

CONTAMINACION AMBIENTAL POR ONDAS
ELECTROMAGNETICAS NO IONIZANTES PRODUCTO DE
TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN ESPACIOS
HABITABLES DE DESCANSO



OSCAR GERARDO BARRERA MONSALVE

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA (NORTE DE SANTANDER)
2018

CONTAMINACION AMBIENTAL POR ONDAS
ELECTROMAGNETICAS NO IONIZANTES PRODUCTO DE
TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN ESPACIOS
HABITABLES DE DESCANSO



OSCAR GERARDO BARRERA MONSALVE

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental

Director
PhD JEMAY MOSQUERA TELLEZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA (NORTE DE SANTANDER)
2018

A Dios.

A mis padres por la vida y sus innumerables sacrificios.

A mis hermanos por acompañarme en este camino llamado vida.

A los más pequeños de la familia fuentes de alegría.

A mi esposa por su amor incondicional, por levantarme cada vez que he caído, por darme el regalo más grande, por hacerme sentir un ser completo.

A mi hija por cada día, cada sonrisa, cada hermosa picardía.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Jemay Mosquera Tellez, Ph.D. Urbanismo Planeación Regional Arquitectura Del Pai y Director de Investigación por su visión, orientación y asertividad.

Jacipt Alexander Ramon, Ph.D. en Química por incentivar la investigación y desarrollo académico en la Región.

Los compañeros de la Maestría en Ingeniería Ambiental por dos años de invaluable compañerismo, amistad y colaboración.

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCION.....	17
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO GENERAL.....	19
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
CAPITULO 1. ANTECEDENTES.....	20
1.1 ESTADO DEL ARTE.....	20
1.1.1 INTERNACIONAL.....	21
1.1.1.1 Organismos Internacionales, parámetros y recomendaciones de Niveles de Referencia.....	22
1.1.1.2 Estadísticas Usuarios de equipos de comunicación a base de tecnologías inalámbricas (Wifi y telefonía móvil).....	29
1.1.1.3 Desarrollo de tecnologías inalámbricas (Wifi y telefonía móvil) como indicador ante organizaciones económicas.....	32
1.1.1.4 Estudios ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas.....	34
1.1.1.5 Sistemas de monitoreo continuo contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas.....	36
1.1.1.6 Estudios contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas indoor.....	40

1.1.2 NACIONAL.....	41
1.1.2.1 Organismos Nacionales, parámetros y recomendaciones de Niveles de Referencia.....	41
1.1.2.2 Estadísticas Usuarios de equipos de comunicación a base de tecnologías inalámbricas (Wifi y telefonía móvil).....	44
1.1.2.3 Sistemas de monitoreo continuo contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas.....	47
1.1.2.4 Estudios contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas indoor.....	48
1.1.3 REGIONAL.....	49
1.1.3.1 Estadísticas Usuarios de equipos de comunicación a base de tecnologías inalámbricas (Wifi y telefonía móvil)	49
1.1.3.2 Sistemas de monitoreo continuo contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas.....	50
1.1.3.3 Estudios contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas indoor.....	52
1.2 MARCO REFERENCIAL.....	53
1.3 MARCO TEORICO.....	57
1.3.1 ORIGEN ONDAS ELECTROMAGNETICAS.....	57
1.3.2 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS IONIZANTES Y NO IONIZANTES Y SUS EFECTOS	58
1.3.3 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA.....	60
1.3.3.1 Propagación ondas electromagnéticas.....	60
1.3.3.2 Mecanismos de Propagación.....	62
1.3.3.3 Propagación outdoor.....	62

