

Contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en ambientes al aire libre

Environmental Pollution Caused by Non-ionizing Electromagnetic Waves from Wireless Technologies in Outdoor Environments

Óscar Gerardo Barrera Monsalve

Ingeniero Civil y especialista en Administración de la Construcción de la Universidad Francisco de Paula Santander
Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de Investigación Gestión Integral del Territorio-GIT de la Universidad de Pamplona, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-8658-681X>
oscargbarreram@gmail.com

Jemay Mosquera Téllez

PhD en Arquitectura de la State Academy of Kharkov Municipal Engineering
Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Director del Grupo de Investigación Gestión Integral del Territorio-GIT de la Universidad de Pamplona, Colombia
<https://orcid.org/0000-0001-5989-5644>
jemay.mosquera@hotmail.com

Fecha de recepción: 30 de julio de 2018

Fecha de aceptación: 15 de septiembre de 2017

Sugerencia de citación: Barrera Monsalve, O. y Mosquera, Téllez, J. (2018). Contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en ambientes al aire libre *Mutis*, 8(2), en prensa, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1404>

RESUMEN

Este artículo aborda la contaminación ambiental ocasionada por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en ambientes al aire libre a través del registro de indicadores como intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético, densidad de potencia y tiempo de exposición a estaciones base de telefonía móvil (EBTM) en las frecuencias comprendidas entre 10 MHz y 8 GHz. El objetivo general de la investigación es estimar la contaminación ambiental generada por este tipo de ondas electromagnéticas mediante la selección de un área de estudio densamente poblada en una zona urbana que cuente con una EBTM en su extensión y el establecimiento de las magnitudes de los parámetros de ondas electromagnéticas no ionizantes en ambientes al aire libre. La metodología seguida fue el establecimiento del área a analizar y de los puntos sujetos a muestreo y toma de datos, con respecto a las variables intensidad de campo eléctrico (mV/m), intensidad de campo magnético (mA/m), densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) y tiempo de exposición (T) a EBTM. La información recolectada durante la etapa práctica fue procesada con el uso de software especializado. Por último, se realiza el respectivo análisis estadístico. El estudio concluye que la estimación de la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en ambientes al aire

libre varía en función de la distancia a la EBTM, las condiciones topográficas del área de estudio y la densidad y tipología de las edificaciones presentes.

Palabras clave: electromagnetismo, ondas no ionizantes, magnetismo, medición, contaminación ambiental

ABSTRACT

This paper studies the environmental pollution caused by non-ionizing electromagnetic waves from wireless technologies in outdoor environments through the recording of indicators such as electric field strength, magnetic field strength, power density and exposure time to base stations of mobile telephony in the frequencies between 10 MHz and 8 GHz. The general objective of this research is to estimate the environmental pollution caused by this type of electromagnetic waves by selecting a densely populated study area within an urban zone that has an EBTM in its extension, and the establishment of the magnitudes of non-ionizing electromagnetic wave parameters in outdoor environments. The methodology followed was the establishment of the area and the points to be sampled and data collection of variables such as electric field intensity (mV/m), magnetic field strength (mA/m), power density ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) and exposure time (T) to EBTM. The information collected during the practice stage was processed through the application of software. Finally, statistical analysis of information was carried out. This study concludes that the estimation of environmental pollution by non-ionizing electromagnetic waves caused by wireless technologies in outdoor environments varies according to the distance to the EBTM, topographic conditions of the study area, and density and typology of surrounding buildings.

Keywords: Electromagnetism, non-ionizing waves, measurement, environmental pollution

INTRODUCCIÓN

Desde la revolución industrial y la consolidación del sistema capitalista la concepción del desarrollo se sustentó en las condiciones de producción, generando una serie de afectaciones tanto para los recursos naturales como para las comunidades y sus modos de vida de habitar. Con la modernidad y los crecientes procesos de urbanización llevados a cabo durante la primera parte del siglo XX, aumentó la explotación a gran escala, la demanda de bienes e insumos y las afectaciones socio ambientales (Castillo-Sarmiento, Suarez-Gélvez, & Mosquera-Téllez, 2017). De esta manera, la humanidad se encuentra actualmente expuesta a una variedad de contaminantes, algunos fácilmente perceptibles, como la contaminación del aire o del agua, y otros casi invisibles, como la contaminación por ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas ganaron protagonismo desde los años sesenta del siglo pasado con el estudio de sus beneficios para el ser humano y su entorno. Sin embargo, con el pasar del tiempo y el aumento desmedido de su presencia en el ambiente, producto de la creación y uso de la telefonía móvil y las conexiones banda ancha, se acentuó la inquietud de sus posibles efectos negativos en el entorno y en el cuerpo humano. Es así como la Organización Mundial de la Salud (OMS), por medio de la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), en el documento “Monografías sobre la evaluación de los riesgos carcinogénicos para humanos” categorizó en el año 2013 a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como grupo 2B, cuya definición corresponde a “Posiblemente carcinógeno para el ser humano” (IARC, 2013, p. 112).

La Comisión Internacional para la Protección Contra la Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, por sus siglas en inglés) es la encargada de brindar asesoría científica y orientación sobre los efectos en la salud y el medio ambiente de la radiación no ionizante (NIR, por sus siglas en inglés) para proteger a las personas y el ambiente ante dicha exposición perjudicial, referida específicamente a la radiación electromagnética asociada a fenómenos como la luz visible, la ultravioleta, la infrarrojo y las ondas de radio, así como a las ondas mecánicas, como las infrarrojas y las de ultrasonido. En la vida diaria, las fuentes comunes de NIR incluyen el sol, electrodomésticos, teléfonos móviles, wifi y hornos de microondas (ICNIRP, 2018). La ICNIRP utiliza como magnitud dosimétrica la tasa de absorción específica (SAR, en inglés), cuya unidad de medida es vatios por kilogramo y la cual depende de parámetros de exposición como frecuencia de la radiación, intensidad, polarización, configuración de la fuente radiante y del cuerpo, superficies de reflexión, tamaño, forma y propiedades eléctricas del cuerpo (OIT, 2001). La definición específica de SAR corresponde a la medida de la relación de energía absorbida en el tiempo por unidad de masa de tejido corporal expuesto (Quintana & Sepúlveda, 2013).

En el informe “*Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)*” de agosto de 2009, la ICNIRP declaró que tras una revisión integral de evidencia científica de seguridad de teléfonos móviles, se pudo concluir que la literatura científica publicada desde las normas de 1998 no ofrece evidencia de que exista ningún efecto adverso dentro de las restricciones básicas y que no se requiere una revisión inmediata de dichos resultados (ICNIRP, 2009). Adicionalmente, el informe aclara que los límites de exposición recomendados contienen márgenes de seguridad sustanciales,

pues a estos se les aplicó un factor de reducción importante de 50 para el público general. Con base en evidencia científica, el nivel mínimo de exposición recomendado por la ICNIRP respecto a la Tasa Específica de absorción (SAR) es 4 W/kg, límite sobre el cual se considera puede producir efectos adversos a la salud al aplicar el factor de reducción; es decir, al dividir el límite entre 50, el valor establecido como suficiente para garantizar la seguridad del público es 0,08 W/kg.

