

Niveles de radiación electromagnética no ionizante en la ciudad de Riobamba

Non-Ionizant electromagnetic radiation levels in Riobamba city

^αPedro Infante Moreira, ^βLuis Castillo Heredia, ^γFidel Gilart González

^αFacultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

^βCorporación Nacional de Telecomunicaciones, Guayaquil, Ecuador

^γCentro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

^αpinfante@esPOCH.edu.ec, ^βjavier_ch7@hotmail.com, ^γfg@uo.edu.cu

Resumen— La proliferación acelerada de antenas de estaciones base de telefonía celular en el área urbana de las ciudades, ha generado una masiva preocupación en la ciudadanía, debido a los temores acerca de los posibles efectos nocivos de los campos electromagnéticos en la salud. En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización de la exposición poblacional del campo electromagnético (CEM) producido en un ambiente urbano por sistemas de comunicación inalámbricos, tales como estaciones base de telefonía celular y antenas de radio y TV. La caracterización se hizo en la vecindad (entre 10 y 150 m) de 26 antenas de la ciudad de Riobamba – Ecuador (en total 168 puntos de medición), utilizando un medidor de campo de banda ancha NARDA NBM 550, operando en el rango de frecuencias desde 100 kHz a 3 GHz. Se registraron los valores máximos de la intensidad del campo eléctrico y la coordenada del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en cada punto medido. Se estudió el cumplimiento con las directrices de la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) y las regulaciones ecuatorianas de seguridad frente al CEM ambiental. Los resultados mostraron que los niveles del campo eléctrico están muy por debajo de los límites establecidos. Sin embargo, debido al crecimiento de la ciudad y al incremento de antenas en el futuro, se recomienda mantener un monitoreo regular en la zona con la finalidad de evaluar la evolución temporal y de estudiar la distribución espacial del ambiente electromagnético.

Palabras claves: Telefonía celular, estaciones base, exposición al campo electromagnético de radiofrecuencia, exposición poblacional, ambiente electromagnético.

Abstract— The accelerated proliferation of mobile phone base stations in urban areas in different cities has generated a massive concern among citizens due to fears about the possible harmful effects of electromagnetic fields on health. The electromagnetic field (EMF) characterization is shown in this research. It was generated in an urban environment by wireless communication systems, such as cell phone base stations and radio and TV antennas. The characterization was carried out in a neighborhood (between 10 and 150 m) with 26 antennas in Riobamba city (168 measurement points) using a NARDA NBM 550 broadband field meter, operating with a frequency range from 100 kHz to 3 GHz. The maximum values of the electric field's intensity and the Global Positioning System (GPS) coordinates were recorded in each measured point. Compliance

with the International Commission on Protection against Non-Ionizing Radiations (ICNIRP) guidelines and the Ecuadorian safety regulations against environmental EMF was analyzed. The results showed that the electric field levels are well below the established limits. However, due to the city's growth and the increase in the number of antennas in the future, it is recommended to maintain regular monitoring to assess the temporal evolution and study the electromagnetic environment's spatial distribution.

Keywords: Mobile telephony, base stations, exposure to radiofrequency electromagnetic fields, population exposure, electromagnetic environment.

I. INTRODUCCIÓN

Con el rápido desarrollo de las telecomunicaciones inalámbricas se han incrementado grandemente las persistentes preocupaciones de la población acerca de los posibles efectos adversos de salud de la excesiva exposición al campo electromagnético (CEM) de radiofrecuencia (RF). Las empresas dedicadas a dar estos servicios han ido avanzando a pasos agigantados a la par con la tecnología en el área de las telecomunicaciones, compitiendo entre sí por dar un mejor servicio y eficiencia a los usuarios, pero al mismo tiempo invadiendo el medio ambiente con las radiaciones electromagnéticas de RF generadas por los sistemas de radio, TV y telefonía celular [1], [2], [3]. Con el paso del tiempo la exposición ambiental al CEM de RF ha devenido no solo un tópico científico, sino también un asunto social. Al igual que en otros países, existe una atención aguda de la población a la exposición al CEM de RF cerca de las estaciones base de telefonía celular inalámbrica en Ecuador, país que ha sobrepasado el 100% de penetración de la telefonía móvil y tiene también un despliegue denso de estaciones base.

