equipamiento y que permiten generar tanto descripciones rápidas como descripciones detalladas del ambiente electromagnético en el punto de medición.

Este protocolo fue utilizado para medir los niveles de radiación en doce puntos de interés en la ciudad de Concepción, los cuales cumplían ampliamente con los límites de exposición permitidos.

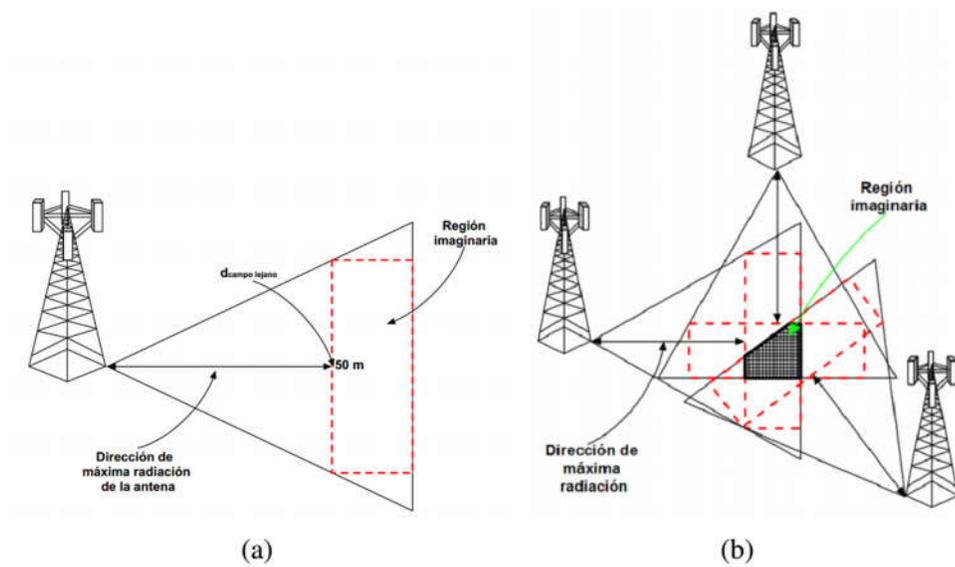


Figura 22: Zonas imaginarias para una(a) y múltiples (b) topologías

Esta propuesta de medición posee un punto difícil de conseguir, ya que tal como el procedimiento indicado en la Normativa, se basa en las distancia desde la base de la antena hasta el punto de medición.

<sup>26</sup> Anexos, pág. 85

“Las conclusiones sobre esta metodología de medición indican que si bien no está estandarizada, pretende facilitar la tarea de medir si los sistemas radiantes están cumpliendo los niveles máximos permitidos propuestos por la autoridad. Y en base a los resultados obtenidos, se puede concluir que a pesar de las inevitables variaciones e incertidumbres asociadas a las mediciones, es claro que todos los lugares medidos cumplen ampliamente con los límites de exposición a radiación establecidos en la Resolución Exenta 403” (23).

## 5.2 MEDICIÓN DE SAR

Es importante señalar que en la legislación vigente no existe un protocolo de medición de SAR<sup>27</sup>, en su lugar se encuentran tan sólo los niveles de radiación permitidos. El trabajo de fiscalización se restringe a un acto de confianza hacia lo reportado por los operadores, información correspondiente a los datos entregados a su vez por los fabricantes. Es así que debiera ser imperativo por parte de la autoridad, mejorar el sistema de homologación de los equipos usados comercialmente.

En los casos donde la exposición a los campos electromagnéticos es no uniforme y en consecuencia la densidad de potencia incidente no pueda ser medida, el SAR es la única unidad de medida que permite cuantificar de alguna manera la exposición a RF. Por lo general las mediciones de SAR se realizan solamente en laboratorios de investigación debido a la complejidad del proceso en sí, además de requerir equipamiento y condiciones especiales (24).

Existen cuatro técnicas básicas apropiadas para medición de SAR en campo cercano, ya sea en sistemas biológicos así como en modelos fantasma<sup>28</sup>:

1. Medición de la tasa de cambio de temperatura con sondas que no producen interferencia.
2. Técnicas calorimétricas.
3. Técnicas termográficas.
4. Sondos de campo eléctrico implantables.

---

<sup>27</sup> Índice relacionado a la radiación electromagnética emitida por los equipos móviles

<sup>28</sup> El modelo fantasma y su uso se describen en la página 67

**1.- Técnica de sonda de temperatura sin interferencia:** Los sistemas de alta resolución utilizan termistores (sensor resistivo de temperatura) que pueden medir de forma fiable cambios de temperatura desde 0,01°C en campos electromagnéticos de alta frecuencia (sobre 100 MHz). En este procedimiento se debe mantener el tiempo de exposición al mínimo, con la intención de acotar el error y que este no aumente en una medición más extensa. El aumento de temperatura se mide en °C por minuto y esta se relaciona con el SAR mediante la siguiente expresión.

$$1^{\circ}\text{C}/\text{min} = 58.6 \text{ W/kg}$$

Esta técnica es la más precisa para evaluar la distribución de SAR en los sujetos de prueba, sin embargo su principal desventaja es el tiempo requerido para definir el SAR en cuerpos geométricos grandes o complejos. Con la aparición de los sistemas con múltiples sensores de temperatura este problema ha sido reducido en gran medida.

**2.- Técnicas Calorimétricas:** Estas son extremadamente útiles en la medición de SAR de cuerpo completo para los sujetos de prueba. En la práctica se utilizan dos variantes: *twin-well* y *dewar*.

La *calorimetría twin-well* produce resultados precisos y requiere poco esfuerzo del experimentador después de la calibración y configuración inicial. Sus dificultades incluyen los largos tiempos de ejecución para realizar una medición (aproximadamente 1 día para un roedor grande), la complejidad de múltiples lecturas del par termoeléctrico<sup>29</sup> (thermocouple) que dificultan la detección de fallas en los pares termoeléctricos, y su costo es relativamente alto.

La *calorimétrica dewar* es bastante barata, simple (calibración y errores de operación se resuelven fácilmente), y requiere un tiempo relativamente corto para obtener una lectura (desde 30 minutos para un ratón a 1 hora para una rata). Esta técnica permite determinar el SAR de manera exacta.