Los límites establecidos por la ICNIRP se dividen en Ocupacional y Poblacional, siendo este último el correspondiente a la población en general expuesta en sitios públicos y espacios exteriores, con poca o nada de información de la potencia de exposición presente en los sitios (ICNIRP, 1998). Los niveles de referencia ICNIRP utilizan como unidades de trabajo la intensidad de campo eléctrico (mV/m), la intensidad de campo magnético (mA/m), la densidad de flujo magnético (μT) y la densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$). Al mismo tiempo, la población en general no posee los elementos de juicio para establecer cuál es el nivel de exposición a las ondas electromagnéticas o el nivel de contaminación por las mismas presentes en los lugares que normalmente frecuentan, debido a la existencia en las áreas urbanas de estaciones base de telefonía móvil (EBTM) ubicadas a determinada distancia según la necesidad de cobertura, las cuales, a su vez, están provistas de cierto número de antenas que emiten ondas electromagnéticas.

El estudio correspondiente a contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en ambientes al aire libre establece la toma de mediciones de intensidad de campo eléctrico (mV/m), intensidad de campo magnético (mA/m) y densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) en una pequeña área urbana densamente poblada, que posea una EBTM en su interior y cuente con la presencia de viviendas, edificaciones y parques en el espacio urbanístico de la misma, facilitando así una idea de la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes para las comunidades que habitan áreas con características similares.

PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS AMBIENTES AL AIRE LIBRE

Las ondas electromagnéticas en espacios abiertos o al aire libre se propagan uniformemente en todas direcciones desde una fuente puntual. En el caso de las fuentes de emisión ubicadas en las áreas urbanas, los elementos que allí se encuentran (proyectos de infraestructura, edificaciones y zonas verdes, entre otros) hacen que se presenten propiedades tales como, refracción y absorción. La refracción se presenta cuando la onda electromagnética experimenta cambio en su dirección y velocidad al pasar de un medio a un objeto. El mecanismo de refracción ocurre cuando la onda incide de forma oblicua en el objeto (Martínez-Reina & Amado-González, 2012). Por su parte, la absorción ocurre cuando entre la onda y un objeto se presenta un rozamiento que hace que la energía mecánica se transforme en calor (Arribas-Garde *et al.*, 2014), tal como ocurre durante la exposición prolongada durante una llamada celular. Adicionalmente, las ondas electromagnéticas en espacios al aire libre experimentan una pérdida de energía proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente emisora y el punto de medición. La propagación al aire libre en el marco del presente estudio corresponde a las Estaciones Base de Telefonía Móvil (EBTM).

FUENTE EMISORA AMBIENTE AL AIRE LIBRE

Una antena se define como un dispositivo que forma parte de un sistema de comunicación, encargado de recibir y radiar las ondas electromagnéticas al espacio libre. Existen diversos tipos de antenas, pero todas tienen en común realizar la transición del medio alámbrico al inalámbrico, distribuyendo la energía radiada en distintas direcciones del espacio con un cierto carácter direccional dependiendo de su uso (Castellanos-Díaz & Talero-Niño, 2005). Es importante diferenciar las estaciones base de telefonía móvil de las antenas, pues lo normal es que la primera sirva de soporte para la segunda, luego, una estación base de telefonía móvil puede poseer varias antenas. Normalmente, el aumento del número de antenas en una estación base de telefonía móvil se debe a que más de un operador de telefonía móvil la utiliza o a que un cambio de tecnología hace necesario implementar una nueva línea de antenas en la estructura.

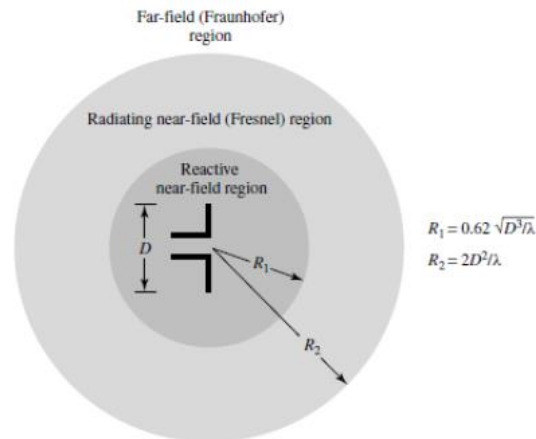
Las antenas, dependiendo de su tipo de aplicación y banda de frecuencia en la cual operan, cuentan con ciertas características que condicionan su funcionamiento, a saber: impedancia, intensidad de radiación, directividad y ganancia, área efectiva, polarización, ancho de banda y patrón de radiación.

Los equipos de telefonía móvil se comunican mediante el uso de la estación base de telefonía móvil más cercana, la cual provee cobertura a los usuarios situados dentro de su alcance; a estas pequeñas regiones se les conoce como células (Cruz, citado por Gallego-Serna, 2011), de donde deriva el nombre telefonía celular. La célula o celda, a su vez, se divide en sectores, pues no utiliza una antena que irradia señal equitativamente en todas las direcciones (antena omnidireccional) sino antenas que cubren cada 120 grados en planta cada una, si es de tres sectores, o cada 60 grados en planta cada una, si es de seis sectores. El tamaño de la célula o celda depende de factores como la potencia del equipo transmisor, la banda de frecuencia empleada, la altura y posición de la torre de soporte, el tipo de antena, la topografía del sector, la sensibilidad del radio receptor y la densidad del tráfico de llamadas.

En áreas donde existe un alto tráfico de llamadas (normalmente zonas urbanas) se presentan muchas conexiones al tiempo, por lo tanto, al poseer la estación un número limitado de conexiones, se hace necesario que el área que cubre cada estación sea menor, provocando una alta densidad de estaciones al tener que cubrir áreas más pequeñas. A nivel mundial, la red de antenas llega a ser tan densa que en Tokio hay una antena por cada 99 habitantes, en Londres una por cada 261 habitantes, en San Pablo una por cada 1.947 habitantes, en Lima una por cada 3.462 habitantes, en Buenos Aires una por cada 4.076 habitantes (Telecom Argentina, 2015) y en Bogotá existe una antena por cada 731 habitantes (Asomovil). Es importante acotar que existen ciudades que no poseen una mayor densidad de antenas debido a que la legislación vigente no lo permite.

Las antenas de comunicaciones son fuente de radiación y contemplan una serie de campos asociados a las características de emisión: intensidad de los campos electromagnéticos, la potencia de emisión y la longitud de onda. Los campos de radiación se reúnen en dos grandes grupos: campos lejanos (campos de radiación) y campos cercanos (campos inducidos), los cuales se dividen en dos subregiones: el campo cercano reactivo y el campo cercano radiactivo o región de Fresnel (figura 1).

Figura 1. Campos de radiación



Fuente: Henao-Céspedes, 2012.