1.3.3.4 Propagación indoor.....	63
1.3.3.5 Fuente emisora ambiente Outdoor.....	64
1.3.3.6 Fuente emisora ambiente indoor.....	67
1.3.4 INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO (E).....	69
1.3.5 INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO (H).....	69
1.3.6 DENSIDAD DE POTENCIA.....	70
1.3.7 MEDICION DE CAMPOS ELECTROMAGNETICOS.....	70
1.3.7.1 Medición de campos electromagnéticos outdoor.....	73
1.3.7.2 Medición de campos electromagnéticos indoor.....	73
1.4 MARCO LEGAL.....	74
CAPITULO 2. METODOLOGIA.....	76
2.1 DOCUMENTACION.....	78
2.2 PRACTICA.....	80
2.2.1 CONTEXTO DEL PROYECTO.....	80
2.2.1 POBLACION Y AREAS OBJETO DE ESTUDIO.....	80
2.2.3 DETERMINACION EQUIPOS DE TECNOLOGIA INALAMBRICA Y SU INFLUENCIA.....	85
2.2.4 MEDICION CAMPOS ELECTROMAGNETICOS.....	86
2.2.4.1 Magnitudes a medir.....	86
2.2.4.2 Periodo de medición.....	86
2.2.4.3 Equipo de medición.....	86
2.2.3.4 Horario toma de mediciones.....	87

2.2.4.5 Medición outdoor – indoor Barrio Los Pinos.....	87
2.2.4.6 Medición indoor otros puntos.....	90
2.3 PROCESAMIENTO.....	91
2.3.1 Outdoor Los Pinos.....	91
2.3.1 Indoor Barrio Los Pinos.....	93
2.3.3 Indoor Barrio de Cúcuta 75, Torocorma III, Prados del Este y Conjunto Manzanares.....	94
2.4 MODELO DE SIMULACION.....	95
2.4.1 Descripción.....	95
2.4.2 Objetivo.....	96
2.4.3 Metodología.....	96
2.4.4 Mediciones.....	96
2.4.5 Procesamiento.....	100
CAPITULO 3. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....	102
3.1 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA OUTDOOR LOS PINOS.....	102
3.2 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA INDOOR.....	107
3.3 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA MODELO DE SIMULACION.....	111
3.4 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA, ARQUITECTURA Y MATERIALES DE INGENIERIA.....	114
CONCLUSIONES.....	117
RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	121

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificaciones agentes de las monografías IARC.....	22
Tabla 2. Niveles de Referencia ICNIRP Ocupacionales.....	26
Tabla 3. Niveles de Referencia ICNIRP Poblacionales.....	27
Tabla 4. Principales recomendaciones de la UIT sobre ondas electromagnéticas o EMF (Electromagnetic Field).....	28
Tabla 5. Reducción de radiación electromagnética en función de la calidad de señal en diferentes ambientes.....	35
Tabla 6. Áreas con sistema de monitoreo continuo.....	39
Tabla 7. Límites máximos de exposición según la frecuencia de operación.....	43
Tabla 8. Información estaciones sistema de monitoreo continuo de campos electromagnéticos en Cúcuta.....	51
Tabla No. 9. Características de los campos eléctricos y magnéticos.....	57
Tabla 10. Nomenclatura de las bandas de frecuencia y de las longitudes de onda utilizadas en radiocomunicaciones.....	61
Tabla 11. Valores promedio máximo puntos outdoor Barrio Los Pinos.....	89
Tabla 12. Valores promedio máximo puntos indoor Barrio Los Pinos.....	90
Tabla 13. Valores promedio máximo puntos indoor barrio de Cúcuta 75, Torocorma III, Prados del Este y Conjunto Manzanare.....	91
Tabla 14. Mediciones modelos de simulación sin restricción y en caja metálica.....	96
Tabla 15. Mediciones modelos de simulación caja de arcilla y en caja de icopor.....	98
Tabla 16. Mediciones modelos de simulación caja de aluminio.....	99
Tabla 17. Valores promedio máximo modelo de simulación.....	99

Tabla 18. Tabla 18. Valores promedio máximo mediciones ciudad de Cuenca (Sector U. Nacional – Av. Guayas) y Ciudad de Cúcuta (Barrio Los Pinos).....	105
Tabla 19. Valores promedio máximo mediciones ciudad de Cuenca (Remigio Romero 3-55) y Ciudad de Cúcuta (Barrio Los Pinos).....	110
Tabla 20. Valores promedio máximo modelo de simulación según los seis ambientes planteados.....	112