En general la preocupación de la población se encuentra sustentada principalmente por tres factores: 1) la difusión por los medios masivos de comunicación de opiniones, sin el suficiente respaldo científico, que vinculan las señales de los teléfonos móviles con enfermedades complejas como el cáncer, 2) el impacto visual que genera la aparición en un breve lapso de tiempo de las torres que soportan los sistemas radiantes por diversas zonas de las ciudades y 3) la existencia de estándares

de protección frente a las radiaciones electromagnéticas no ionizantes con límites muy diferentes. De estos tres factores, el tercero es el que reviste mayor interés en las autoridades regulatorias, ya que los límites de protección establecidos por la Comisión Internacional sobre Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, por sus siglas en inglés) [4], adoptados en muchos países, son a veces 20 veces mayores que los establecidos por países como Rusia, China, Italia, o Suiza [5].

TABLA I.
NIVELES DE REFERENCIA DE ACUERDO A LAS REGULACIONES
ECUATORIANAS (VALORES RMS NO PERTURBADOS).

Tipode exposición	Rangode frecuencias f	Intensidad de campo eléctrico E (Vm ⁻¹)	Intensidad de campo magnético H (Am ⁻¹)	Densidad de potencia S (Wm ⁻²)
Ocupacional	3 – 65 kHz	610	24,4	–
	0,065 – 1 MHz	610	1,6 / f	–
	1 – 10 MHz	610 / f	1,6 / f	–
	10 – 400 MHz	61	0,16	10
	400 – 2000 MHz	3 f ^{0,5}	0,008 f ^{0,5}	f / 40
	2 – 300 GHz	137	0,36	50
Poblacional	3 – 150 kHz	87	5	–
	0,15 – 1 MHz	87	0,73 / f	–
	1 – 10 MHz	87 / f ^{0,5}	0,73 / f	–
	10 – 400 MHz	28	0,073	2
	400 – 2000 MHz	1,375 f ^{0,5}	0,0037 f ^{0,5}	f / 200
	2 – 300 GHz	61	0,16	10

El 11 de enero de 2005 el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en Ecuador, emitió la Resolución 01-01-CONATEL-2005 “Reglamento de Protección de Emisiones de Radiación No Ionizante Generadas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico” (CONATEL, 2005) [6]. Esta regulación se basa en la Recomendación K-52 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) “Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos” [7], la cual a su vez se basa en los niveles de referencia de la ICNIRP, y concierne a los sistemas de telecomunicación que operan en el rango de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz. La misma incluye los límites de exposición, los requerimientos para personas o entidades a cargo de la medición del CEM, así como los requerimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas para las telecomunicaciones. Los límites ecuatorianos se muestran en la Tabla I.

A pesar de la implementación de estos límites, la inquietud en las personas no ha desaparecido. A medida que aumenta el número de estaciones base, el nivel de rechazo de la población al despliegue de infraestructuras radiantes ha ido aumentando [8], [9], [10], [11]. De aquí la importancia de caracterizar los niveles de CEM producidos por las antenas de las estaciones base y los transmisores de radio y TV, y evaluar si ellos cumplen o no con los límites señalados a nivel nacional e internacional. El estudio presentado en este artículo pretende contribuir con los niveles de ensayo y las definiciones metodológicas, así como informar a la población general acerca de los niveles más críticos de CEM en la ciudad de Riobamba. A continuación, se presentan los resultados de esa caracterización.

II. METODOLOGÍA

Este trabajo se enfocó en la medición de inmisión del CEM (intensidad total del campo eléctrico registrada en un punto, sin discriminar su origen y dentro de un margen amplio de frecuencias) en banda ancha entre 100 kHz y 3 GHz. La metodología usada fue la recomendada por la Superintendencia de Telecomunicaciones de Ecuador (SUPATEL) [12], la cual se basa en la Recomendación ITU-T. K52 [7].

