

MEDICIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO MUESTRAL DE RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS NO IONIZANTES EMITIDAS POR ESTACIONES RADIO BASES (RBS), CIUDAD DE LA PAZ

MEASUREMENT AND STATISTICAL SAMPLE ANALYSIS OF NON-IONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATIONS EMITTED BY (RBS) RADIO BASE STATIONS, CIUDAD DE LA PAZ

Javier Marcelo Flores Monrroy *

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMO
<p>A través de un muestreo estadístico sobre emisiones no ionizantes emitidas por radio bases de telefonía celular RBS, y efectuando mediciones instrumentales de la densidad de potencia (segmento radiofrecuencias UHT) en determinados clusters de la ciudad de La Paz. (30 sitios y 301 datos) se determinaron diez intervalos de clase para la variable aleatoria discreta densidad de potencia. Estableciendo un rango total que va desde 0,0000 a 0,2133 mW.cm², que es menor al límite de exposición humana frente a radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia UHT generadas por RBS = 1,0 mW.cm² propuesto por la ATT nivel nacional y de otras instituciones internacionales afines.</p> <p>Por otra parte, la comparación del rango obtenido para las mediciones locales frente a los estudios de la FCC y NRPB, si bien pertenecen a otros lugares, momentos y tiempos. Abre la posibilidad para nuevos muestreos locales conducentes a perfeccionar las condiciones de medida de la densidad de potencia en su dependencia con el límite de exposición humana frente a radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia UHT generadas por RBS.</p> <p>PALABRAS CLAVE: Antena, espectro de radiofrecuencias RF, radiación no ionizante, límites permitidos emisión radiante de RBS, UHT, intervalo de clase estadístico.</p> <p>History of the article: Received 10/05/2018. Style review 25/05/2018. Accepted 15/06/2018.</p>	<p>Through a statistical sampling on non-ionizing emissions emitted by radio bases of RBS cellular telephony, and making instrumental measurements of the power density (UHT radiofrequency segment) in certain clusters of the city of La Paz. (30 sites and 301 data) ten class intervals were determined for the discrete random variable power density. Establishing a total range that goes from 0,0000 to 0,2133 mW.cm², which is lower than the human exposure limit against UHT radiofrequency electromagnetic radiation generated by RBS = 1.0 mW.cm² proposed by the ATT national level and other related international institutions.</p> <p>On the other hand, the comparison of the range obtained for the local measurements compared to the FCC and NRPB studies, although they belong to other places, moments and times. It opens the possibility for new local samplings leading to improve the conditions for measuring the power density in its dependence on the human exposure limit against UHT radiofrequency electromagnetic radiations generated by RBS.</p> <p>KEYWORDS: Antenna, RF radio frequency spectrum, non-ionizing radiation, permitted radiant emission limits of RBS, UHT, statistical class interval.</p>	<p>Através de uma amostragem estatística de emissões não-ionizantes emitidos pelas estações base de telefonia móvel RBS, e fazendo medições instrumentais de densidade de potência (segmento RF UHT) em alguns cachos da cidade de La Paz. (30 sites e 301 dados) dez intervalos de classe foram determinados para a densidade de potência variável aleatória discreta. O estabelecimento de uma gama total de 0,0000- 0,2133 mW.cm², o que é menos do que o limite de exposição humana à radiação eletromagnética de frequência rádio gerado por RBS UHT = 1,0 mW.cm² proposto pela Nivel nacional ATT e outras instituições internacionais relacionadas.</p> <p>Por outro lado, a comparação do intervalo obtido para as medidas locais comparou-se aos estudos de FCC e NRPB, embora pertençam a outros lugares, momentos e tempos. Ele abre a possibilidade de novas amostragens locais que levem a melhorar as condições de medição da densidade de potência em sua dependência do limite de exposição humana às radiações eletromagnéticas de radiofrequência UHT geradas pelo RBS.</p> <p>PALAVRAS-CHAVE: Antena, RF espectro de frequência de rádio, radiação não-ionizante, os limites de emissão radiantes permitidos RBS, UHT, classe estatística intervalo.</p>

INTRODUCCIÓN

En las torres de telefonía celular también conocidas como estaciones radio base¹, generalmente las antenas² de radio bases urbanas (RBS Rooftop), se ubican a cielo descubierto y sobre: techos, terrazas y/o laterales de edificios, etc. Mientras que las antenas emplazadas en terrenos abiertos (RBS Greenfield) se sitúan en torres o estructuras monopolo verticales.