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación del método de medida del SAR.....	24
Figura 2. Límites de exposición Tasa de absorción específica (SAR) Ocupacional y poblacional ICNIRP.....	25
Figura 3. Convergencia de las tendencias de los abonos móviles-celulares y de la población mundial. Incluye todas las tecnologías.....	29
Figura 4. Suscriptores telefonía celular (por cada 100 personas).....	30
Figura 5. Penetración y abonos a servidores móviles de banda ancha en todo el mundo para finales de 2013 (cálculo estimativo) y tasa compuesta de crecimiento anual (TCCA) 2010-2013.....	31
Figura 6. Suscriptores banda ancha fija (por cada 100 personas).....	32
Figura 7. Correlación entre el Network Readiness Index [WEF2010] y el Global Competitiveness Index [WB2010].....	33
Figura 8. Contribución de la economía de internet al PIB en países seleccionados, 2009-2010 (En porcentajes del PIB).....	34
Figura 9. Puntos del sistema de monitoreo continuo.....	36
Figura 10. Datos tomados por Sistema Monitoreo Continuo Barcelona.....	37
Figura 11. Enlace publico sistema monitoreo continuo San Salvador.....	37
Figura 12. Mapas Dinámicos de Radiaciones.....	38
Figura 13. Mapa de RNI San Salvador.....	39
Figura 14. Abonados telefonía móvil e índice de penetración de telefonía móvil....	44
Figura 15. Comportamiento de suscriptores a internet móvil por generación móvil.	45
Figura 16. Suscriptores y accesos a internet móvil por demanda.....	46
Figura 17. Presentación Sistema de medición continua en línea ANE.....	47

Figura 18. Total suscriptores de internet en Norte de Santander.....	49
Figura 19. Ubicación estaciones sistema de monitoreo continuo de campos electromagnéticos en Cúcuta.....	50
Figura 20. Grafico historio mediciones estación Latino (14MT0413) de Cúcuta.....	52
Figura 21. efectos las ondas del teléfono celular. absorción cerebro según la edad.....	54
Figura 22. Flujo del proceso de la Investigación mixta.....	57
Figura 23. Espectro de Ondas Electromagnéticas.....	58
Figura 24. Energía absorbida por diferentes partes del cuerpo expuesto a los CEM.....	59
Figura 25. Componentes del campo eléctrico y magnético de una onda electromagnética plana.....	60
Figura 26. Propagación Multi-trayecto.....	63
Figura 27. Estación base de telefonía móvil y antenas.....	65
Figura 28. Forma real y conceptual cobertura estación base de telefonía móvil.....	65
Figura 30. Enrutador wifi Askey modelo RTV9015VW de uso doméstico.....	68
Figura 31. Teléfono móvil tipo Smartphone SAMSUNG J5 PRIME.....	69
Figura 32. Ilustración de una alteración multitrayecto debido a la presencia de un cuerpo humano.....	72
Figura 33. Metodología de investigación aplicada.....	77
Figura 34. a. Fotografía aérea delimitación y puntos de medición outdoor propuestos y b. fotografía altimetría Barrio Los Pinos (Cúcuta) y puntos de medición indoor propuestos.....	81
Figura 35. Fotografía 3D Barrio Los Pinos (Cúcuta).....	82
Figura 36. Mapa de Cúcuta y ubicación puntos de medición seleccionados.....	83