---

<sup>29</sup> sensor para medir temperatura

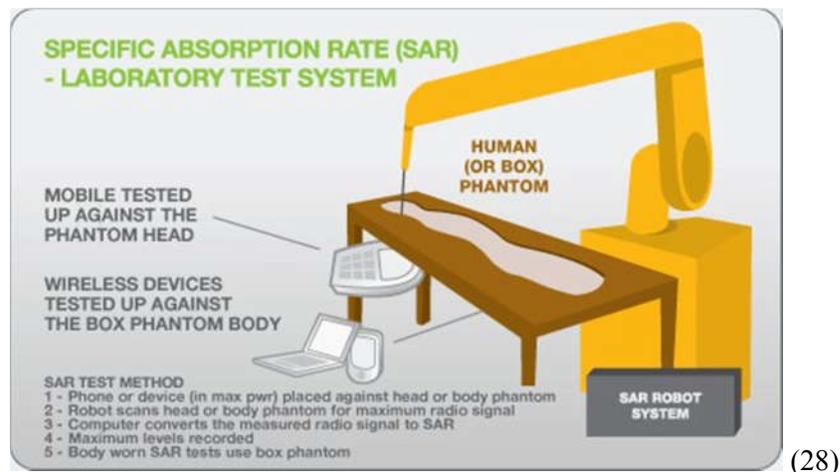
**3.- Técnicas termográficas:** Una cámara de exploración termográfica se puede utilizar para proporcionar información detallada en un corto tiempo sobre la distribución de SAR en cuerpos y modelos fantasma. El cuerpo seleccionado se somete a campos electromagnéticos, tan pronto finaliza la exposición se debe realizar la lectura termográfica (medición). Esta lectura se procesa y se obtiene (calcula) fácilmente el SAR promedio. El personal de la Universidad de Washington ha desarrollado una técnica, que se describe en detalle en (25), la cual ha demostrado su utilidad en la evaluación de la distribución de SAR tanto en animales de laboratorio como en modelos fantasma. El procedimiento originalmente implicó el uso de una delgada hoja de plástico para facilitar la separación de las distintas secciones del modelo fantasma; Así, el procedimiento se limita a los modelos simétricos que son expuestos a un campo de polarización lineal (campo eléctrico paralelo a la interfaz) para evitar la interrupción de las corrientes inducidas que normalmente fluyen de forma perpendicular al plano medio de separación (25). Sin embargo, para las mediciones de campo cercano el procedimiento se modificó mediante la sustitución de la lámina de plástico por una pantalla de seda, permitiendo así una separación fácil y sin pérdida de continuidad eléctrica (26). La principal desventaja de esta técnica es el alto costo del equipo requerido.

**4.- Sondas de campo eléctrico implantables:** Este sistema puede ser utilizado para determinar el campo eléctrico en un cadáver o modelo fantasma expuesto a los campos de RF. De esta manera el SAR se obtiene midiendo el valor del campo eléctrico y conociendo las propiedades dieléctricas del sujeto expuesto. Sus ventajas son la lectura instantánea (lo que permite determinar la distribución de SAR mediante técnicas de exploración) y la precisión de las mediciones en campos de baja intensidad (es por lo menos 10 veces más sensible que cualquier otra técnica discutida previamente). Sus principales problemas son la rigidez de la sonda (requiere la inserción directa en el sujeto expuesto) y la limitación en el rango de frecuencias. El uso de sondas ortogonales simplifica las mediciones.

## EL USO DE MODELOS FANTASMA PARA MEDICIÓN DE SAR:

El SAR puede ser medido en animales, cadáveres y modelos fantasmas, siendo este último muchas veces más conveniente, más reproducible y con una alta precisión. El procedimiento consiste en hacer un molde de espuma transparente con la forma del modelo a investigar, este molde se rellena con un material líquido de propiedades eléctricas equivalentes (27) al tejido humano. Los investigadores del Departamento de Medicina de Rehabilitación, en la Universidad de Washington, han desarrollado materiales para simular los músculos, el cerebro, la grasa y los huesos para distintos rangos de frecuencia (25).

A continuación se describe el procedimiento de medición de SAR para cabeza y cuerpo mediante un modelo fantasma.



### Medición de Cabeza – Test SAR al interior de una cabeza fantasma (head phantom):

- El teléfono móvil es posicionado contra la cabeza fantasma y encendido a su máxima potencia.
- El robot de precisión mueve el sensor RF a través de la cabeza fantasma midiendo el nivel de la señal de radiofrecuencia.
- El computador analiza los datos convirtiendo los niveles de señal de radiofrecuencia en su equivalente SAR [W/kg].
- El test completo es realizado para todas las frecuencias de operación y utilizando diferentes posiciones para el teléfono móvil.

- La medición de mayor valor es utilizada como el SAR que ese equipo móvil induce en los tejidos de la cabeza fantasma.

#### Medición de Cuerpo – Test SAR al interior de un cuerpo fantasma (body [box] phantom)

- El teléfono móvil es posicionado contra el cuerpo fantasma y encendido a su máxima potencia.
- El robot de precisión mueve el sensor RF a través del cuerpo fantasma midiendo el nivel de la señal de radiofrecuencia.
- El computador analiza los datos convirtiendo los niveles de señal de radiofrecuencia en su equivalente SAR [W/kg].
- La medición de mayor valor es utilizada como el SAR que ese equipo induce en los tejidos del cuerpo fantasma.

Vale la pena mencionar que este tipo de medición se hace extensible a otros tipos de dispositivos inalámbricos tales como *laptops* o *data cards*.

Un ejemplo real de medición de SAR es el realizado en Finlandia (STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority) (21), el cual entrega como resultado un listado de las mediciones para distintos teléfonos móviles junto con los valores proporcionados por los fabricantes, permitiendo así su comparación.<sup>30</sup>

Es necesario aclarar que las mediciones realizadas por la STUK se enfocan en medir el nivel de SAR en la cabeza, con un límite máximo de 2 W/kg.

---

<sup>30</sup> Para acceder al listado completo, revisar referencia.

Model of phone	SAR measured by STUK [W/kg]	SAR reported by manufacturer [W/kg]
<b>Apple</b>		
iPhone 4	1,07	0,93
iPhone 4S	0,712	0,988
<b>LG</b>		
LG Optimus L7	0,709	0,76
<b>Nokia</b>		
Nokia 2330 Classic	0,88	0,98
Nokia 6100	0,61	0,60
Nokia Lumia 710	0,993	1,3
Nokia Lumia 820	0,537	0,79
<b>Samsung</b>		
Samsung C3050	0,48	0,709
Samsung E1080	0,70	0,645
Samsung Galaxy Ace	0,70	0,84
Samsung GT-SC5230	0,70	0,531
<b>Siemens</b>		
Siemens A55	0,45	0,56
Siemens A60	0,75	0,67
<b>SonyEricsson</b>		
SonyEricsson F305	0,65	0,67
SonyEricsson J230i	0,70	0,98
SonyEricsson J300i	1,31	1,02
SonyEricsson K500i	0,53	0,53
<b>ZTE</b>		
ZTE Blade	0,94	1,35

### **5.3 COMENTARIOS DE LA EXPERIENCIA PRÁCTICA**

Este capítulo ha servido para acercarse a la experiencia real de medición, la cual no queda exenta de observaciones y posibles cambios, partiendo por mejorar el método presentado en la normativa vigente con el fin de asegurar que la medición real se realice de la manera más exacta posible, disminuyendo el margen para los errores humanos, estandarizando procesos, y dando alternativas a situaciones en las que, por más que se quiera, no se puede cumplir con lo solicitado

En la instrumentación se considera importante definir el tipo de antena a utilizar para las mediciones, esto pues cada antena posee distintas características de funcionamiento. En particular para las mediciones de densidad de potencia y campo eléctrico la empresa consultada utiliza las antenas direccionales tipo Yagi, debido a que poseen una relación frente-espalda bastante alta lo que da una mayor confiabilidad a las mediciones, pues se evita que ondas ubicadas fuera del foco de la antena se introduzcan en su campo de acción. Cabe señalar la obligación de usar antenas directivas.