En ambos tipos de RBS, las señales que recogen y/o envían las antenas se hallan en el espectro de radiofrecuencia RF, segmento menos energético del espectro electromagnético (en hercios de 3Hz a 300GHz), y longitud de onda ($\lambda > 100000$ km a 1mm). Por ejemplo, las radiofrecuencias que utilizan las antenas para la telefonía celular están aproximadamente entre 850 a 1900 (MHz)³, que de acuerdo con la clasificación del espectro

de radiofrecuencia RF se encuentra en la zona de Ultra Alta Frecuencia UHF (300 a 3000 MHz ($\lambda = 1$ m a 100mm), banda ITU 9. Zona caracterizada además por múltiples usos en (televisión, hornos, microondas, radioastronomía, telefonía móvil, redes inalámbricas, bluetooth, Zigbee radiodifusión digital, GPS, comunicación uno a uno walkie/talkies FRS y GMRS Servicio General de Radio Móviles). La energía de RF⁴ se convierte en calor, y esta energía cuando es absorbida por el cuerpo humano provoca efectos graduales. Así, entre 70 y 110 MHz, el cuerpo humano (dependiendo del tamaño de una persona) absorbe el máximo de energía con una distribución espacial compleja debido a los diferentes tejidos del cuerpo. A medida que aumenta la frecuencia de RF, la distribución de energía se concentra mucho más cerca de la superficie del cuerpo, llegando a los 3000 MHz casi todo la energía (calor) ataca las capas externas de la piel.

Actualmente en la ciudad de La Paz se han instalado un número significativo de RBS, situación que es alarmante para la población, considerando los riesgos potenciales que provocaría en la salud humana, una exposición continuada frente a este tipo de radiación calórica no ionizante. En consecuencia, frente a esta indecisión, ha

¹ Las RBS, están provistas de: antenas, elementos de control electrónico, un receptor GPS para sincronización, procesadores digitales de señales, transmisor de radio y fuentes de alimentación. De manera general estas antenas se constituyen en grupos de tres, con una antena utilizada para transmitir señales de radiofrecuencia (RF) a los teléfonos celulares, y las otras dos utilizadas para la recepción de RF de los teléfonos móviles. Tres grupos de estas antenas se instalan para orientarse en diferentes direcciones (sectores) a fin de proporcionar una cobertura de 360 grados.

² Conjunto de conductores eléctricos pasivos que convierten la potencia de radiofrecuencia RF, en campos electromagnéticos o captura éstos campos y los convierte a energía RF. Una antena de telefonía móvil es parte principal de una estación base fija, que permite la conexión de teléfonos móviles mediante ondas electromagnéticas RF, y a vez las antenas se comunican con la central de su propia red.

³ Megahercios.

⁴ Los estándares y lineamientos de exposición para niveles de RF, son publicados por organizaciones como la Comisión Internacional de Radiación No Ionizante (ICNIRP), el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y en Bolivia por la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes (ATT), quienes establecen límites de exposición humana contra los efectos de esta radiación y su absorción calórica.

surgido la inquietud de verificar físicamente, si estas emisiones, se encuentran dentro de los límites permitidos en las normas y reglamentos reguladores de nuestro país.

DESARROLLO

Objetivo: Desarrollar un muestreo estadístico sobre emisiones no ionizantes emitidas por radio bases de telefonía móvil celular RBS, efectuando mediciones instrumentales de la densidad de potencia (segmento radiofrecuencias UHF) en determinados clusters⁵ de la ciudad de La Paz.