Las mediciones del CEM en los puntos seleccionados se realizaron usando un medidor de campo NARDA NBM 550 y un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Garmin Etrex. Estas se llevaron a cabo en la vecindad de 26 antenas de telefonía celular situadas en diferentes zonas de la ciudad de Riobamba, así como en 7 parques y 3 mercados de dicha ciudad caracterizados por una alta afluencia de personas. Las mediciones se seleccionaron en la vecindad de las 26 antenas de telefonía celular ya que la intensidad del campo eléctrico es mayor en esa zona, y la muestra de la capacidad instalada de las antenas en la ciudad de Riobamba, representa el 90% aproximadamente. En la vecindad de cada antena se hicieron mediciones en 6 – 10 posiciones a diferentes distancias, esto es, entre 10 y 50 m, entre 51 y 100 m y entre 101 y 150 m, separadas angularmente entre sí entre 30 – 45 grados. Los puntos de medición fueron desplegados prioritariamente a lo largo de las direcciones de los lóbulos principales de las antenas de las estaciones base. El sensor de campo del NARDA NBM-550 se ubicó a una altura promedio de 1.5 metros sobre el nivel del suelo y en cada uno de los puntos seleccionados se midió la intensidad del campo eléctrico, tomando la lectura del valor máximo. La distancia entre la antena de medición y los operadores no fue menor de 0.5 m. Cada medición se realizó promediando durante un tiempo de 6 minutos. Una vez terminada esta, se encendió el GPS y se registraban las coordenadas geográficas del punto involucrado. Para escoger los puntos de medición, se lo hicieron en las vecindades de las antenas de estaciones base y, se tuvieron en cuenta las áreas de concentración de la población en lugares próximos a la estación base, tales como escuelas, parques, hospitales, entre otros, debido al posible riesgo en la salud producida por las radiaciones electromagnéticas.

Las mediciones se hicieron en días laborables y en horario laboral, es decir, entre las 10 a.m. y las 4 p.m., ya que en esas condiciones se desarrolla el mayor número de actividades generadoras de radiación electromagnética [9]. En el momento de las mediciones todos los instrumentos se encontraban calibrados. No se hicieron mediciones en días lluviosos. No se consideraron las variaciones temporal y espacial. En este trabajo solo se registraron las exposiciones de la población en exteriores.

Los resultados de las mediciones fueron puestos en una base de datos e indexados con las coordenadas GPS. Sobre los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico descriptivo: se determinaron el mínimo, la media, el máximo y la desviación estándar, así como el porcentaje de los valores medidos con respecto al límite establecido. Los datos se representaron gráficamente mediante un histograma y fueron ajustados también a una función de densidad de probabilidad Log-Logistic.

En el software “Radio Mobile” fue creada una capa de puntos con las coordenadas geográficas de las antenas de las estaciones base y de radio y televisión, así como de los puntos (sitios) donde se midió el campo eléctrico. Esta capa se

superpuso a una capa vectorial de la ciudad de Riobamba obtenida en el software “OpenStreetMap”. En la Fig. 1 se muestra un mapa de Riobamba con la ubicación de las 26 antenas de estaciones bases presentes durante la campaña de medición.

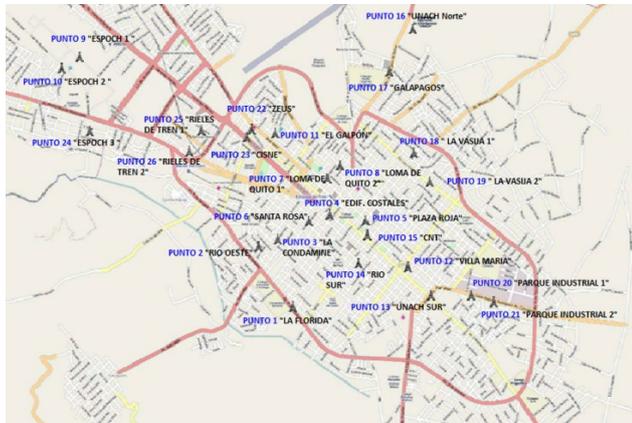


Fig. 1. Ubicación de las antenas de las estaciones base en Riobamba durante la campaña de medición.

III. RESULTADOS

En total se hicieron 168 mediciones del valor máximo de la intensidad del campo eléctrico en la ciudad de Riobamba, de ellas 158 en la vecindad de 26 antenas, 7 en parques y 3 en mercados. Los valores mínimo, medio, máximo y la desviación estándar del valor de la intensidad del campo eléctrico medido fueron, respectivamente, 0.08, 1.34, 10.67 y 1.21 V/m. En la vecindad de las 26 antenas los valores correspondientes fueron: 0.42, 1.40, 10.67 y 1.22 V/m, en los 7 parques: 0.22, 0.55, 1.15 y 0.34 V/m, y en los 3 mercados: 0.08, 0.14, 0.18 y

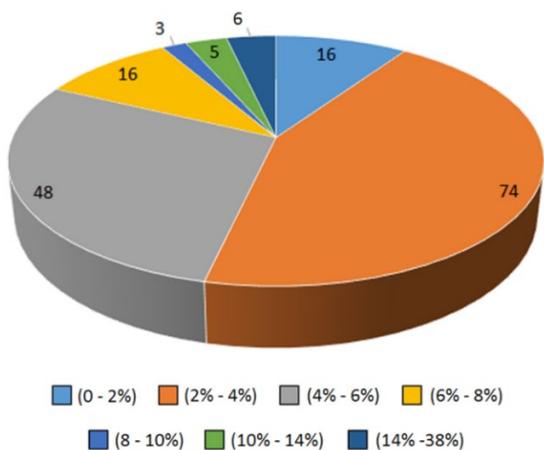


Fig. 2. Número de sitios medidos versus Porcentaje del nivel de referencia (28 V/m).