Figura 37. Plano distribución común habitaciones vivienda	84
Figura 38. Ubicación equipo celular en horas de sueño o descanso.....	85
Figura 39. Equipo medidor de intensidad de RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846.....	87
Figura 40. a. EBTM Barrio Los Pinos, b. Georreferenciación punto y c. Medición outdoor EBTM.....	88
Figura 41. Medición indoor sin presencia de equipos de tecnología inalámbrica ...	89
Figura 42. Contaminación Electromagnética. Valores promedio máximo Barrio Los Pinos. Medición outdoor	92
Figura 43. Contaminación Electromagnética. Valores promedio máximo Barrio Los Pinos. Medición Indoor.....	93
Figura 44. Contaminación Electromagnética. Valores promedio máximo Barrios Cúcuta 75, Torocorma III, Prados del Este y Conjunto Manzanares. Medición Indoor.....	94
Figura 45. Fotografía cajas de modelo de simulación en arcilla, metal, aluminio, melamina e icopor y propiedades.....	95
Figura 47. Perfiles análisis contaminación electromagnética outdoor.....	103
Figura 48. Perfil 1 Densidad de potencia con apantallamiento de casa y edificaciones.....	103
Figura 49. Perfil 2 densidad de potencia sin apantallamiento de casas y edificaciones.....	104
Figura 50. Grafica densidad de potencia mediciones ciudad de Cuenca (Sector U. Nacional – Av. Guayas) y Ciudad de Cúcuta (Barrio Los Pinos)	106
Figura 51. Grafica densidad de potencia mediciones Barrio Los Pinos y densidad de potencia mediciones Barrio Cúcuta 75, Torocorma III, barrio Prados del Este y Conjunto Manzanares.....	107
Figura 52. a. Propuesta Grafica Modelo Contaminación electromagnética mediante el uso de Densidad de potencia en zonas densamente pobladas sin equipos de tecnologías inalámbricas.....	109

Figura 53. Grafica densidad de potencia mediciones Barrio Los Pinos y densidad de potencia mediciones Barrio Cúcuta 75, Torocorma III, barrio Prados del Este y Conjunto Manzanares.....	110
Figura 54. Contaminación electromagnética en ambiente sin material de restricción.....	112
Figura 55. Valores promedio máximo modelo de simulación según los seis ambientes planteados.....	113
Figura 56. Grafica radial valores promedio máximo modelo de simulación Campo eléctrico (mV/m), Campo magnético (mA/m), y Densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)...	114
Figura 57. Alternativa arquitectónica para disminución de contaminación electromagnética de origen outdoor.....	116
Figura 58. Alternativa arquitectónica para disminución de contaminación electromagnética de origen indoor.....	116

RESUMEN

El proyecto consistió en estudiar la “contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en espacios habitables de descanso” normalmente aplicable a la habitación durante las horas de sueño, mediante el registro de indicadores como Intensidad de campo eléctrico, Intensidad de campo magnético, densidad de potencia y tiempo de exposición a dispositivos como teléfonos celulares y enrutadores (Routers o rúteres). El objetivo general del proyecto es Estimar la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en espacios habitables de descanso, mediante Discriminación de los dispositivos productores de ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en espacios habitables de descanso y Establecimiento de las magnitudes de los parámetros de ondas electromagnéticas no ionizantes en espacios habitables de descanso. La metodología seguida fue búsqueda de estudios y proyectos de investigación similares en Organizaciones e instituciones a nivel internacional, nacional y regional, establecimiento de los sitios a realizar muestreo, toma de datos. Intensidad de campo eléctrico (v/m), Intensidad de campo magnético (A/m), densidad de potencia (w/m²) y tiempo de exposición (T) a dispositivos; mediante la aplicación de software se procesará la información recolectada durante la etapa de práctica; y, por último, Modelación y simulación de la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes presente en espacios habitables de descanso. El estudio concluye que la Estimación de la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en espacios habitables de descanso se encuentra estrechamente ligada al tipo de fuentes de emisión, número de fuentes, distancia a las fuentes, ubicación del espacio en estudio y materiales de construcción que confinan el sitio; la Discriminación de dispositivos productores se debe basar según la fuente y tipo de onda electromagnética no ionizante generada y el establecimiento de las magnitudes de los parámetros está ligada a una serie de variables que en la mayoría de las ocasiones quien los habita no puede establecer o controlar, pero mediante el correcto diseño del espacio habitable puede disminuir.