Radiación desde las antenas de la torre RBS

Las estaciones radio base GSM850 transmiten en el rango de frecuencia de 824 a 849 MHz, según el Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias 614,00-928,00 MHz asignados en el plan nacional de frecuencias de nuestro país. Esta banda de frecuencia de 25 MHz está dividida en sub bandas de 10 MHz y bandas ampliadas, las cuales son asignadas a varios operadores. De esta manera habiendo varios portadores de frecuencia (de uno a tres) que se asignan a un operador con un límite superior máximo de banda de 10 MHz y si este operador puede subdividir sus portadores en sub bandas de 1,2 MHz de frecuencia, cada portador puede transmitir entre 10 a 20 Vatios (W) de potencia⁶. Por lo tanto, un operador transmite aproximadamente de 50 a 100 W de potencia. Es más si una estación RBS tiene entre dos a tres operadores ubicados en la misma parte superior de una torre, la potencia total transmitida podría estar entre 200 a 400 W, susceptible de aumentar a kW, si se utilizan antenas direccionales, desplazadas en dirección del haz principal.

Sobre esta potencia que transmiten las antenas RBS, se tienen determinados límites permitidos para la radiación electromagnética (segmento radiofrecuencias UHF, que son controlados por entidades regulatorias nacionales en coordinación con entidades internacionales como: la ICNIRP (International Comisión on No-Ionizing Radiation Protection) Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes y la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Instituto de Ingenieros Eléctricos y electrónicos.

Regulación nacional y coordinación internacional

La ATT,⁷ establece como medida precautoria un estándar técnico sobre los límites de exposición humana a radiación electromagnética de radiofrecuencias UHF generadas por RBS, que garantice la seguridad de las personas a través del cumplimiento obligatorio de normas por parte de los operadores de telecomunicaciones, y permite al mismo tiempo preservar el desarrollo armónico del sector. Así por resolución administrativa 2002/0313

⁵ Red de celdas de radio, cada una con su propio transmisor RBS. Iguales a un conjunto en racimo de elementos soportados por un eje en común.

⁶ Cantidad de energía producida o consumida por unidad de tiempo, se mide en vatios (W) o en sus expresiones de múltiplos y submúltiplos del vatio. $W = (J.s^{-1})$.

⁷ Ex Superintendencia de Telecomunicaciones SITTEL, ahora Autoridad de regulación y fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes ATT, es la institución pública con independencia administrativa, supeditada por el Viceministerio de Telecomunicaciones dependiente del Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda, cuyo trabajo está orientado a "promover el derecho al acceso equitativo, universal y con calidad a las Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicación, Transportes y Servicio Postal para las y los bolivianos" et al ATT, 2018.

Recuperado de <https://www.att.gob.bo/content/misi/C3%B3n-y-visi/C3%B3n>.

de la ATT. Se han tomado en cuenta la medición de la **densidad de potencia** en áreas no controladas, en milivatios por centímetro cuadrado ($mW.cm^{-2}$). De acuerdo con este estándar técnico para las antenas RBS de telefonía móvil, transmisión de datos y servicios públicos del mismo tipo que operen en la banda de 1500 - 100000 MHz situadas en zonas urbanas, el límite en la densidad de potencia no debe exceder a **1,0 ($mW.cm^{-2}$)**.

Por otra parte las recomendaciones realizadas por la ICNIRP, IEEE y la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) - ASSO Agencia de Seguridad y Salud Ocupacional, respecto al límite de exposición humana a radiación electromagnética de radiofrecuencias UHF generadas por RBS, toma en cuenta dos grupos, el primero referido con el público en general (el cual es motivo de esta investigación), y como segundo grupo el ocupacional. La tabla 1, indica estos límites para ambos grupos y según cada institución.

Tabla 1
Comparativo: límite de exposición humana a radiación electromagnética de radiofrecuencias UHT generadas por RBS, grupos ocupacional y público

Frecuencia 1500 – 10000 [MHz]	Densidad de Potencia en $mW.cm^{-2}$			
	Ocupacional	IEEE	OSHA	ATT (Bolivia)
	5	10	10	5
	1,0	1,0	-	1,0

Fuente: Elaboración propia sobre información de: ICNIRP, IEEE, OSHA y ATT

Con relación al grupo ocupacional, según el Boletín para la Industria en General (OSHA 3573-09R/2015), la radiación no ionizante en condiciones ambientales normales en el rango de frecuencias de 10 MHz a 100 GHz. No debe ser superior a **10 $mW.cm^{-2}$** como promedio durante cualquier posible período de 0,1 hora (6 minutos). Estas recomendaciones se utilizan a nivel de exposición ocupacional, por lo tanto la normativa OSHA **no aplicaría a exposición al público en general.**

Interacción del cuerpo humano con radiofrecuencias (UHF)