Como se puede ver, los valores de la intensidad del campo eléctrico medidos en parques y mercados fueron mucho más bajos que los medidos en la vecindad de las antenas. Por otro lado, ninguno de los 168 valores medidos superó el nivel de 28 V/m, el valor más bajo mostrado en la Tabla I para la exposición poblacional en el intervalo de frecuencias entre 100 kHz y 3 GHz, el cual fue considerado como nivel de referencia en este trabajo. La Fig. 2 muestra, del total de los

168 valores medidos, la cantidad de ellos que se encuentran en los rangos de porcentaje indicados con respecto al nivel de referencia considerado. Como se puede ver, la mayoría de los valores medidos (74) se encontró entre el 2% y el 4% de éste.

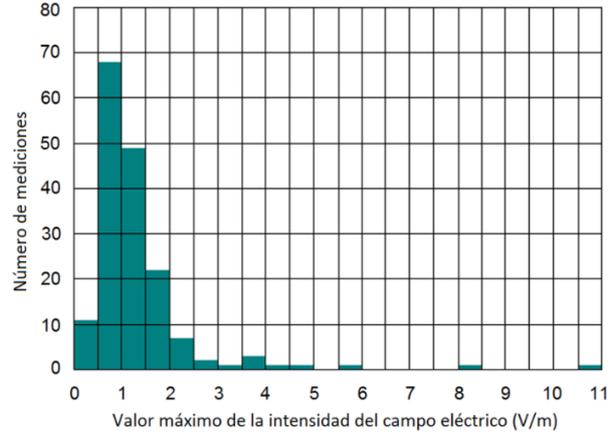


Fig. 3. Histograma del valor máximo de la intensidad del campo eléctrico.

En la Fig. 3 se muestra el histograma generado del análisis estadístico de las mediciones de la intensidad del campo eléctrico en la ciudad de Riobamba. Como se puede ver, los valores medidos se ubicaron preferentemente dentro del intervalo comprendido entre 0.5 y 1.0 V/m (68 de 168). Solamente 1 valor (10.67 V/m) se ubicó entre 10.5 y 11 V/m, resultado realmente útil por su contribución a las definiciones de las regulaciones para el sector automotor.

Con el objetivo de determinar la probabilidad de que la intensidad del campo eléctrico sea mayor o igual que el valor de referencia de 28 V/m, los datos experimentales de la Fig. 3 fueron ajustados a una función de densidad de probabilidad Log-Logistic de valor medio $\mu = 1.27951$, parámetro de escala $\alpha = 1.0669$, y parámetro de forma $\beta = 3.0649$ como la mostrada en la Fig. 4. La función de densidad de probabilidad Log-Logistic viene dada por (1) y el valor medio se define mediante (2):

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1}}{\left(1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right)^2} \tag{1}$$

$$\mu = \frac{\frac{\alpha\pi}{\beta}}{\sin\left(\frac{\pi}{\beta}\right)} \tag{2}$$

Los cálculos arrojaron que la probabilidad de que en algún punto de la zona estudiada de la ciudad de Riobamba se presenten intensidades del campo eléctrico superiores o iguales a 28 V/m es menor o igual que 4.8986×10^{-6} . Por tanto, se puede afirmar que bajo las condiciones actuales es improbable que en áreas públicas de tránsito libre para la población se superen los límites de exposición para esta. No obstante, en las zonas donde la intensidad del campo eléctrico medido superó los 3 V/m debe tenerse especial cuidado con los equipos electrónicos que sean susceptibles a estos niveles de campo electromagnético, tales como los teléfonos celulares que se encuentren cerca del equipo de medición en el instante en que se está llevando a cabo la señal de tono, en una llamada de transmisión o recepción.