Se sugiere la fiscalización periódica de los instrumentos de medición por parte de la autoridad regulatoria, con el objetivo de asegurar la correcta calibración de los equipos y así contar con la seguridad que los datos obtenidos por estos se encuentren lo más ajustados a la realidad.

En función de asegurar un mínimo de conocimiento teórico y práctico sobre antenas y ondas electromagnéticas entre quienes realizan las mediciones, se propone realizar evaluaciones o programas de capacitación, para certificar que estas personas posean una base suficiente que les permita enfrentar de manera exitosa los distintos escenarios en el proceso de medición.

Por otro lado, el año 2011 se liberó la recomendación UIT-K.83 (29), la cual tiene por objetivo sentar las bases para la implantación de sistemas de medición continua de emisiones electromagnéticas, con el propósito de dar mayor tranquilidad y seguridad a la población, mostrando que los campos se encuentran bajo control y dentro de los límites previstos. Esto se lograría, con el sistema de medición funcionando, permitiendo el acceso al público en tiempo real a la información sobre los niveles de densidad de potencia (o su equivalente en intensidad de campo electromagnético). Por ejemplo si algún vecino desea conocer los niveles de radiación a los que se encuentra expuesto, basta con tener la referencia geográfica para así obtener la información requerida.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Las emisiones de radiación electromagnética producidas por las antenas de comunicación celular generan muchas dudas e inseguridades en parte de la población. Más aún cuando no se logra un consenso global en la materia ya que los estudios internacionales no han permitido esclarecer completamente sus efectos a largo plazo, debido a que estas tecnologías siguen siendo relativamente jóvenes.

Los valores límite establecidos en la legislación nacional buscan resguardar la salud de la ciudadanía, protegiéndola con restricciones de mayor exigencia que las sugeridas tanto por la ICNIRP como la IEEE.

El presente estudio ha servido para complementar la información que entrega la normativa sobre el índice SAR, también ha servido para exponer distintos métodos de medición de éste, permitiendo comprender que existe un alto grado de dificultad para realizar la medición de este indicador, tanto por las condiciones ambientales así como por el factor económico.

Un estudio realizado en Finlandia (21) ha comprobado que los valores de SAR entregados por los fabricantes, no siempre corresponden a los valores obtenidos en las pruebas de laboratorio, los cuales siempre se mantienen dentro de los límites establecidos.

Se rescata el concepto de *densidad de potencia acumulativa*, esto es cuando intervienen las emisiones de múltiples antenas en un mismo punto. En el caso del SAR, no se ha encontrado información respecto a un SAR *acumulativo*, el cual debiera considerarse como producto de la radiación proveniente de múltiples equipos portátiles hacia un mismo punto. Esta situación tiene su punto más álgido en los lugares de alta concurrencia tanto por el tiempo de permanencia de las personas en dichos lugares.

La entrevista realizada al Ingeniero sr. Italo Mazzei ha servido como excusa para hablar del procedimiento de medición y contrastarlo con la experiencia real, dejando en claro la necesidad de mejorar el actual sistema de medición. En el proceso de investigación se encontró una propuesta de medición elaborada por un grupo de la Universidad de Concepción, que tiene como fin mejorar el procedimiento vigente a la fecha, el cual merece ser considerada en la elaboración de la futura normativa.

## **TRABAJO FUTURO**

Dadas las circunstancias actuales de la normativa (Anteproyecto de ley ha sido aplazado hasta el 2016), se propone como trabajo futuro y a nivel del Departamento de Ingeniería Eléctrica, coordinar acciones de apoyo hacia la División Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente en la elaboración de una normativa de calidad ambiental. Enfocada tanto a la mejora del proceso de medición, así como también aumentar la comprensión y entendimiento de lo que realmente significan la Densidad de Potencia y el SAR. Comprender el impacto de la Densidad de Potencia conjunta, y de manera análoga propiciar el estudio y experimentación de los efectos de SAR conjunto.

Una propuesta interesante sería la creación de un laboratorio de medición de SAR, el cual podría tener como foco inicial la homologación de equipos celulares utilizados en el país. Continuar con la elaboración de variadas pruebas y estudios, ya sea con uno o varios equipos de forma simultánea, y de esta manera ampliar el conocimiento que existe sobre los efectos que los CEM provocan en la salud. A posterior, como servicio a la comunidad, impartir cursos o talleres que expliquen y enseñen sobre la radiación electromagnética celular y el electromagnetismo en general.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Cheng, David K.** Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería. s.l. : Pearson - Educación.
2. **otros, Cardama Aznar y.** Antenas 2º edición. s.l. : Alfaomega, 2004.
3. **Subtel.** Que es Subtel ? [En línea] <http://www.subtel.gob.cl/2013-09-02-15-33-47>.
4. **OMS.** *Marco para el Desarrollo de Estándares de CEM Basados en la Salud / FRAMEWORK FOR DEVELOPING HEALTH-BASED EMF STANDARDS.* Marco para el Desarrollo de Estándares de CEM Basados en la Salud.
5. **SUBTEL.** LeyDeTorres. [En línea] <http://antenas.subtel.gob.cl/LeyDeTorres/protocolos>.
6. **MINSEGPRES.** Decreto Supremo N°93/95 - "Reglamento de Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión".
7. **Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.** *Resolución Exenta N°3103.*
8. **MMA - Ministerio del Medio Ambiente.** *Expediente Público ROL 01/2012 - Norma de emisión de ondas electromagnéticas asociadas a equipos y redes para la transmisión de servicios de telecomunicaciones.* Norma de emisión de ondas electromagnéticas asociadas a equipos y redes para la transmisión de servicios de telecomunicaciones.
9. **IEEE.** *"IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz".*
10. **ICNIRP.** *"Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz)".*
11. **OMS.** EMF Project. [En línea] <http://www.who.int/peh-emf/project/intorg/es/index1.html>.
12. **ISCIII.** [En línea] <http://www.isciii.es/ISCIII/es/contenidos/fd-internacional/fd-colaboracion-internacional/iarc.shtml>.