El campo lejano o región de Fraunhofer es el más retirado de la fuente y se caracteriza por el predominio de la onda tipo plana, por lo cual los vectores de campo eléctrico E y los vectores de campo magnético H son ortogonales en un plano perpendicular al vector de densidad de potencia, por lo cual, se puede considerar la intensidad de campo eléctrico o la intensidad de campo magnético para realizar mediciones, teniendo en cuenta que en dicha región sus valores son directamente proporcionales.

Por su parte, en el campo cercano radiactivo o zona de Fresnel, la onda electromagnética no posee un comportamiento de onda plana, por lo tanto, se deben realizar mediciones de intensidad de campo eléctrico o la intensidad de campo magnético, debido a que sus valores son totalmente independientes. El campo cercano reactivo o campo próximo inducido es la región de campo cercano inmediatamente circundante a la antena.

INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO (E)

El campo eléctrico está relacionado con la fuerza electrostática presente alrededor de una carga fuente mediante la cual se da interacción con otras cargas. Este campo es considerado la circunscripción donde se genera un movimiento que representa cada uno de sus puntos mediante una magnitud vectorial llamada intensidad de campo eléctrico E. La intensidad de campo eléctrico se mide en voltios sobre metro (V/m) (Andrade-Guerrero & Contreras-Ortiz, 2014).

INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO (H)

El campo magnético es el campo de fuerza que se ejerce sobre los materiales. Un campo magnético puede ser causado por cargas en movimiento, por un flujo de corriente o un imán permanente. La intensidad de campo magnético es una medida vectorial que junto a la inducción magnética determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. La intensidad de campo magnético se mide en amperios sobre metro (A/m) (Febles-Santana, 2015).

DENSIDAD DE POTENCIA (S)

La densidad de potencia es la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación. Es la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de la superficie y expresada en vatios por metro cuadrado (W/m²).

La densidad superficial de potencia (DSP) es la potencia que pasa un área de 1 m², se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m²) y representa la cantidad de energía absorbida por una superficie expuesto a la radiación.

MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

La medición de campos electromagnéticos para el caso de antenas está regulada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), mediante la Recomendación IUT-T K.52 "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos", y especificada en la recomendación IUT-T K.61 "Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas". Para el caso de enrutadores wifi y teléfonos móviles no existe una medición establecida y aceptada, aunque normalmente en los proyectos de investigación y académicos se utiliza el valor establecido por la IUT. Las recomendaciones para medición de campos electromagnéticos esta direccionada a la supervisión y control de radiación en lugares de carácter ocupacional.

La metodología establecida para la medición de campos electromagnéticos en Colombia (Resolución 1645 de 2005) dispone para estaciones radioeléctricas un procedimiento con los siguientes pasos:

- Establecer una hora adecuada de medición, de tal manera que refleje en lo posible un nivel normal de alto nivel de tráfico o de utilización.
- Iniciar la toma de medidas con la sonda a una distancia que presente una lectura significativa, tratando en lo posible de describir dos trayectos perpendiculares con respecto a la fuente radiante en forma de cruz con la sonda de medición ubicada a 1,70 metros de altura.
- En caso que la estación se encuentre ubicada en áreas circunvecinas de público general, se recomienda realizar un recorrido de medición por las áreas limítrofes determinando el nivel de lectura del instrumento.
- En caso que los valores medidos superen en los recorridos los límites de exposición de la norma K.52 se realizarán mediciones promedio de 6 minutos, con el fin de estudiar su estabilidad en el tiempo.

- Con la información recolectada se podrán realizar gráficas de toma de medidas, indicando los niveles de campo normalizados respecto a los límites establecidos de exposición.

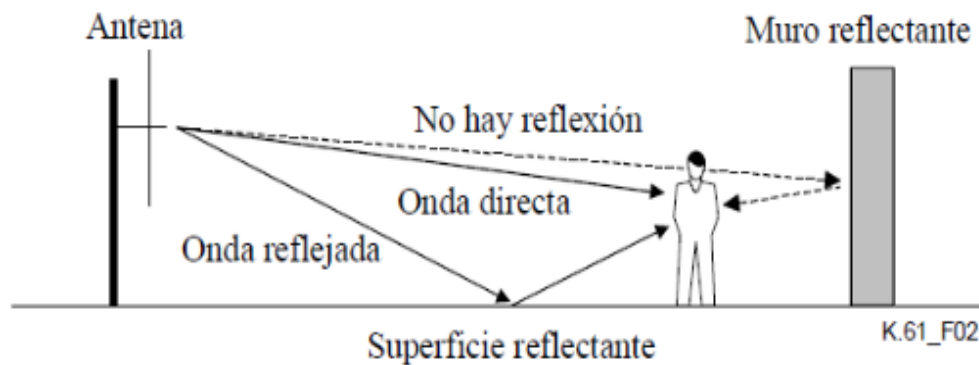
En la medición de ondas electromagnéticas se debe tener claridad si el sitio objeto de estudio es irradiado por fuentes de emisión o inmisión. Como medición de emisión se denomina a la medición realizada con equipo banda angosta (medidores de intensidad de campo y analizadores de espectros, entre otros), sintonizables a fuentes definidas. Por su lado, se denomina medición de inmisión a la que se realiza empleando instrumentos de banda ancha (detectores de radiación electromagnética no sintonizables), con sondas de medición E y H isotrópicas a fuentes indefinidas y en un rango amplio de frecuencias.

La mayoría de los dispositivos mide el campo eléctrico o el campo magnético. En el caso de campo reactivo, la distinción de los campos eléctrico y magnético es importante. En el caso de la región de campo lejano, es posible medir el componente de uno solo de los campos y así determinar la densidad de potencia relativa. Sin embargo, normalmente se utilizan los dispositivos de medición de campo eléctrico (recomendación IUT-T K.61).

Durante las mediciones, las cantidades básicas son difíciles de medir directamente, por lo que la mayoría de los documentos proporciona niveles derivados de referencia para el campo eléctrico, el campo magnético y la densidad de potencia. Los límites derivados se utilizan en situaciones en las que el campo electromagnético es afectado por la presencia de un cuerpo. Los límites normalmente se expresan como valores eficaces de una onda sinusoidal promediada a lo largo de un periodo definido. Un ejemplo de ello son los límites de referencia ICNIRP, los cuales deben promediarse a lo largo de cualquier periodo de seis minutos en frecuencias por debajo de 10 GHz.

La intensidad del campo electromagnético varía con la posición espacial debido al efecto de la reflexión y la dispersión sobre las estructuras adyacentes. La escala de esta variabilidad es función de la longitud de onda y es importante considerarla para determinar los emplazamientos de máxima exposición y utilizar el promediado espacial de manera adecuada. Como las normas de exposición especifican los límites de exposición de las personas, debe considerarse el efecto del propio cuerpo sobre el diagrama de campo. La posición de una persona en un espacio la afectaría, pues absorbería la onda incidente creando una región de sombra e impidiendo una reflexión que, de producirse, incrementaría el campo en el emplazamiento donde se encuentra. Estos tipos de efectos en radiofrecuencias altas pueden dar lugar a una sobreestimación del campo durante las mediciones cerca de objetos reflectantes, como se observa en la figura 2 (recomendación IUT-T K.61).