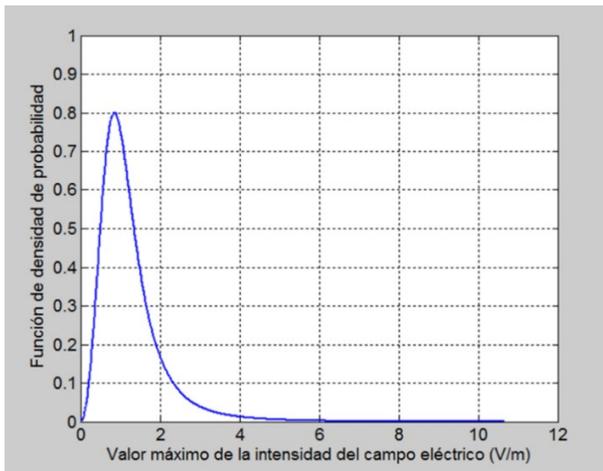


Fig. 4. Función de densidad de probabilidad Log-Logistic ajustada a los datos.

Es conocido que la medición en un cierto instante de tiempo o en una posición fija en el espacio, como se hizo aquí, pudiera no ser representativa para una exposición promediada en el tiempo o espacialmente, ni para la evaluación de la exposición máxima de las emisiones de las antenas de las estaciones base de los celulares. La gran variabilidad en el tiempo y la naturaleza cuasi-estocástica del tráfico de los canales de las comunicaciones móviles necesita de un análisis cuidadoso [13]. Por tanto, siendo este el primer estudio de estas características en la ciudad de Riobamba, se recomienda mantener un monitoreo regular en el área con el propósito de evaluar la evolución temporal del ambiente electromagnético, relacionadas con el tráfico y las condiciones de propagación [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20]. Se recomienda también realizar mediciones de emisión (las originadas por una fuente particular, que opera a una frecuencia específica) para estudiar la distribución espacial de la intensidad del campo eléctrico generado por las fuentes más relevantes sobre el volumen de modelos anatómicos humanos específicos (hombre, mujer y niño promedios), con el propósito de potenciar evaluaciones fiables de la tasa de absorción específica (SAR) en los seres humanos. Un objetivo futuro de este trabajo de investigación será desarrollar un modelo matemático de la función de densidad de probabilidad de la distribución del nivel del campo sobre 24 h y 7 días, que permita predicciones exactas de la exposición de largo plazo a partir de las mediciones de corto plazo.

IV. CONCLUSIONES

Las mediciones de imisión de la intensidad del campo eléctrico realizadas en la ciudad de Riobamba utilizando un medidor de campo de banda ancha NARDA NBM 550, operado en el rango de frecuencias entre 100 kHz y 3 GHz, arrojaron que, bajo condiciones típicas dentro del entorno urbano de la ciudad, es muy poco probable encontrar al público general expuesto a intensidades del campo eléctrico producido por sistemas de comunicación inalámbricos, tales como estaciones base de telefonía celular y antenas de radio y TV, superiores a las estipuladas en las recomendaciones internacionales y en las regulaciones nacionales de Ecuador. No obstante, se recomienda mantener un monitoreo regular en la zona, con la finalidad de evaluar la evolución temporal y estudiar la distribución espacial del ambiente electromagnético. Finalmente, se espera que el resumen de las

mediciones presentadas en este trabajo pueda contribuir socialmente y pueda también ser usado como referencia técnica con relación a las condiciones ambientales electromagnéticas y las mediciones.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a la ARCOTEL de Riobamba por los instrumentos de medición facilitados, así como por el apoyo logístico brindado por su personal técnico y administrativo. De igual manera desean expresar su agradecimiento a la ESPOCH por el respaldo brindado a la materialización del Convenio SUPERTEL-ESPOCH.