13. **IARC.** [En línea] <http://www.iarc.fr/en/research-groups/index.php>.
14. —. Interphone. [En línea] [http://interphone.iarc.fr/interphone\\_results.php](http://interphone.iarc.fr/interphone_results.php).
15. **NCBI.** [En línea] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20483835>.
16. **BioInitiative - Working Group 2012.** *"BioInitiative 2012 - A Rationale for Biologically-based Exposure Standards for Low-Intensity Electromagnetic Radiation BioInitiative "*. 2012.
17. **bioINITIATIVE.** Conclusions. [En línea] <http://www.bioinitiative.org/conclusions>.
18. **SUBTEL.** "Resolución Exenta N° 403".
19. —. Resolución Exenta N°3103.
20. —. Ley N°20599.
21. **STUK.** [En línea] [http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/matkapuhelimet-jatukiasemat/en\\_GB/valvonta-matkapuhelimet/](http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/matkapuhelimet-jatukiasemat/en_GB/valvonta-matkapuhelimet/).
22. **European Commission.** *Implementation report on the Council Recommendation limiting the public exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)*. 2002.
23. **Gonzalo E. Saavedra, Jorge E. Pezoa y Sergio N. Torres.** Protocolo Para la Evaluación de Radiaciones No Ionizantes Emitidas por Antenas de Celulares. Concepción : s.n.
24. **Durney, Carl H.** RADIOFREQUENCY RADIATION DOSIMETRY HANDBOOK. 4° 1986.
25. **GUY, A. W.** Analyses of electromagnetic fields induced in biological tissues by thermographic studies on equivalent phantom models. 1971.
26. **GUY, A. W.** Engineering considerations and measurements. 1975. página 9 en AGARD Lecture Series No. 78 on Radiation Hazards..
27. **emf explained.** [emfexplained.info/?ID=25585](http://www.emfexplained.info/?ID=25585). [En línea] <http://www.emfexplained.info/?ID=25585>.
28. **emf Explained.** Video explicativo. [En línea] <http://www.emfexplained.info/?ID=25593>.

29. **UIT.** Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético. 2011. K.83.
30. **DICTUC.** *Estudio Comparativo de Normas de Radiación de Antenas Celulares Fijas.* 2012.
31. **OMS.** Worldmap5. [En línea] <http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Worldmap5.htm>.
32. **www.anwalt24.de.** [En línea] [http://www.anwalt24.de/rund-ums-recht/Anhang\\_1\\_26\\_BImSchV-d139558,13.html#](http://www.anwalt24.de/rund-ums-recht/Anhang_1_26_BImSchV-d139558,13.html#).
33. **SUBTEL.** Resolución Exenta N°3132.
34. **Gorricho Moreno, Mónica y Gorricho Moreno, Juan Luis.** "*Comunicaciones Móviles*".
35. **Gallegos Paz, Fernando Arturo.** "Software aplicativo para el análisis predictivo del comportamiento de los niveles de campo eléctrico y la distribución de potencia producida por las estaciones de telefonía móvil". Arequipa : s.n., 2009.
36. **Parlamento Europeo.** *Resolución del Parlamento Europeo, de 2 de abril de 2009, sobre las consideraciones sanitarias relacionadas con los campos electromagnéticos (2008/2211(INI)).*
37. **ICNIRP.** Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz).
38. **instituto ferroviario.** instituto ferroviario. [En línea] <http://www.institutoferroviario.cl/2012/06/metro-se-acerca-a-sus-mayores-densidades-historicas-registrando-hasta-7-pasajeros-por-m2/>.
39. **European Agency for Safety and Health at Work.** *Council Recommendation 1999/519/EC on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz).* 1999.
40. **SUBTEL.** "Decreto Supremo N°127".
41. **Wavecontrol.** "*Campos Electromagnéticos y Telefonía Móvil, Mapas de Radiaciones Municipales*".

42. [En línea] <http://www.acma.gov.au/Citizen/Stay-protected/My-mobile-world/Mobiles-and-your-health/mobile-telephony-your-health-regulation-of-electromagnetic-radiation-faqs>.
43. **GUY, A. W.** Quantitation of induced electromagnetic field patterns in tissue and associated effects. 1974. Página 203 en *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*, Czerski et al., Eds..
44. **EMF Wise.** [En línea] <http://www.emfwise.com/tableofeffects.php>.
45. **Banco Mundial.** [En línea] <http://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI>.
46. **EMF Wise.** EMF Wise - formulas. [En línea] <http://www.emfwise.com/formulas.php>.

## ANEXOS

### TABLA COMPARATIVA “S” EN PAÍSES OCDE

A continuación se muestran las normativas vigentes y sus valores a 800 y 2700 MHz para los países miembros de la OCDE, estos datos tienen como fuentes principales (30) y (31) en las cuales se puede encontrar una recopilación de las normativas relacionadas con nuestro estudio<sup>31</sup>.

Tabla 18: Valores de Normativas (Densidad de Potencia) de países OCDE

Países OCDE	Norma	Valor Regulación		800 MHz [W/m <sup>2</sup> ]	2700 MHz [W/m <sup>2</sup> ]
Alemania (32)	Grenzwerte der 26.BImSchV	400 - 2000 [MHz]	1,375 * $f^{(1/2)}$ [V/m] ***	4,03*	10,08*
Australia	AS/NZS 2772.1:1999	10 - 400 [MHz] 400 -2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] $f/200$ [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Austria	ÖVE/ÖNORM E 8850 2006	10 - 400 [MHz] 400 -2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] $f/200$ [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Bélgica	Arrete Royal du 10 Aout 2005	400 - 2000 [MHz]	$f/800$ [W/m <sup>2</sup> ]	1*	2,5*
Canadá	Safety Code 6	30 - 300 [MHz] 300 - 1500 [MHz] 1500 [MHz] - 150 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] $f/150$ [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	5,3	10
Chile	Norma Técnica N° 403 30 de Abril, 2008	100 [ $\mu$ W/cm <sup>2</sup> ] en general 10 [ $\mu$ W/cm <sup>2</sup> ], zonas especiales; hospitales, jardin infantil, asilos.		1**	1**
Dinamarca	ICNIRP	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] $f/200$ [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Eslovenia	Directive 1999/5/EC of the European Parliament	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] $f/200$ [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
España	Real Decreto 1066/2001	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] $f/200$ [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10
Estados Unidos	IEEE C95.1-2005	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 100 [GHz]	2 [W/m <sup>2</sup> ] $f/200$ [W/m <sup>2</sup> ] 10 [W/m <sup>2</sup> ]	4	10

<sup>31</sup> Dichos datos se encuentran actualizados a Mayo del 2012, ya sea porque no ha habido actualizaciones de las mismas o por que el acceso es restringido, en algunos casos incluso se debe realizar un pago de al menos 100USD, lo que se encuentra completamente fuera del presupuesto de este proyecto.

Estonia	Council Recommendation 1999/51/EC of 12 July 1999	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 150 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Finlandia	ICNIRP	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Francia	Décret n°2002-775 du 3 mai 2002	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Grecia	Hellenic Republic Law no. 3431	400 -2000 [MHz] 2 - 3 [GHz]	$f/333$ [ $W/m^2$ ] 6 [ $W/m^2$ ]	2,4	6
Holanda	Directive 1999/5/EC of the European Parliament	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Hungría	Council Recommendation 1999/51/EC of 12 July 1999	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 150 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Irlanda	ICNIRP	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Islandia	Directive 1999/519/EC	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Israel	Non Ionazing Radiation Law, 2006	400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	$f/2000$ [ $W/m^2$ ] 1 [ $W/m^2$ ]	0,4	1
Italia	Governmental decree (Italy 2003)	3 [MHz] - 300 [GHz]	0,1 [ $W/m^2$ ]	0,1	0,1
Japón	ICNIRP	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Corea	ICNIRP	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Luxemburgo	ITM-CL 179.4 10 de mai 2006	3 [V/m]***		0,0238	0,0238
México	Decreto 10071 del 2 de marzo de 2007	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Noruega	ICNIRP	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Nueva Zelanda	AS/NZS 2772.1:1999	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Polonia	Regulation of the Minister of Environment of 30 October 2003	0,15 - 3 GHz 3 - 300 GHz	6,67 [V/m] *** 0,053f+6,67 [V/m]	0,118	0,118
Portugal	Portaria n.o 1421/2004	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10