Figura 2. Ilustración de una alteración multirrayecto debido a la presencia de un cuerpo humano



Fuente: recomendación IUT-T K.61.

Por último, es importante establecer que durante la medición la distancia juega un papel importante entre la fuente y el instrumento debido a que su intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia; es decir, a una distancia doble la intensidad de la onda electromagnética corresponde a un cuarto de la intensidad inicial, mientras que a una distancia triple la intensidad de la onda electromagnética es equivalente a un noveno.

MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS AL AIRE LIBRE

La medición de campos electromagnéticos al aire libre normalmente se realiza cerca de estaciones base con el fin de controlar los límites de exposición de las ondas emitidas por sus antenas. Las metodologías aplicadas son variadas, pero siempre enmarcadas dentro de las normas.

La medición para una estación base en ambiente al aire libre se divide en toma de medición horizontal y vertical. Las mediciones en sentido horizontal normalmente se establecen dentro de los 100 metros alrededor de la estación base, tomándose bien sea cada uno, cinco o diez metros, según la metodología establecida previamente. La medición en sentido vertical normalmente inicia a una altura de veinte centímetros sobre el nivel del suelo y puede llegar a dos metros de altura, tomándose cada veinte o cincuenta centímetros, según lo dispuesto por el investigador. La mayoría de los investigadores divide el área circundante a la antena en planta en cuatro ejes perpendiculares entre sí, sobre los que se desplazaran tomando las mediciones anteriormente descritas.

El tiempo de medición se toma normalmente durante un periodo de seis minutos; sin embargo, algunas investigaciones calculan la duración recomendada dependiendo de la frecuencia a analizar y sobre la base de las tablas establecidas por los organismos internacionales.

CONTEXTO DEL PROYECTO

El contexto del proyecto se desarrolla en el marco del método cualitativo, basado en el análisis del estado del arte y estableciendo la importancia para entregar una panorámica de la contaminación electromagnética circundante al público en general. Por otra parte, en el ambiente al aire libre se realizan diferentes mediciones cuantitativas a estaciones base de telefonía móvil mediante puntos de medición distribuidos. Una vez realizadas las mediciones, se establecen comparaciones entre contaminación electromagnética al aire libre en los diferentes puntos tomados.

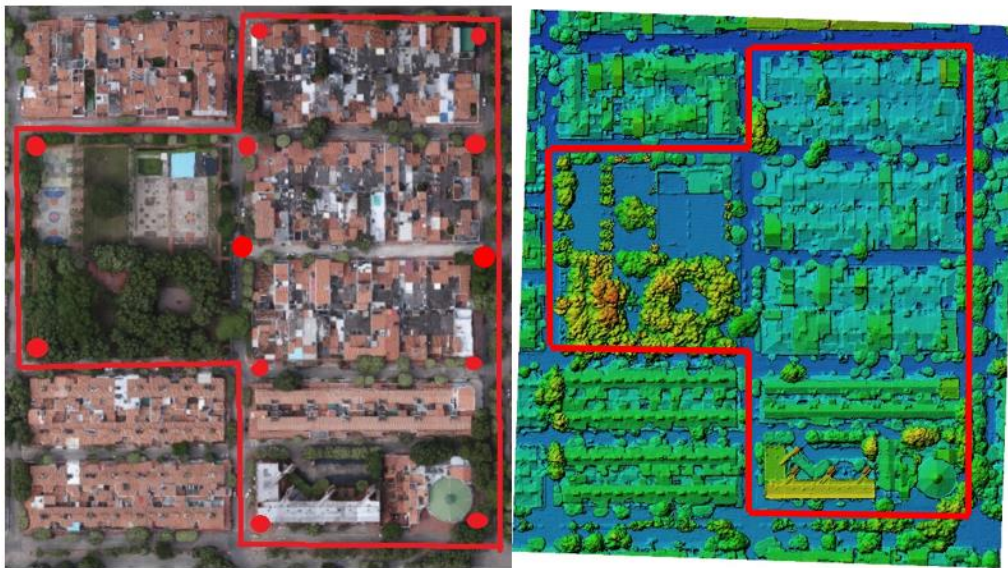
Población y área objeto de estudio

La selección de la población y el área objeto de estudio se desarrolla en el marco del método cualitativo, cuyo objetivo es establecer una distribución de puntos de medición en un sector densamente poblado con alta densidad de EBTM, lo cual permite determinar un comparativo entre la contaminación producto de la ETBM entre los diferentes puntos del ambiente al aire libre.

La población seleccionada es la ciudad de Cúcuta en el departamento de Norte de Santander (Colombia), puesto que al ser esta una ciudad intermedia posee una extensa red de EBTM y una alta densidad poblacional que se evidencia en algunos sectores, además de presentar una topografía regular constante y plana en la mayor parte del contexto urbano y bajas precipitaciones en temporadas de lluvias, características que no ionizan el ambiente ni afectan la toma de mediciones.

El área objeto de estudio para las mediciones comparativas al aire libre dentro de la ciudad de Cúcuta corresponde al barrio Los Pinos, el cual posee condiciones idóneas representadas en una muestra urbana de tipo residencial, comercial e institucional, así como en características que ofician como constantes y permiten disminuir las variables para la toma de mediciones y su posterior análisis.

Figura 3. Fotografía aérea, delimitación y puntos de medición al aire libre propuestos (a); y fotografía altimetría Barrio Los Pinos, Cúcuta (b)



Fuente: elaboración propia.

El barrio Los Pinos es producto del desarrollo urbanístico planificado que se dio en la ciudad de Cúcuta en los años 70 del siglo pasado, con manzanas ortogonales, calles planas y rectas, viviendas fabricadas con sistema constructivo constante (figura 3) a base de pisos en tableta de concreto, que con el tiempo dieron paso a la cerámica, muros en mampostería y cubiertas en placa maciza, y una excelente arborización que crea una relación armónica ser humano-naturaleza (Mosquera, 2006) poco vista en algunos barrios la ciudad. Lo que en un principio se proyectó como un barrio residencial para estrato medio de la ciudad, pronto se uniría a la dinámica de crecimiento y albergaría un parque deportivo y recreacional de uso público, un colegio privado, templos de origen católico romano y cristiano y un comercio integrado principalmente por restaurantes y almacenes de ropa. Adicionalmente, el barrio Los Pinos se encuentra en un sector neurálgico de la ciudad, pues en sus inmediaciones se encuentran el Hospital Universitario Erasmo Meoz, las facultades de Comunicación Social y Medicina de la Universidad de Pamplona, la sede principal de la Universidad Francisco de Paula Santander, la Avenida Los Libertadores, el Canal de aguas lluvias Bogotá, la Avenida Guaimaral (Avenida 11E) y la Avenida Los Pinos (Calle 2E).