- En el rango 300 MHz a 300 GHz de las radiofrecuencias UHT, la cantidad dosimétrica utilizada para registrar sus efectos sobre el cuerpo humano es el SAR Specific Absorption Rate-Índice de Radiación Específica Absorbida, que relaciona la energía de los campos electromagnéticos y su absorción por los diferentes tejidos humanos, expresada en unidades de vatios por kilogramo ($W.kg^{-1}$). Medida que se circunscribe a registros en laboratorio por no existir aparatos portátiles que pueda medir el SAR en ambientes públicos. Sin embargo esta desventaja en las mediciones del SAR, puede corregirse utilizando aparatos portátiles apropiados que establecen la cantidad dosimétrica de energía por unidad de área que es radiada desde una fuente (antena), es decir, la densidad de potencia⁸, expresada en $W.m^{-2}$ o $mW.cm^{-2}$.

⁸ La densidad de potencia S, relaciona el campo eléctrico y magnético de una radiación por medio de las expresiones válidas para el campo lejano zona o región donde el campo eléctrico y magnético tienen un carácter más de onda plana (ortogonales entre sí). Región que se encuentra a una distancia relativamente alejada de la antena o fuente de emisión. Para fines prácticos esta distancia es tres veces la longitud de onda de la señal:

$$\begin{aligned} S &= E \cdot H \\ E &= 377 \cdot H, \\ S &= E^2 / 377 \end{aligned}$$

S = Densidad de potencia – unidades de $W.m^{-2}$, $mW.m^{-2}$, E = Intensidad de campo eléctrico unidades de $V.m^{-1}$, H = Intensidad de campo magnético – unidades de $A.m^{-1}$

Procedimiento de medición

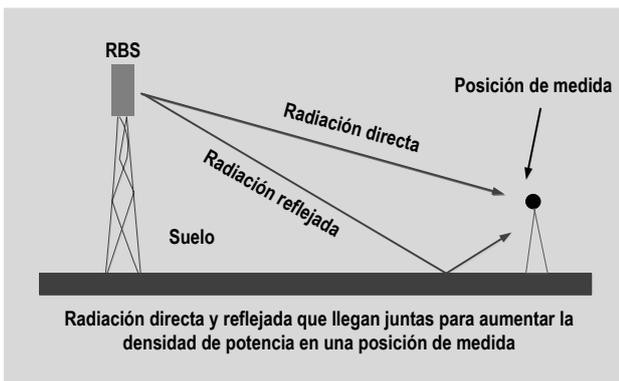
Las mediciones de densidad de potencia fueron obtenidas con el medidor de campo de banda ancha, Lutron Electronic EMF-819 de registro logarítmico periódico. Las mediciones de campo se llevaron a cabo en condiciones reales y solo se midieron las frecuencias de enlace descendente de las RBS para el servicio de GSM.

La antena fue dirigida en distintas orientaciones con el fin de recibir localmente densidades de potencia máxima, mediante capturas de retención de picos altos (peak hold) con respecto a su orientación, polarización, reflexión e interferencia. Para cada región de interés en banda estrecha (GSM850, GSM1900) la recopilación de datos se realizó durante un escaneo de 10 x 3 min, debido a que el estándar técnico de la ATT, indica que para la verificación de la densidad de potencia, las tomas de medidas para ambientes no controlados no deben superar un periodo continuo 30 minutos.

En las fotografías 1 y 2 se muestra la instalación del medidor de campo en dirección diagonal a las RBS.



Fotografías 1 y 2: Procedimiento de medición densidad de potencia de RBS urbanas. Crédito: JM. Flores M., 2017



Todas las mediciones se realizaron siguiendo el estándar técnico sobre límites de exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de la ATT y las recomendaciones de la (ICNIRP) Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No-Ionizantes.

La densidad de potencia se midió en (mW.cm⁻²) milivatios por centímetro cuadrado, en un total de 30 ubicaciones exteriores, levantando 301 datos. El límite máximo de detección es 1,0 mW.cm⁻² (0 dBm) por cada canal de densidad de potencia.

Selección de sitios

RBS en sitios de la zona central y sur de la ciudad por ser donde se ubica la mayor concentración poblacional próxima a núcleos comerciales y residenciales, además de tener una alta concentración de radiación producto de la cercanía entre antenas. Los sitios seleccionados para la medición, se subdividieron en clusters (red de dos o más RBS).