Reino Unido	Nrpb Vol 15 N°2 2004	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
República Checa	Decreto Gubernamental N° 480/2000	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
República Eslovaca	Directive 1999/5/EC of the European Parliament	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Suecia	Radiation Protection Ordinance (1988:293) SSI FS 1995:3	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 150 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10
Suiza	Swiss ordinance (Switzerland 1999)	900 [MHz] 1800 [MHz] Dual	4 [V/m] (0,042 [ $W/m^2$ ]) 6 [V/m] (0,095 [ $W/m^2$ ]) 5 [V/m] (0,066 [ $W/m^2$ ])	0,042*	0,095*
Turquía	ICNIRP	10 - 400 [MHz] 400 - 2000 [MHz] 2 - 300 [GHz]	2 [ $W/m^2$ ] $f/200$ [ $W/m^2$ ] 10 [ $W/m^2$ ]	4	10

(\*) Extrapolación de normas para comparar emisiones en 800 y 2700 MHz en países que no consideren estos valores.

$$(**) 1 \left[ \frac{W}{m^2} \right] = 100 \left[ \frac{\mu W}{cm^2} \right]$$

$$(***) S = EH = E^2/377 = H^2 * 377$$

## **CÓMO REDUCIR LA EXPOSICIÓN AL SAR.**

Según lo mencionado por los fabricantes, los valores SAR de los teléfonos disponibles en el mercado no exceden los valores máximos establecidos. De todas formas, si usted desea reducir sus niveles de exposición lo mínimo posible, es bueno considerar las siguientes recomendaciones.

- Al momento de comprar un nuevo teléfono móvil, obtener la información sobre su valor máximo de SAR.
- Puede disminuir el nivel de radiación al que está expuesta su cabeza y oídos utilizando algún dispositivo cableado de manos libres.
- Mantener el teléfono móvil, por ejemplo, en un estuche sujeto al cinturón permite crear cierta distancia entre su cuerpo y el aparato, que por más mínima que esta pueda resultar, reduce considerablemente el nivel de exposición.
- En un área en que el aparato móvil se encuentre con mala señal, éste irradiará con mayor potencia en comparación a un área de mejor nivel de recepción.

## PENETRACIÓN DE COMUNICACIONES MÓVILES

La tabla que se muestra a continuación corresponde al nivel de penetración de telefonía móvil para los países pertenecientes a la OCDE<sup>32</sup>. Dicho estudio fue realizado con datos actualizados al 2011 y presentado al público el año 2013. Por otro lado, la Figura 23 nos muestra cómo es el fenómeno de penetración de telefonía móvil para Latinoamérica en el año 2013.

Tabla 19: Penetración Telefonía Móvil Celular - Países OCDE

Table 4.7. Cellular mobile penetration, subscriptions per 100 inhabitants																			
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	CAGR 2009-11	CAGR 2000-11	
Australia	21.7	24.6	28.4	33.3	41.6	56.8	64.1	71.5	81.4	89.7	94.7	100.0	101.8	109.5	100.4	107.6	-0.87	9.03	
Austria	7.5	14.6	28.8	53.8	76.4	81.3	83.3	87.4	97.8	101.8	111.9	118.7	127.2	136.7	145.9	154.6	6.35	6.63	
Belgium	4.7	9.6	17.2	31.2	54.9	74.8	78.4	83.0	87.7	91.7	93.4	101.1	110.4	114.7	116.9	123.3	3.65	7.62	
Canada	11.6	14.0	17.7	22.7	28.4	34.3	38.3	42.0	47.0	52.8	57.6	61.6	66.3	70.6	75.7	79.4	6.07	9.79	
Chile	2.2	2.8	6.4	14.9	22.1	32.8	39.7	45.7	57.5	65.0	75.8	84.1	88.3	97.2	116.1	129.7	15.54	17.46	
Czech Republic	1.9	5.1	9.4	18.9	42.3	67.9	84.4	95.2	105.6	115.1	120.8	128.2	132.4	135.9	136.8	135.7	-0.09	11.17	
Denmark	25.0	27.3	36.4	49.4	63.1	73.9	83.3	88.4	95.6	100.6	107.2	115.5	119.4	123.8	125.9	128.6	1.92	6.68	
Estonia	4.2	10.0	17.7	28.1	41.9	53.9	64.7	77.6	92.9	107.3	123.4	140.3	141.5	116.8	138.8	139.0	9.09	11.52	
Finland	28.8	40.7	55.2	63.4	72.0	80.5	86.9	91.1	95.6	102.6	107.7	115.0	128.5	144.2	156.4	165.9	7.27	7.86	
France	4.1	9.6	18.7	34.2	48.9	60.5	62.6	67.2	71.3	76.4	81.5	86.8	90.4	95.4	100.3	105.2	5.00	7.22	
Germany	7.1	10.0	17.0	28.6	58.6	68.2	71.7	78.5	90.1	96.0	104.0	118.1	130.6	132.2	133.1	136.6	2.74	8.20	
Greece	5.0	8.7	19.0	35.8	54.3	72.7	84.8	93.7	100.0	112.1	124.5	145.0	168.4	179.9	131.0	128.7	+15.41	8.16	
Hungary	4.6	6.9	10.1	15.6	30.1	48.8	67.8	78.4	86.3	92.4	99.0	109.7	121.8	117.7	120.1	117.2	-0.18	13.15	
Iceland	17.2	24.3	38.7	62.3	76.5	82.6	90.7	96.7	99.1	102.8	106.1	104.7	105.5	106.4	107.3	107.9	0.68	3.18	
Ireland	8.0	14.0	25.5	42.6	53.1	71.7	79.4	85.6	93.1	101.3	108.7	113.9	113.6	115.4	117.8	122.5	3.04	7.89	
Israel	0.0	0.0	0.0	49.5	69.4	85.2	95.6	98.6	105.7	111.5	118.7	124.6	126.2	127.6	125.3	126.3	-0.52	5.99	
Italy	11.3	20.7	35.7	52.8	74.3	89.7	92.9	98.4	108.6	122.6	136.4	151.8	151.0	149.6	154.8	157.9	2.74	7.10	
Japan	21.4	30.3	37.4	44.9	52.6	58.8	63.6	67.9	71.6	75.5	79.6	84.0	87.8	88.0	93.3	99.6	6.37	5.97	
Korea	7.0	15.0	30.2	50.3	57.0	61.3	67.9	70.2	76.2	79.7	83.1	89.5	93.2	97.5	102.7	105.5	4.02	5.75	
Luxembourg	10.9	16.0	30.6	48.3	69.4	97.9	105.9	119.2	140.9	154.5	151.0	142.3	144.5	144.5	143.3	147.3	0.95	7.08	
Mexico	1.1	1.9	3.5	8.0	14.3	21.8	25.7	29.5	37.4	45.4	52.9	63.0	70.7	77.4	84.4	86.6	5.75	17.77	
Netherlands	6.5	10.8	21.3	43.0	69.1	71.7	73.1	80.8	97.8	99.8	104.4	112.7	125.5	125.1	124.2	130.9	2.27	5.98	
New Zealand	12.7	18.7	32.8	40.1	56.5	62.1	64.0	64.3	73.8	85.1	90.6	100.1	106.9	108.4	107.4	109.1	0.29	6.15	
Norway	28.8	38.1	46.7	59.7	72.2	79.6	83.5	89.0	96.6	102.9	104.5	107.0	109.3	110.9	114.5	115.0	1.80	4.31	
Poland	0.6	2.1	5.0	10.2	17.6	28.1	36.4	45.6	60.5	76.4	96.4	108.6	115.2	117.4	122.0	130.2	5.28	19.93	
Portugal	6.6	14.9	30.4	45.9	65.2	77.5	88.8	95.8	100.7	107.8	115.6	127.0	140.8	151.0	154.9	157.7	2.20	8.36	
Slovak Republic	0.5	3.7	8.6	12.3	24.0	39.9	54.4	68.4	79.4	84.3	90.8	112.4	102.1	101.5	109.1	110.0	4.10	14.86	
Slovenia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.7	88.3	92.6	87.9	90.6	95.5	101.6	102.9	103.6	105.6	1.33		
Spain	7.6	10.9	17.8	37.3	59.5	72.8	81.2	88.6	90.5	98.4	103.7	107.9	108.8	111.2	111.5	114.0	1.29	6.10	
Sweden	28.2	35.8	46.4	57.9	71.8	80.7	89.1	98.3	97.7	100.8	105.8	110.6	118.1	126.4	135.3	141.8	5.93	6.38	
Switzerland	9.3	14.7	23.8	42.7	64.3	72.4	78.1	83.6	84.2	91.1	98.4	107.7	115.4	119.5	123.9	128.6	3.75	6.90	
Turkey	1.3	2.6	5.6	12.3	23.4	28.3	35.3	41.7	51.2	63.6	75.9	88.3	92.6	87.1	84.6	88.3	0.69	12.82	
United Kingdom	11.7	14.5	22.2	40.8	68.0	75.7	83.5	88.8	100.3	109.2	115.7	121.0	125.0	129.9	130.4	130.1	0.08	6.08	
United States	16.3	20.3	25.1	30.8	38.8	45.1	49.2	55.3	63.0	68.8	76.8	82.8	85.8	89.3	92.0	93.0	2.08	8.28	
OECD	10.8	15.2	21.7	31.9	45.0	53.5	58.9	64.6	72.3	79.4	87.0	95.0	99.8	102.7	105.5	108.8	2.92	8.35	