Adicionalmente, el barrio Los Pinos tiene una característica muy importante para el propósito del presente estudio: la ubicación de una Estación Base de Telefonía Móvil (EBTM) en lo que antiguamente fuese una vivienda (figura 4).

Figura 4. Fotografía 3D Barrio Los Pinos (Cúcuta)



Fuente: elaboración propia.

Magnitudes para la medición de campos electromagnéticos

La medición de campos electromagnéticos está enmarcada en el método cuantitativo. La medición es el trabajo de campo correspondiente a la toma de intensidad de campo eléctrico (E) en V/m, intensidad de campo magnético (H) en A/m y densidad de potencia en W/m^2 .

Las ondas electromagnéticas en un punto de medición pueden presentar aportes por cada eje del espacio. Además, al realizar mediciones a fuentes de inmisión por cada uno de los ejes X, Y y Z, se pueden obtener valores para cada una de las magnitudes; razón por la cual en el presente proyecto se busca tomar la magnitud como un único valor. Por lo tanto, el valor asumido corresponde a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de cada eje.

En la medición de campos eléctricos, cuando se desea un valor promedio en un lapso de tiempo, se maneja el concepto de valor medio temporal establecido en la recomendación UIT-TK.61 para frecuencias por debajo de 10 GHz, como es el caso de los equipos dirigidos al estudio de ambientes internos en edificaciones. Para el presente caso, se trabajó con el promedio máximo a fin de obviar los valores picos inferiores de la onda durante la medición.

Periodo de medición

El periodo de medición establecido en el marco de esta investigación es de seis minutos para frecuencias por debajo de los 10 GHz, durante cada una de las mediciones realizadas (UIT-TK.61).

Equipo de medición

El equipo de medición seleccionado es el medidor de intensidad de RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846 escala de frecuencia de 10 MHz a 8 GHz, el cual es un

medidor de banda ancha para monitorear la radiación de alta frecuencia, permite la obtención de medidas isotrópicas y es un sensor de medición de tres canales.

Figura 5. Equipo medidor de intensidad de RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846



Fuente: elaboración propia.

Horario para la toma de mediciones

Teniendo en cuenta que el proyecto posee como objetivo realizar mediciones con la menor afectación por ondas electromagnéticas naturales, como las producidas por el Sol, las medidas se realizaron en horas de la noche. De esta manera, las mediciones fueron realizadas en el horario comprendido entre 6:00 y 9:00 p. m.

Medición al aire libre en el barrio Los Pinos

La medición al aire libre en Los Pinos se realizó mediante la toma de datos en doce puntos diferentes correspondientes a las esquinas de las cuadras que comprenden el barrio (figura 3). Normalmente, durante las tres horas de medición establecida por día solo se pudo lograr hacer un recorrido de los doce puntos de medición al aire libre. El procedimiento establecido es el siguiente:

- Toma de datos entre 6:00 y 9:00 p. m.
- El operador del equipo debe estar desprovisto de equipos electrónicos y equipos de telefonía móvil.
- El operador georreferencia los puntos mediante el uso de un GPS.
- El operador se ubica en cada punto, dirigiendo el equipo y su respectiva antena isotrópica al norte magnético.

- El operador eleva el equipo a una altura de 1,50 metros con la mano erguida separada del cuerpo a partir de su encendido.
- El operador establece en el equipo la toma de los valores promedio máximo de cada una de las intensidades de campo y la densidad de potencia.
- El tiempo de medición es de seis minutos, de tal forma que una vez trascurren se toman en bitácora los valores captados por el equipo.
- Si inmediatamente antes o durante la medición se enciende el icono para cambio de batería del equipo, no se tiene en cuenta el último dato captado y se procede rápidamente a la suspensión del proceso de medición, al cambio de la batería y al reinicio del proceso de medición desde el punto en el cual se generó la suspensión.

Figura 6. EBTM barrio Los Pinos (a), georreferenciación de un punto (b) y medición al aire libre EBTM (c)



Fuente: elaboración propia.

Resultados de las mediciones al aire libre

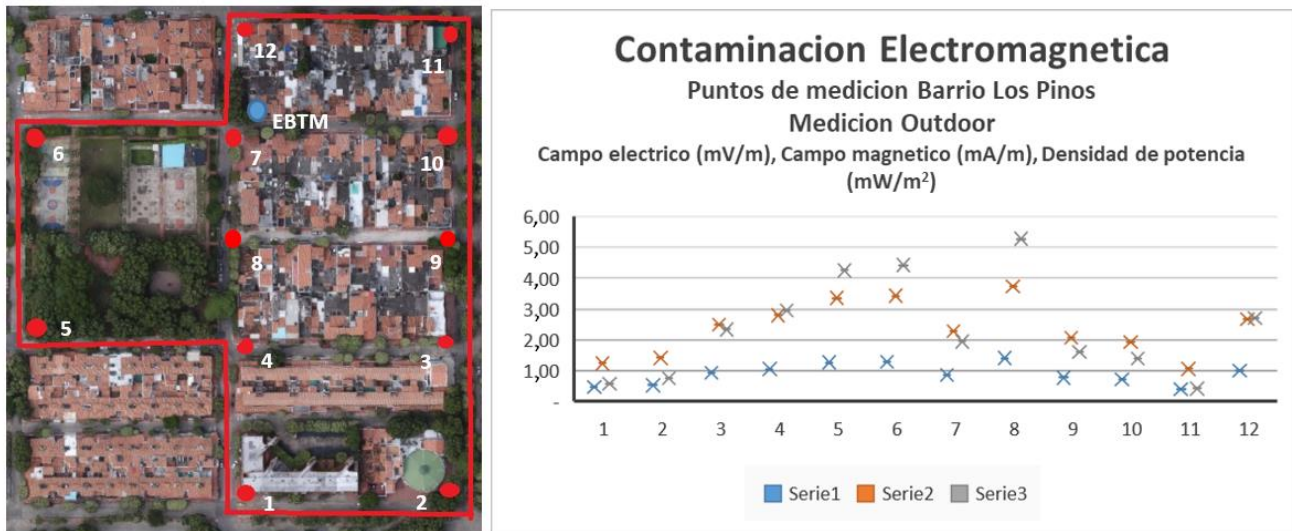
Las mediciones desarrolladas en el marco del presente estudio comprendieron la toma de los valores de intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia captados durante un periodo de seis minutos correspondientes a 3.600 datos en cada punto y su conversión en un único valor promedio máximo por punto presentó los resultados señalados en la tabla 1 y la figura 7.