ABSTRACT

The project consisting in studying the "environmental pollution by non-ionizing electromagnetic waves produced by wireless technologies in habitable rest spaces" normally applicable to the room during sleep hours, by recording indicators such as electric field strength, magnetic field strength, power density and exposure time to devices such as cell phones, routers and satellite or digital TV decoders, among others. The general objective of the project is estimate the environmental contamination by electromagnetic waves non-ionizing product of wireless technologies in habitable spaces for resting, by Discrimination the devices producing non-ionizing electromagnetic waves produced by wireless technologies in residential living spaces and Establishment the magnitudes of non-ionizing electromagnetic wave parameters in habitable rest spaces. The methodology followed was Search for studies and similar research projects in Organizations and institutions at international, national and regional level, Establishment of sites to perform sampling and data collection. Electrical field strength (v / m), Magnetic field strength (A / m), power density (w / m^2) and exposure time (T) to devices; through the application of specialized software the information collected during the practice stage will be processed; and finally, Modeling and simulation of environmental pollution by non-ionizing electromagnetic waves present in habitable rest spaces. The study concludes that the estimation of environmental pollution by non-ionizing electromagnetic waves produced by wireless technologies in habitable rest spaces is closely linked to the type of emission sources, number of sources, distance to sources, location of studied space and construction materials that confine the site; Discrimination of devices should be based on the source and type of non-ionizing electromagnetic wave generated and The establishment of the magnitudes is linked to a series of variables that in most cases the inhabitant cannot establish or control, however through the correct design of the living space it can be decreased.

INTRODUCCION

La humanidad desde su inicio ha tenido la ingente necesidad de comunicarse, interrelacionarse y transmitir conocimiento, es decir proveer información unos a otros; partiendo de primitivos fonemas, pinturas rupestres o escritos en piedra, hoy día toda información está al alcance de cualquiera en tan solo centésimas de segundo con el accionar de un click o el pulsar una pantalla táctil y todo gracias a lo que se denomina como “conectividad”.

La conectividad fue difícil de alcanzar pese a su rápido desarrollo, pues las comunidades y ciudades se vieron inmersas en un mar de antenas y equipos los cuales afectaron visiblemente el paisaje urbano haciéndose cada vez más cotidianas en el horizonte pese a no contar con extensos cableados ni puntos fijos de apoyo en cada calle.

En la vida cotidiana, cada vez más personas son dependientes de la conectividad y por ende de la tecnología generadora de Ondas electromagnéticas no ionizantes. Algunos dispositivos generadores de ondas electromagnéticas son adquiridos por voluntad propia y otros asignados y proveídos por empresas de servicios para una mejor operación de sus redes y productos. Por lo anterior, la proliferación de dispositivos generadores de ondas electromagnéticas es evidente y el aumento de la contaminación ambiental por estas son cada vez mayor en el entorno.

El enfoque dado a la investigación de Ondas electromagnéticas no ionizantes por los centros de investigación, comúnmente han sido a espacios públicos o de trabajo, ignorando los lugares de acceso restringido por su naturaleza íntima o privada como son los espacios habitables de descanso.

Las personas del común y grupos de investigación a lo largo y ancho del planeta cada día presentan mayores interrogantes, acerca de los posibles riesgos producto de la exposición continua y masiva a ondas electromagnéticas no ionizantes, a tal punto, que la Organización Mundial de la Salud (OMS) por medio de la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC siglas en inglés) en el documento “Monografías sobre la evaluación de los riesgos carcinogénicos para humanos” categorizo en el año 2013 a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como grupo 2B cuya definición es “Posiblemente carcinógeno para el ser humano” (IARC, 2013:112). Lamentablemente los resultados de los diferentes estudios han sido variados y contradictorios lo cual ha llevado a comunidades

políticas como la UNION EUROPEA a tomar medidas regulatorias, mientras que muchas naciones solo se rigen a la reglamentación internacional que es considerada permisiva debido a sus valores de restricción elevados.

Las ondas electromagnéticas son de origen natural y artificial. Las primeras han estado siempre presentes desde el inicio de la vida, bien sean de origen cósmico o terrestre y por ende los seres vivos están adaptados para vivir con estas en su entorno. Las segundas han sido producto del avance tecnológico del hombre en el último siglo, siendo cada vez más poderosas en su señal y confinadas a espacios más pequeños. Prueba de la anterior afirmación son las ondas electromagnéticas no ionizantes utilizadas para las comunicaciones, más exactamente las correspondientes a equipos wifi y telefonía celular.