Notes: Data for Estonia (2008, 2009 and 2010) and for Israel (2010) are estimated.

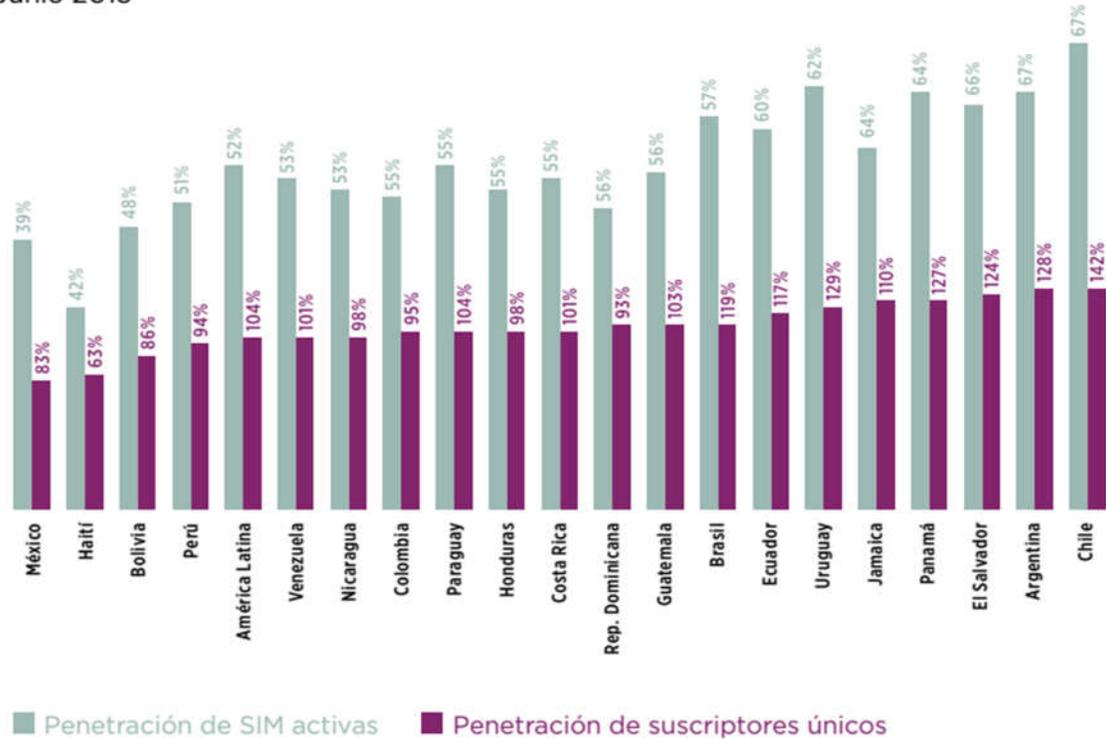
StatLink <http://dx.doi.org/10.1787/888932801489>