Tabla 1. Valor promedio máximo en los puntos de medición al aire libre del barrio Los Pinos

FECHA	MEDICION	COORDENADAS		DIRECCION	Intensidad C Electrico (mV/m)	Intensidad C Magn. (mA/m)	Densidad de Potencia (μW/m2)
6/10/2017	1	N 7° 54' 01,4"	W 72° 29' 28,2"	Calle 2N con Avenida 7E	0,4673	1,239	0,5792
6/10/2017	2	N 7° 54' 01,3"	W 72° 29' 34,6"	Calle 2N con Avenida 9E	0,5347	1,418	0,7586
6/10/2017	3	N 7° 54' 04,3"	W 72° 29' 34,6"	Avenida 9E CON Calle 3N	0,9386	2,485	2,336
6/10/2017	4	N 7° 54' 04,2"	W 72° 29' 38,4"	Avenida 7E CON Calle 3N	1,055	2,800	2,956
6/10/2017	5	N 7° 54' 04,2"	W 72° 29' 42,1"	Avenida 6E CON Calle 3N	1,266	3,359	4,255
6/10/2017	6	N 7° 54' 08,1"	W 72° 29' 42,1"	Avenida 6E CON Calle 4AN	1,291	3,425	4,423
6/10/2017	7	N 7° 54' 07,9"	W 72° 29' 38,2"	Avenida 7E CON Calle 4AN	0,8574	2,274	1,949
6/10/2017	8	N 7° 54' 06,7"	W 72° 29' 34,2"	Avenida 7E CON Calle 4N	1,410	3,740	5,275
6/10/2017	9	N 7° 54' 08,4"	W 72° 29' 38,9"	Avenida 9E CON Calle 4N	0,7802	2,069	1,614
6/10/2017	10	N 7° 54' 07,7"	W 72° 29' 34,4"	Avenida 9E CON Calle 4AN	0,7254	1,924	1,395
6/10/2017	11	N 7° 54' 09,8"	W 72° 29' 34,8"	Avenida 9E CON Calle 5AN	0,4005	1,062	0,4254
6/10/2017	12	N 7° 54' 09,8"	W 72° 29' 38,4"	Avenida 7E CON Calle 5AN	1,009	2,676	2,700

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Valor promedio máximo de la contaminación electromagnética en el barrio Los Pinos. Medición al aire libre, Campo eléctrico o serie 1 (V/m), campo magnético o serie 2 (mA/m) y densidad de potencia o serie 3 (μW/m²)



Fuente: elaboración propia.

Al observar la fuente radiante o EBTM, se identifica fácilmente el punto 7 como el punto de medición más cercano; el cual no es el punto más elevado, de acuerdo con la interpretación de la gráfica de magnitudes. Lo anterior se debe a la cercanía de este punto con la antena, ya que la proyección de la antena funciona como la luz de un faro, la cual no ilumina su base, ni un radio circundante a esta. Los valores más elevados están en el punto 8, el cual se encuentra a una distancia de 64,8 metros y es el que presenta los mayores valores, junto con los puntos 6 y 5, ubicados al otro lado del parque a una distancia de 120,1 metros y 169,9 metros de la EBTM, respectivamente.

De esta manera surge la siguiente inquietud: ¿es posible afirmar que los valores elevados se deban a radiación electromagnética de frecuencias entre 10 MHz y 8 GHz? En relación con dicho interrogante, se observa que la densidad de potencia es baja cuando la fuente radiante es un equipo sin tecnología inalámbrica, la densidad es elevada, la fuente radiante es un equipo con tecnología inalámbrica, o en este caso una EBTM, como se evidencia en los puntos de valores más elevados, en la cual se identifica que la densidad de potencia es la magnitud de mayor rango.

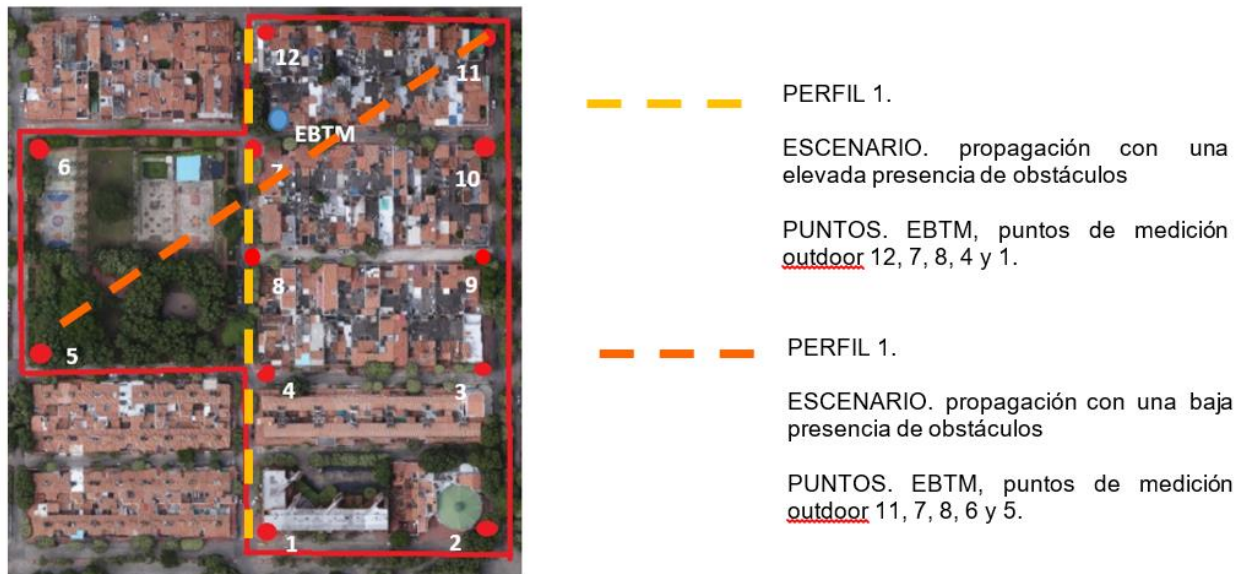
Otra inquietud de carácter técnico es la siguiente: si el punto 4 dista menos de la EBTM que los puntos 5 y 6, ¿por qué estos últimos tienen mayores magnitudes? En este caso, la aclaración consiste en que los puntos 5 y 6 están ubicados al otro lado del parque y presentan pocos objetos que causen apantallamiento, de tal forma que le permiten a la onda desplazarse sin mayor obstrucción. La situación del punto 4 es la contraria, está cerca a la fuente radiante pero existen edificaciones que causan reflexión, difracción y dispersión.

Discusión

El ambiente al aire libre del barrio Los Pinos se puede tipificar como el comportamiento de la contaminación electromagnética en los sectores circundantes a las EBTM en un radio de 120 metros.