Los equipos wifi y telefonía celular son hoy en día los más comunes, los primeros para los hogares y sitios públicos y los segundos para las personas, ante la necesidad de mantenerse conectados las 24 horas a las redes sociales, lo cual ha incentivado su expansión. Es comprensible que el ser humano este expuesto en sitios públicos y de trabajo a ondas no ionizantes inconscientemente, sin conocer o identificar el grado de exposición; pero en el seno de su hogar, al momento de descansar o en sus ratos de ocio en sus espacios habitables de descanso debiese tener el control sobre la cantidad de radiación no ionizante recibida.

Las autoridades a cargo de regularizar el espectro electromagnético de las ondas, lamentablemente no han propendido por desarrollar estudios, políticas y mucho menos recomendaciones en busca que la persona del común tenga pleno conocimiento de cuan rodeado de ondas electromagnéticas no ionizantes de origen artificial se encuentran en su vivienda, más exactamente en su habitación, mientras descansa.

La investigación presentada a continuación busca establecer las magnitudes de ondas en espacios habitables de descanso, los equipos de tecnologías inalámbricas que contaminan electromagnéticamente espacios habitables de descanso, la influencia de la distancia de los aparatos emisores o fuentes de ondas con respecto a su ubicación y la influencia de la arquitectura y los materiales de ingeniería de los espacios habitables de descanso en la contaminación electromagnética.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estimar la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en espacios habitables de descanso.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Discriminar los dispositivos productores de ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en espacios habitables de descanso.

Establecer las magnitudes de los parámetros de ondas electromagnéticas no ionizantes en espacios outdoor e indoor (o espacios habitables de descanso).

Comparar los resultados de contaminación ambiental por ondas electromagnéticas outdoor e indoor; e igualmente comparar las mediciones desarrolladas en el marco del proyecto con mediciones de otros estudios similares en sus respectivas zonas de estudio.

Demostrar a que distancia entre las fuentes indoor y le cuerpo humano se registran magnitudes más elevadas de contaminación ambiental por ondas electromagnéticas.

Definir un modelo de simulación que explique el comportamiento de los materiales de revestimiento de ambientes indoor (o espacios habitables de descanso) con respecto a la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1 ESTADO DEL ARTE

Los seres vivos desde que nacen están expuestos a ondas electromagnéticas de carácter natural como son las provenientes del planeta, el sol y el espacio o en efecto los resultantes del efecto albedo; al estar siempre presente la radiación producto de las ondas electromagnéticas de origen natural, los seres vivos han desarrollado la capacidad de adaptarse a las mismas y en el caso específico del ser humano y debido al aumento del impacto negativo de dichas ondas se ha visto obligado a realizar estudios y desarrollar tanto políticas como productos para disminuir los efectos negativos.

El ser humano en la búsqueda de comunicarse pronto desarrollaría sistemas basados en la generación de ondas electromagnéticas y cuya transmisión se realiza a través de cables a grandes distancias, pero a su vez con altos costos; rápidamente la radio y la televisión serían transmitidas por antenas sin la necesidad de uso de cables, pero la telefonía continuaría con dicha dependencia por unos años más. Fue así como en 1971 un grupo de investigadores de la Universidad de Hawai dirigidos por Norman Abramson crearon el primer sistema de conmutación de paquetes mediante una red de comunicación por radio y a la cual se llamó ALOHA. Un año después ALOHA se conectó mediante ARPANET al continente americano. ARPANET es una red de computadoras creada por el Departamento de Defensa de los EEUU como medio de comunicación para los diferentes organismos del país (Romero, 2012).

A finales del siglo XX, se implementa el internet comercial, 20 años después de la integración de ALOHA a ARPANET; increíblemente y de forma paralela los países nórdicos por su especial orografía y demografía, desarrollaban el sistema de comunicación móvil comercial no obstante con un tamaño y unos precios exagerados y no muy prácticos.

El desarrollo de la telefonía celular y la transmisión de datos vía internet ha sido tal que hoy día van de la mano facilitando una comunicación rápida, eficiente y eficaz debido a la conectividad permanente bien sea a través de planes de datos o el uso de redes wifi.