<sup>32</sup> OECD Communications Outlook 2013

Figura 23: Penetración Móvil, Latinoamérica 2013

## SIM ACTIVAS Y SUSCRIPTORES ÚNICOS

Junio 2013

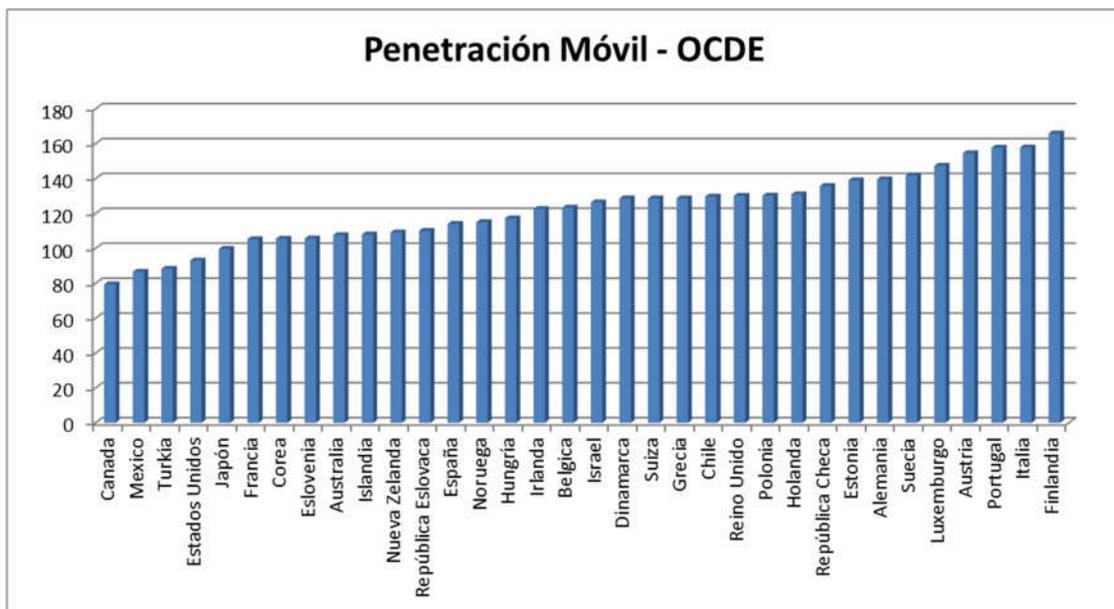
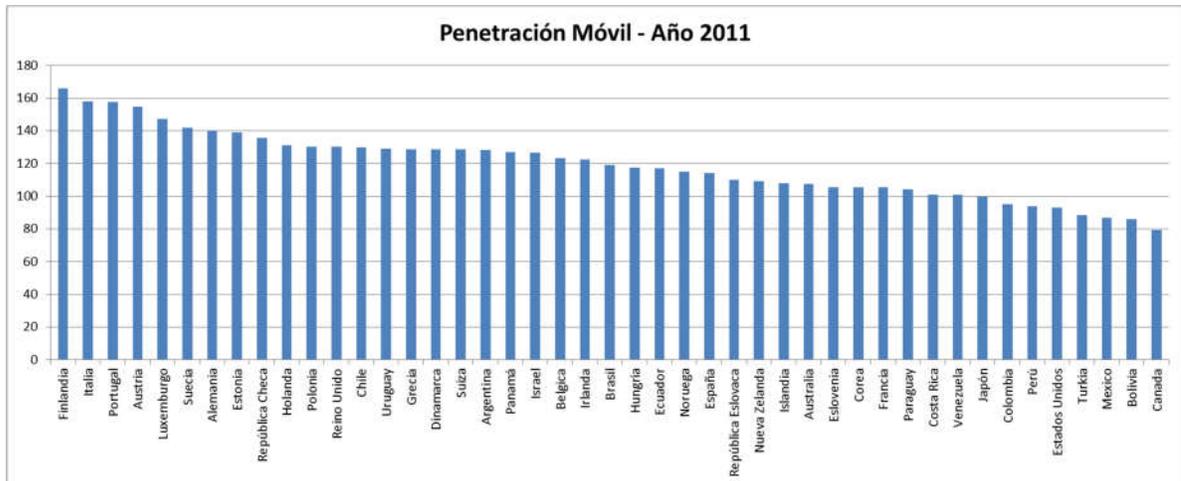


Fuente: GSMA Intelligence

33

Con los datos anteriores podemos tener un gráfico que integre los índices de penetración móvil en los países de Latinoamérica junto con los países de la OCDE. El error inherente a la obtención del índice en fechas distintas se hace a un margen, pues la tabla generada se utiliza para efectos referenciales a nivel macro.

<sup>33</sup> Economía Móvil América Latina 2013, GSMA.



En el caso de los países miembros de la OCDE, se puede apreciar que quienes cuentan con una regulación más estricta en comparación a la recomendación ICNIRP (Grecia, Bélgica, Chile, Israel, Polonia, Italia, Suiza, Luxemburgo), son países que poseen un índice de penetración móvil mayor a 120, los que van desde 123,3 (Bélgica) hasta 157,9 (Italia).

## FÓRMULAS DE CONVERSIÓN

Las siguientes fórmulas son utilizadas para la conversión de unidades<sup>34</sup>

- ❖ Unidades de Densidad de Potencia:  $\text{mW}/\text{cm}^2$  a  $\text{W}/\text{m}^2$  y,  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  a  $\text{mW}/\text{m}^2$ 
  - $1 \text{ mW}/\text{cm}^2 = 10,000 \text{ mW}/\text{m}^2 = 10\text{W}/\text{m}^2$
  - $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2 = 10,000 \mu\text{W}/\text{m}^2 = 10\text{mW}/\text{m}^2$
- ❖ Conversión de Densidad de Potencia ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) a Intensidad de Campo Eléctrico ( $\text{V}/\text{m}$ )
  - $\text{V}/\text{m} = (\text{W}/\text{m}^2 \times 377)^{1/2}$
  - Ejemplo:  $1 \text{ mW}/\text{m}^2 = (0.001 * 377)^{1/2} \text{ V}/\text{m} = 0.6 \text{ V}/\text{m}$
- ❖ Conversión de Intensidad de Campo Eléctrico ( $\text{V}/\text{m}$ ) a Densidad de Potencia ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
  - $\text{W}/\text{m}^2 = (\text{V}/\text{m})^2 / 377$
  - Ejemplo:  $0.6 \text{ V}/\text{m} = (0.6)(0.6)/377 \text{ W}/\text{m}^2 = 0.001 \text{ W}/\text{m}^2 = 1 \text{ mW}/\text{m}^2$
- ❖ Conversión de dBm a Potencia Transmitida (mW)
  - $\text{dBm} = 10 * \log_{10}(\text{mW})$
  - Ejemplo:  $31 \text{ mW} = 10 * \log_{10}31 = 15 \text{ dBm}$
- ❖ Conversión de Potencia Transmitida (mW) a dBm
  - $\text{mW} = 10^{(\text{dBm}/10)}$
  - Ejemplo:  $15 \text{ dBm} = 10^{1.5} = 31 \text{ mW}$
- ❖ Conversión de Potencia Transmitida (mW) a Densidad de Potencia ( $\text{mW}/\text{m}^2$ )
  - Se asume una distribución de potencia uniforme en todas las direcciones.
  - Densidad de Potencia =  $P/4\pi r^2$ , donde P es la potencia transmitida, r es la distancia, y  $4\pi r^2$  es el área de la superficie de una esfera.
  - Ejemplo:  $31 \text{ mW}$  transmitidos a  $1\text{m}$  de distancia corresponden a  $31/4*\pi*(1)^2 = \sim 2.5 \text{ mW}/\text{m}^2$

---

<sup>34</sup> <http://www.emfwise.com/formulas.php>

## INSTRUMENTACIÓN – EQUIPOS

Para realizar las mediciones de la manera más precisa posible se necesita un conjunto de instrumentos de alta calidad. La empresa consultada posee un set completo para medición de ondas electromagnéticas marca Aaronia<sup>35</sup>, este set cuenta con un espectrómetro, antena directiva de banda ancha, antena omnidireccional, pre amplificador y atenuador. Para obtener datos geográficos y de altitud se cuenta con una brújula y un altímetro. Una breve descripción y las características más importantes de estos elementos se muestran a continuación.