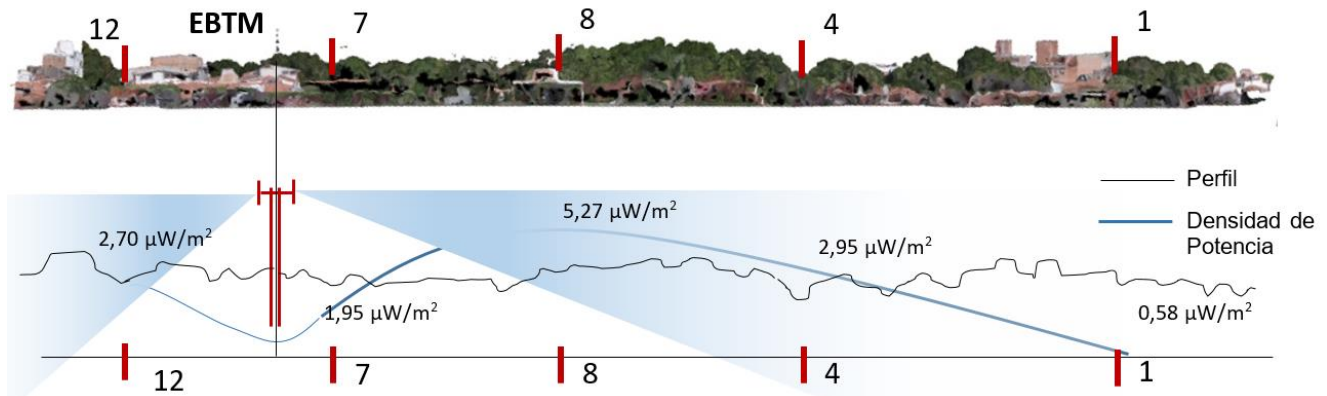
En el ambiente al aire libre se pueden presentar dos escenarios muy frecuentes (perfil 1 y 2 de la figura 8). El primero corresponde a una propagación con una fuerte presencia de obstáculos que generan apantallamiento y, por ende, una disminución en la contaminación electromagnética. Este escenario se presenta cuando los obstáculos son edificaciones, principalmente en mampostería, las cuales dificultan el libre paso de las ondas (figura 9). El segundo escenario planteado corresponde a una propagación con poca presencia de obstáculos que no generan apantallamiento, como parques, zonas verdes, parqueaderos a cielo abierto, entre otros, lo cual permite a las ondas desplazarse sin ninguna restricción, presentando una contaminación electromagnética elevada si está dentro del radio de 120 metros de la EBTM.

Figura 8. Perfiles del análisis de contaminación electromagnética al aire libre



Fuente: elaboración propia.

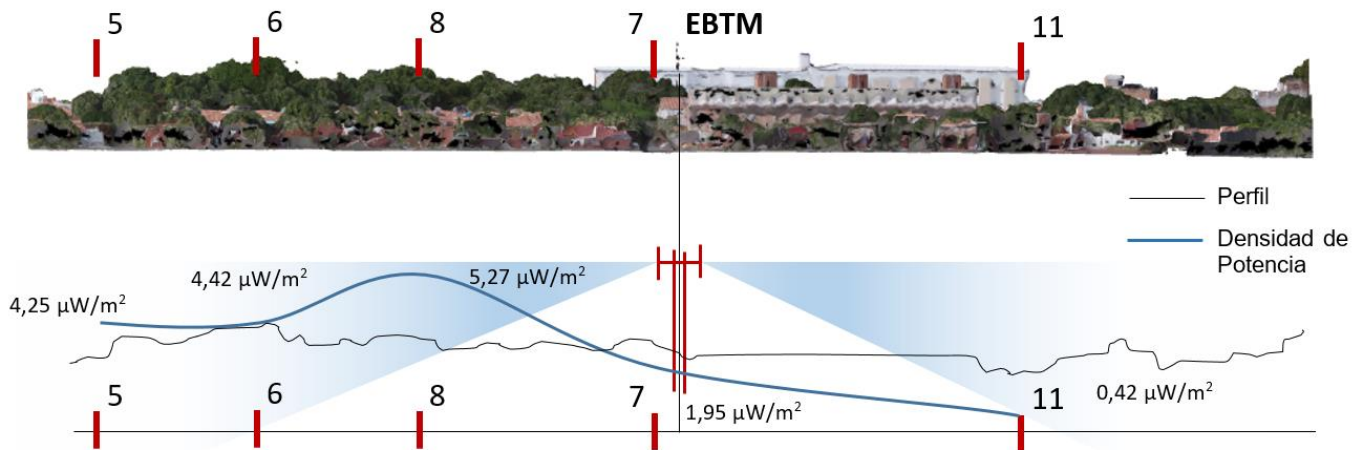
Figura 9. Perfil 1: densidad de potencia con apantallamiento de casa y edificaciones



Fuente: elaboración propia.

En el perfil 1, correspondiente a la figura 9, tomando la EBTM y los puntos de medición 12, 7, 8, 4 y 1 del barrio Los Pinos (figura 8), se muestra cómo en presencia de viviendas y edificaciones –que para el presente caso corresponden a casas de 1 y 2 pisos entre los puntos 12 y 4 y edificaciones de 4 pisos entre el punto 4 y 1– la densidad de potencia disminuye considerablemente (representa por la curva azul) debido al efecto de apantallamiento producto de las casas y edificaciones ubicadas en el trayecto.

Figura 10. Perfil 2 densidad de potencia sin apantallamiento de casas y edificaciones.



Fuente: elaboración propia.

En el perfil 2, correspondiente a la figura 10, tomando para este caso el punto de la EBTM y los puntos de medición 11, 7, 8, 6 y 5 del barrio Los Pinos (figura 8) –y ubicando todos sobre una sola línea recta bajo el precepto que las antenas ubicadas en la EBTM irradian de manera constante los puntos de forma radial–, se observa que los puntos de medición comprendidos entre el punto 5 y el 8, correspondientes al parque Los Pinos, poseen valores mayores de densidad de potencia y, por tanto, mayor contaminación electromagnética. En el caso de los puntos de medición 7 y 11, ubicados entre viviendas y edificaciones, se exhiben los valores de densidad de potencia más baja, por ende se puede afirmar que poseen una menor contaminación ambiental por ondas electromagnéticas.

Por último, una vez analizados los anteriores planteamientos, se puede afirmar que, en el caso específico del barrio Los Pinos, existe mayor contaminación por ondas electromagnéticas en el parque que en las calles internas del mismo, sin importar si están próximas a la EBTM, debido al efecto de apantallamiento de las edificaciones.

CONCLUSIONES

Los acelerados procesos de urbanización incrementan la cantidad e intensidad de los contaminantes que ejercen efectos negativos en la salud y la calidad de vida de los habitantes de los cada vez más grandes entornos urbanos. Teniendo en cuenta que, a diferencia de la contaminación atmosférica por residuos sólidos o la contaminación del agua, algunos contaminantes como las ondas electromagnéticas no se aprecian fácilmente, se hace necesario adelantar investigaciones exhaustivas tendientes a confirmar o desvirtuar sus efectos negativos en los entornos habitados por el ser humano.

Lo anterior adquiere mayor relevancia si se tiene en cuenta que en las últimas décadas las ondas electromagnéticas han tenido un incremento considerable, el cual va de la mano de los crecientes procesos de densificación y consolidación urbana y del gigantesco crecimiento

de la telefonía móvil y las conexiones de banda ancha en términos de cantidad, cobertura, intensidad de uso y aplicación a todas las funciones del hombre.