REFERENCIAS

- [1] G. Aponte, A. Escobar, C. R. Pinedo, G. Arizabaleta, "Mediciones de campos electromagnéticos en la ciudad de Cali, Colombia", *Información Tecnológica*, Vol. 18(3), pp. 39-47 (2007).
- [2] The International EMF Project. World Health Organization (WHO). Available from: <http://www.who.int/peh-emf/project/en/>.
- [3] K.H. Chiang and K.W. Tam, "Electromagnetic Assessment on Human Safety of Mobile Communication Base Stations at University of Macau", *American Journal of Applied Sciences* 5 (10): 1344-1347 (2008).
- [4] P. Vecchia, R. Matthes, G. Ziegelberger, J. Lin, R. Saunders, A. Swerdlow. "Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)". International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Germany (2009).
- [5] Bioinitiative report: a rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic radiation, BioInitiative Working Group, Cindy Sage and David O. Carpenter, Editors, Bioinitiative 2012, Section 3, "The Existing Public Exposure Standards". Available from <http://www.bioinitiative.org/report/wp-content/uploads/pdfs/BioInitiativeReport2012.pdf>.
- [6] CONATEL: Ecuadorian National Telecommunications Council, Regulation on Protection against Non-Ionizing Radiation Generated by using Radio Electric Spectrum, Resolution 01-01-CONATEL-2005 (2005), <http://www.supertel.gov.ec/radiaciones/respaldos/REGLAMENTO%20RNI.pdf>
- [7] ITU: International Telecommunications Union, "Guidance on Complying with Limits for Human Exposure to Electromagnetic Fields", Series K: Protection against Interference, Recommendation K.52 (2004), <http://www.itu.int/rec/T-REC-K.52-200412-I/en>.
- [8] C. C. R. Sánchez, H. O. Boada, "Estudio de los niveles de radiación electromagnética no ionizante en varias zonas de la ciudad de Bucaramanga", *Revista UIS Ingenierías*, Vol. 9, No. 2, pp. 207-218 (2010).
- [9] M. Azpúrua, K. Dos Ramos, G. Bolívar y R. Aguila, "Evaluación de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias en entornos urbanos usando técnicas de análisis espacial basadas en sistemas de información geográfica", *Memorias del IV Evento Internacional del Electromagnetismo Aplicado*, CNEA, Santiago de Cuba (2011).
- [10] A. E. Ordoñez, H. C. Ramírez, G. A. Mayor, "Caracterización de campos electromagnéticos de alta frecuencia en ambientes urbanos", *Revista de Ingeniería*, Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia. ISSN. 0121-4993, No. 31, pp. 40-46, Enero - Junio (2010).
- [11] Tongning Wu, Qing Shao, Lei Yang, Dianyan Qi, Jun Lin, Xiaojun Lin and Zongying Yu, "A large-scale measurement of electromagnetic fields near GSM base stations in Guangxi, China for risk communication", *Radiat. Prot. Dosim.*, Vol. 155, No. 1, pp. 25 - 31 (2013), doi:10.1093/rpd/ncs309.
- [12] Superintendencia de Telecomunicaciones, SUPERTEL. Available from: <http://www.supertel.gov.ec/>.
- [13] Bornkessel, C., Schubert, M., Wuschek, M. and Schmidt, P. Measurement and calculation of general public electromagnetic exposure around GSM and UMTS cellular base stations. In: *Proceedings of Second International ITG Conference on Antennas INICA '07*. INICA pp. 225 - 229 (2007).
- [14] Joseph, W., Verloock, L., Tanghe, E. and Martens, L. "In-situ measurement procedures for temporal RF electromagnetic field exposure of the general public". *Health Phys.* 96, 529 - 542 (2009).
- [15] Joseph, W. and Verloock, L. "Influence of mobile phone traffic on base station exposure of the general public". *Health Phys.* 99, 631 - 638 (2010).
- [16] Genc, O., Bayrak, M. and Yaldiz, E. "Analysis of the effects of GSM bands to the electromagnetic pollution in the RF spectrum". *Prog. Electromagn. Res.* 101, 17 - 32 (2010).

- [17] Simona Miclaus, Paul Bechet and Marius Gheorghevici, “Long-term exposure to mobile communication radiation: an analysis of time-variability of electric field level in GSM900 downlink channels”, *Radiat. Prot. Dosim.*, Vol. 154, No. 2, pp. 164–173 (2013), doi:10.1093/rpd/ncs169.
- [18] Zaher Mahfouz, Leen Verloock, Wout Joseph, Emmeric Tanghe, Azeddine Gati, Joe Wiart, David Lautru, Victor Fouad Hanna and Luc Martens, “Comparison of temporal realistic telecommunication base station exposure with worst-case estimation in two countries”, *Radiat. Prot. Dosim.*, Vol. 157, No. 3, pp. 331 – 338 (2013), doi:10.1093/rpd/nct155
- [19] Sam Aerts, Joe Wiart, Luc Martens, Wout Joseph. “Assessment of long-term spatio-temporal radiofrequency electromagnetic field exposure”, *Environmental Research* 161 (2018) 136–143.
- [20] FANDINO, Milena P.; ARANA, Victoria A.; TRILLERAS, Jorge E. Análisis Comparativo de los Niveles de Exposición a Campos Electromagnéticos Irradiados por Estaciones de Telefonía Móvil en el Municipio de Soledad, Atlántico, en Colombia. *Inf. tecnol.*, La Serena, v. 29, n. 4, p. 157-166, agosto 2018.