- Espectrómetro modelo Spectran 60105<sup>36</sup>

Rango de Frecuencia (min)	1MHz
Rango de Frecuencia (max)	9,4GHz
Detector de Máxima Potencia - Opcional (frecuencia máxima de uso)	10GHz
Máxima Potencia RF de entrada (Max Power at RF input)	+40dBm
Resolución de Ancho de Banda (min)/RBW (resolution bandwidth)	200Hz
Resolución de Ancho de Banda (max)/RBW (resolution bandwidth)	50MHz
Unidades dBm, dB $\mu$ V, V/m, A/m, W/m <sup>2</sup> (dB $\mu$ V/m etc. via PCsoftware)	ok
Datalogger Interno (tamaño). Expandible hasta 1MB (opcional)	64K
Tiempo Mínimo de Muestreo (Lowest SampleTime)	5mS
Precisión [típica] (Accuracy)	+/-1dB

Tabla 20: Especificaciones de Espectrómetro Spectran 60105

La calibración de los espectrómetros se realiza cada 2 años.

---

<sup>35</sup> <http://www.aaronia.com/>

<sup>36</sup> El DataSheet de este producto se encuentra en el link [http://www.aaronia.com/Datasheets/Spectrum\\_Analyzer/Spectrum\\_Analyzer\\_Aaronia\\_Spectran\\_HF-6000-Series.pdf](http://www.aaronia.com/Datasheets/Spectrum_Analyzer/Spectrum_Analyzer_Aaronia_Spectran_HF-6000-Series.pdf)



**Foto 1: Espectrómetro con Antena Omni-Direccional  
(OmniLOG 90200)**



**Foto 2: Espectrómetro con Antena  
Direccional de Banda Ancha**

- Antenas: son 2 las antenas utilizadas en las mediciones
  - OmniLog 90200, es una antena de banda angosta y debido a su rango de frecuencias se utiliza para las mediciones de las antenas celulares:
    - Diseño: Omni-Direccional
    - Impedancia Nominal: 50 Ohms
    - Rango de Frecuencia: 700MHz - 2,5GHz
    - Dimensiones (Largo/Ancho): 210 x 20mm
    - Peso: 70gr
  - 5.
    - HyperLog 6080, antena de banda ancha, que se utiliza para realizar el barrido inicial:
      - Diseño: Logarítmico-periódica
      - Rango de Frecuencia: 680MHz-10GHz
      - Impedancia Nominal: 50 Ohms
      - Ganancia: 5dBi
      - Factor de Antena: 22-44dB/m
      - Dimensiones (Largo/Ancho/Profundidad): (340x200x25) mm
      - Peso: 250gr

Se aconseja contar siempre con atenuadores, en nuestro caso utilizamos de 20 dB

Otros elementos más pequeños pero no menos importantes en el equipamiento de medición son los siguientes:

- Atenuadores de 20 dB. El espectrómetro tiene la opción de trabajar con distintos niveles de atenuación, es decir si se utiliza un atenuador de 20 dB el instrumento se configura para trabajar con esta atenuación sin afectar la medición realizada.



**Foto 3: Atenuador 20dB**

- Pre-Amplificador de 40 dB, rango de frecuencia 1MHz a 3 MHz.



**Foto 4: Pre Amplificador 40dB**

- Cable Calibrado. Debido a que los cables, así como otros elementos, se comportan de distintas maneras dependiendo de la frecuencia a la cual están operando, la empresa Aaronia ha tenido la claridad de incorporar en el software del espectrómetro las ecuaciones de comportamiento de sus cables de fabricación propia. De esta manera se asegura que la medición obtenida no será afectada por el comportamiento del cable.
- Brújula de precisión
- GPS
- Altimetro

Todos los aparatos e instrumentos utilizados deben ser sencillos y portables, para mayor comodidad y maniobrabilidad.

## **EMPRESAS CERTIFICADORAS DE DENSIDAD DE POTENCIA**

El registro de empresas certificadoras se genera a partir de la “Convocatoria para formar parte del primer registro de empresas prestadoras de servicios de medición referidos a instalaciones de servicios de telecomunicaciones que generan ondas electromagnéticas” (Subtel). En dicha convocatoria se presentan los requisitos y antecedentes que deben cumplir las empresas postulantes, el procedimiento de postulación y selección para la conformación del registro, finalizando con la descripción de la elaboración del registro.

A continuación los requisitos que las empresas interesadas en ser parte del registro debían cumplir:

- Tener personalidad jurídica vigente a la fecha de postulación.
- Demostrar experiencia comprobada en la prestación de servicios y/o proyectos relacionados con mediciones del espectro radioeléctrico y aplicación de parámetros asociados, en especial con mediciones en terreno de la densidad de potencia de estaciones base y procesamiento de la información recopilada.
- Contar con personal competente y calificado, condiciones que deberán estar debidamente documentadas.
- Disponer de la infraestructura física y técnica adecuada, entendiéndose por esto oficina, laboratorios, equipos, instrumentos, dispositivos y tecnología, asociados a la medición de los servicios correspondientes.
- Disponer de instrumental de medición en terreno adecuado, con los respectivos certificados de calibración al día entregados por el fabricante.
- Las empresas postulantes y sus socios, ejecutivos, miembros del directorio, profesionales, técnicos, no podrán tener participación mayoritaria en la propiedad o formar parte del directorio de alguna concesionaria o permisionaria de servicio de telecomunicaciones.
- Las empresas postulantes al Registro, deberán acreditar que cuentan con un servicio de medición a nivel nacional.

<b>Nombre Empresa</b>	<b>Rut</b>
<b>INVERSIONES Y ASESORIAS EN TELECOMUNICACIONES E INFORMATICA</b>	77666440-5
<b>INGENIEROS Y AUDITORES ASOCIADOS LIMITADA</b>	77355030-1
<b>INGENIERIA DICTUC S.A.</b>	96691330-4
<b>DYM EQUIPOS E INGENIERIA LIMITADA</b>	79941710-3
<b>LCC DISEÑO Y SERVICIOS CHILE LIMITADA</b>	76092865-8
<b>SOCIEDAD INTELEC LIMITADA</b>	77287250-K
<b>INGENIERIA MAZZEI LIMITADA</b>	77103550-7
<b>CARCAMO INGENIERIA LIMITADA</b>	77662850-6

**Tabla 21: Registro de empresas prestadoras de servicios de medición y certificación de densidad de potencia**

En (33) se presenta el registro de empresas certificadoras (Tabla 21) y también se deja en claro la vigencia de la inscripción en el Registro, la que tendrá una duración de tres años contados desde la fecha de publicación de la misma en el Diario Oficial. Dicha inscripción podrá ser renovada mediante la acreditación del cumplimiento de los requisitos establecidos en el procedimiento de postulación.

## DESARROLLO DE SUMATORIA PARA MÚLTIPLES DENSIDADES DE POTENCIA

$$\sum_{f=9 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_m} \leq 1 \quad \sum_{f=9 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_{rango}} \leq 1 \quad \frac{1}{S_{rango}} \sum_{f=9 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} S_f \leq 1$$

$$\sum_{f=9 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} S_f \leq S_{rango}$$

$$\sum_{f=9 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} S_f \leq S_m$$