Como respuesta a esa tendencia global predominante, también se encuentra en ascenso la preocupación individual, colectiva e institucional sobre los riesgos que ejercen los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en la salud de las personas y la calidad del ambiente, específicamente en lo concerniente a la exposición a la radiación electromagnética producto del abundante uso de telefonía móvil y de la creciente necesidad de conectividad para el acceso a internet, representados en el desmedido aumento de estaciones base de telefonía móvil (EBTM) en las ciudades.

En ese sentido, se requieren elementos de juicio para reconocer e interpretar adecuadamente los niveles de exposición a las ondas electromagnéticas y de contaminación que estas ejercen en lugares de uso y ocupación frecuente, tales como los diferentes elementos representativos del espacio público, entre los que se encuentran un sinnúmero de espacios al aire libre apetecidos por las comunidades para el desarrollo de actividades cotidianas de integración, recreación, ocio y esparcimiento. Máxime si se tiene en cuenta que cerca de dichos espacios, generalmente, se encuentran ubicadas EBTM para dar respuesta a la necesidad de cobertura que demanda la ciudad.

La elección de la ciudad y el área objeto de estudio, como es el caso de Cúcuta y el parque deportivo y recreacional de uso público ubicado en el barrio Los Pinos, responde a criterios estratégicos comunes a muchas ciudades y espacios urbanos abiertos tales como densidad poblacional, regularidad del relieve, bajo índice de precipitación (que no afecta la toma de mediciones) y usos del suelo de tipo residencial, comercial e institucional, los cuales no solo permiten reducir la cantidad de variables de análisis y agilizar el proceso diagnóstico, sino que además admiten la posibilidad de hacer extensivos los resultados de la investigación a muchos contextos urbanos con características similares.

La estimación de la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en ambientes al aire libre se encuentra estrechamente ligada al tipo de fuentes de emisión, número de fuentes, distancia a las fuentes, ubicación del espacio en estudio y densidad de edificaciones que confinan el sitio objeto de estudio. Así mismo, este tipo de contaminación se encuentra cercanamente relacionada con la densidad de edificaciones u obstáculos y con los materiales de ingeniería empleados en su construcción.

Los resultados de esta investigación señalan que el área urbana ubicada a una distancia de 60 metros de una EBTM presenta una mayor contaminación electromagnética por ondas no ionizantes en áreas no provistas de edificaciones que en zonas edificadas. Por lo anterior, el mayor valor de contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes en el barrio Los Pinos de la Ciudad de Cúcuta se presentó en el parque o área de esparcimiento, con un valor de densidad de potencia de $5,27 \mu\text{W}/\text{m}^2$.

En un ambiente al aire libre con alta densidad de edificaciones y espacio público, en los 120 metros circundantes a la EBTM las mediciones de contaminación ambiental son más elevadas en el área de esparcimiento a cielo abierto y, por ende, se presenta mayor

contaminación en dichos sitios. La relación de la contaminación ambiental de la zona densamente edificada con respecto a zonas poco edificadas es de 1:10.

De acuerdo con lo expuesto, la estructura regular de un barrio convencional, representada en la disposición de viviendas, edificaciones de uso complementario y parques, no solo facilita el análisis de la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes para las comunidades que habitan áreas similares, sino que también genera el reconocimiento de que el excesivo e inadecuado emplazamiento de EBTM en los entornos residenciales hace que los espacios al aire libre, generalmente relacionados con el mejoramiento de la calidad de vida, no cumplan con su función primordial de garantizar el derecho de los ciudadanos a un ambiente sano.

REFERENCIAS

- Andrade-Guerrero, D. M., & Contreras-Ortiz, C. F. (2014). *Medición y análisis de nivel de exposición a radiaciones no ionizantes (RNI) en ambientes indoor en la ciudad de Cuenca, dentro del espectro radioeléctrico en la banda de frecuencia de telefonía celular* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Arribas-Garde, E., Barrera-Kalhil, J., Beléndez-Vázquez, A., González-Rubio, J., & Nájera-López A. (2014). ¿Absorbe nuestro cuerpo las ondas electromagnéticas? *Lat. Am. J. Sci. Educ.* 1, 1-12
- Asociación de la Industria Móvil de Colombia [Asomóvil]. (2016). <https://cintel.co/wp-content/uploads/2016/04/Pres-Nancy-Gutierrez-3C.pdf>.
- Castellanos-Díaz, E., & Talero-Niño, J. B. (2005). Análisis de propagación electromagnética en espacios cerrados: Herramienta software en Matlab para predicción y simulación. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(6), 130-137.
- Castillo-Sarmiento, A. Y., Suárez-Gélvez, J. H., & Mosquera-Téllez, J. (2017). Naturaleza y sociedad: relaciones y tendencias desde un enfoque eurocéntrico. *Luna Azul*, 44, 348-371. doi: 10.17151/luaz.2017.44.21
- Comisión Internacional para la Protección Contra la Radiaciones No Ionizantes [ICNIRP]. (1998). *Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz)*. Oberschleissheim: ICNIRP.
- Comisión Internacional para la Protección Contra la Radiaciones No Ionizantes [ICNIRP]. (2009). *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)*. Oberschleissheim: ICNIRP.
- Comisión Internacional para la Protección Contra la Radiaciones No Ionizantes [ICNIRP]. (2018). <https://www.icnirp.org/en/home/home-read-more.html> .
- Febles-Santana, V. M. (2015). *Efectos radiaciones no ionizantes en el cuerpo humano* (tesis de maestría). Universitat Oberta de Catalunya, España.
- Gallego-Serna, L. M. (2011). *Lineamientos para le gestión del riesgo de las áreas urbanas expuestas a las radiaciones electromagnéticas emitidas por las estaciones base de telefonía móvil estudio de caso: Municipio de Cartago Valle* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Henao-Céspedes, V. (2012). *Propuesta metodológica para medición de la contaminación electromagnética y su aplicación en la elaboración de un mapa de riesgo de la ciudad de Manizales* (tesis de postgrado). Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- International Agency for Research on Cancer [IARC]. (2013). *Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 112. Lyon: IARC.

- Martínez-Reina M. D., & Amado-González, E. (2012). Densidad e índice de refracción de mezclas binarias sulfolano+tolueno: correlación y predicción del volumen de exceso molar. *Avances Investigación en Ingeniería*, 9(1), 25-38
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (31 de enero de 2005). Decreto 195 de 2005 por el cual se adopta límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones.
- Mosquera, J. (2006). Arquitectura y desarrollo. *Revista científica UNET*, 18(2), 152-161.
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2001). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. OIT.
- Quintana, A., & Sepúlveda, O. (2013). *Niveles de radiación de campo electromagnético presentes en las antenas WIFI Omnidireccionales* (tesis de pregrado). Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- Telecom Argentina. (2018). ¿Cómo funciona un sistema de telefonía móvil? Recuperado de https://institucional.telecom.com.ar/antenas/images/triptico_antenas_como_funciona.pdf.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). (2018). IUT-T K.61. *Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas*. Ginebra: UIT.