Procedimiento de medición

Antes de cada medición, se efectuó el reconocimiento visual del lugar de instalación y su sistema radiante. Además se tomaron fotografías panorámicas de las RBS en estudio.

Instrucciones seguidas:

1. Mediciones efectuadas en puntos accesibles al público donde y sea prácticamente permitido.
2. Ubicación del sensor de intensidad de campo a 1,6 m nivel del suelo, distancia desde la base de la torre o estructura de apoyo de la antena en observación 100 m.
3. Distancia mínima entre sonda y objetos no permanentes que contienen conductores o materiales magnéticos debe ser tres veces la dimensión mayor de éstos.
4. Distancia mínima entre sonda y objetos permanentes 1m.
5. Medir la componente resultante de la densidad de potencia del Campo Electromagnético (CEM).

Resumen estadístico de datos

El total de las mediciones se representa a partir de los intervalos según la regla de Sturges (1 + 3,322 Log₁₀ (N)), Tabla 2.

Tabla 2
Determinación de intervalos de clase

N Total de datos	Mín.	Max	Número de Intervalos (Sturges)	Número de Intervalos Redondeado	Amplitud de Intervalo
301	0,0121	0,2060	9,23	10	0,0194

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3, se muestran los diez intervalos, el rango de clase, la frecuencia absoluta y la marca de clase.

Tabla 3
Intervalo, rango, frecuencia absoluta y marca de clase para la densidad de potencia

Nº	Densidad de Potencia (mW.cm ⁻²)	Frecuencia Absoluta	Marca de Clase
	INTERVALOS	f₁	x₁
0	0,0000 - 0,0193	5	0,0097
1	0,0194 - 0,0387	17	0,0291
2	0,0388 - 0,0581	24	0,0485
3	0,0582 - 0,0775	29	0,0679
4	0,0776 - 0,0969	35	0,0873
5	0,0970 - 0,1163	51	0,1067
6	0,1164 - 0,1357	62	0,1261
7	0,1358 - 0,1551	49	0,1455
8	0,1552 - 0,1745	24	0,1649
9	0,1746 - 0,1939	3	0,1843
10	0,1940 - 0,2133	2	0,2037

Fuente: Elaboración Propia

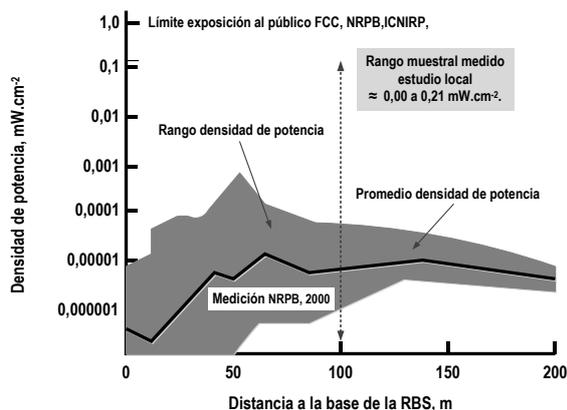
Análisis de resultados y comparación

Considerando que la densidad de potencia es una magnitud aleatoria discreta, porque es función variable del aumento de tráfico comunicacional en la telefonía celular y la transmisión de datos de las RBS. Así, del total de las mediciones por intervalos de clase, todas están por debajo del máximo propuesto por la ATT y otras entidades (tabla 1), para el límite de exposición humana frente a radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia UHF generadas por RBS = 1,0 mW.cm⁻². Estableciendo un rango total para las mediciones de este muestreo que va desde 0,0000 a 0,2133 mW.cm⁻².

No obstante, efectuando una revisión de las guías de seguridad sobre exposición humana frente a radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia UHF generadas por RBS de la (US Federal Communications Commission) FCC - Comisión Federal de las Comunicaciones USA, establece un límite inferior de 0,0002 mW.cm⁻² (valor frecuente cerca de una RBS moderna), hasta un límite superior de 0,01 mW.cm⁻² (máximo cerca de una RBS).

Por otra parte, el año 2000 la (UK. National Radiation Protection Board) NRPB⁹ - Consejo Nacional de Protección Radiológica del Reino Unido, Midió en 118 puntos los niveles de radiación de 17 RBS accesibles al público, La máxima exposición de todas las localizaciones fue 0,00083 mW.cm⁻². Cuando se incluyó radiofrecuencias procedente de todas las fuentes (teléfonos celulares, radio FM, televisión, etc.) la máxima densidad de potencia en cualquier localización estaba por debajo de 0,2% guía de ICNIRP para la exposición del público (0,002 mW.cm⁻²). Lo importante de la medición NRPB es la relación encontrada entre los rangos de la densidad de potencia y distancia a la base de la RBS, y su comparación con el rango medido en el estudio local,

De acuerdo con estos dos estudios, el rango de mediciones registradas en el muestro local estaría por encima del máximo límite propuesto por FCC (cerca de una RBS), y de igual manera de acuerdo con el estudio NRPB para la distancia de 100 m, el rango medido en el muestreo local es demasiado alto (ver figura 1).



Fuente: Elaboración propia sobre información de Introducción a las radiaciones electromagnéticas, enviado por jmgomez el Mar, 10/07/2012, <http://www.escepticos.es/book/export/html/1020>

Figura 1: Comparativo: Medición NRPB respecto a la medición local, densidad de potencia RF versus distancia a la base de la RBS,

⁹ S.M. Mann, T.G. Cooper, et-al, 2002, Exposure to radio waves near mobile phone base stations, National Radiation Protection Board (U.K.), NRPB-R321, United Kingdom. Citado en Introducción a las radiaciones electromagnéticas, enviado por jmgomez el Mar, 10/07/2012, <http://www.escepticos.es/book/export/html/1020>.

CONCLUSIONES

Según el muestreo local efectuado, se tienen registrados diez intervalos de clase para la variable aleatoria discreta densidad de potencia. Estableciendo un rango total que va desde 0,0000 a 0,2133 mW.cm⁻², que está por debajo del límite de exposición humana frente a radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia UHF generadas por RBS = 1,0 mW.cm⁻² propuesto por la ATT a nivel nacional y de otras instituciones internacionales afines.

Por otra parte, la comparación del rango obtenido para las mediciones locales frente a los estudios de la (US Federal Communications Commission) FCC - Comisión Federal de las Comunicaciones USA, y la (UK. National Radiation Protection Board) NRPB - Consejo Nacional de Protección Radiológica del Reino Unido, si bien pertenecen a otros lugares, momentos y tiempos. Abre la posibilidad para nuevos muestreos locales que incorporen variables referidas con las características de instalación, tipos de antenas y tiempo de servicio de las RBS, así como también la medición de la densidad de potencia en relación con la distancia a la base RBS, conducentes a mejorar las condiciones de medida de la densidad de potencia en su dependencia con el límite de exposición humana frente a radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia UHF generadas por RBS = 1,0 mW.cm⁻². y protección para el público en general.

BIBLIOGRAFÍA

Superintendencia de Telecomunicaciones, 2002, Estándar técnico sobre límites de exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, La Paz - Bolivia,

International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), 2003, Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz), Alemania,

Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, 2000, Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, Serie K: Protección contra las interferencias, Ginebra - Suiza,

Viceministerio de Telecomunicaciones, 2014, Guía Informativa: Radiación Electromagnética de Telefonía Móvil, La Paz - Bolivia,

Ministerio de obras públicas, servicios y vivienda. Viceministerio de Telecomunicaciones, 2012, Plan nacional de frecuencias, La Paz - Bolivia,

Cid, B. I., 2015, Radiación electromagnética celular, regulaciones y fundamentos, Facultad de Ciencias físicas y matemáticas, Departamento de Ingeniería eléctrica, Universidad de Chile, Identificador URI: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137231>,

S.M. Mann, T.G. Cooper, et-al, 2002, Exposure to radio waves near mobile phone base stations, National Radiation Protection Board (U.K.), NRPB-R321, United Kingdom.

<http://www.escepticos.es/book/export/html/1020> Introducción a las radiaciones electromagnéticas, enviado por jmgomez el Mar, 10/07/2012. Consulta: 14/05/18.

(*), Docente investigador IIAT, Docente investigador IIPAS Electrónica y Telecomunicaciones, Docente carrera Electricidad, Facultad de Tecnología - UMSA.