La rápida expansión de las redes de comunicación inalámbrica y el continuo cambio de las tecnologías producto de altas inversiones por parte de la empresa privada y de algunos países como política de Estado por expandir las tecnologías de la información y la comunicación – TIC han conllevado que los estudios de impacto ambiental incluyan en su contenido un capítulo correspondiente a Contaminación Electromagnética y dentro de este a su vez, las ondas electromagnéticas generadas por equipos móviles y wifi.

1.1.1 INTERNACIONAL

Los primeros estudios correspondientes a efectos sanitarios de las Radiaciones electromagnéticas No Ionizantes (RNI) iniciaron en los años 60 según Méndez (2004, Citado por Méndez, N. R., 2008), donde se verificó respuestas fisiológicas debido a la radiación que podían ser benéficas como en la fisioterapia o en otros casos nociva; Pero fue hasta 1992 en Montreal (Canadá) durante el Octavo Congreso Internacional de la International Radiation Protection Association (IRPA) fue establecida una nueva organización científica independiente, La Comisión Internacional para la Protección Contra la Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), que tiene como funciones investigar los peligros que pueden ser asociados con las diferentes formas de RNI, desarrollar recomendaciones Internacionales sobre límites de exposición para RNI, y tratar todos los aspectos sobre protección contra las RNI contra efectos adversos a la Salud conocidos (Hernández et al., 2008).

La comunidad científica internacional debate año tras año en diversos escenarios, cuáles serían los niveles y condiciones de radiación que pueden ser considerados como inocuos, pero hasta el momento no se tiene una conclusión final definitiva. Por esto, la OMS recomienda sobre este asunto adoptar medidas de prevención, y de allí deriva que diversos países han adoptado leyes y directrices sobre RNI y salud de carácter preventivo. Así, países como Austria y Suiza tienen leyes RNI que contemplan niveles de irradiación mucho menores que las recomendadas por la ICNIRP, toda vez que esta comisión no tiene en cuenta medidas preventivas para largo plazo de radiación (Méndez, 2008).

El enfoque dado a la investigación de Ondas electromagnéticas no ionizantes por los centros de investigación, comúnmente ha sido a espacios públicos o de trabajo, ignorando los lugares de acceso restringido por su naturaleza íntima o privada como son los espacios habitables de descanso.

Las personas del común y grupos de investigación a lo largo y ancho del planeta cada día presentan mayores interrogantes, acerca de los posibles riesgos producto de la exposición continua y masiva a ondas electromagnéticas no ionizantes, a tal punto, que la Organización Mundial de la Salud (OMS) por medio de la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC siglas en inglés) en el documento “Monografías sobre la evaluación de los riesgos carcinogénicos para humanos” categorizo en el año 2013 a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como grupo 2B cuya definición es “Posiblemente carcinógeno para el ser humano” (IARC, 2013:112)

Tabla 1. Clasificaciones agentes de las monografías IARC

International Agency for Research on Cancer		IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans		
World Health Organization				
Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–112				
CAS No	Agent	Group	Volume	Year
003564-09-8	Ponceau 3R	2B	8, Sup 7	1987
003761-53-3	Ponceau MX	2B	8, Sup 7	1987
007758-01-2	Potassium bromate	2B	73	1999
000125-33-7	Primidone	2B	108	in prep
	Printing processes (occupational exposures in)	2B	65	1996
	Progestins	2B	Sup 7	1987
	Progestogen-only contraceptives	2B	72	1999
000057-57-8	beta-Propiolactone	2B	4, Sup 7, 71	1999
000075-56-9	Propylene oxide	2B	60	1994
000051-52-5	Propylthiouraci	2B	79	2001
000089-82-7	Pulegone	2B	108	in prep
	Radiofrequency electromagnetic fields ¹	2B	102	2013
	Refractory ceramic fibres	2B	43, 81	2002
023246-96-0	Riddelliine	2B	10, Sup 7, 82	2002
000094-59-7	Safrole	2B	10, Sup 7	1987

Fuente: IARC, 2013

1.1.1.1 Organismos Internacionales, parámetros y recomendaciones de Niveles de Referencia

Los organismos abanderados en el estudio, estandarización de límites y verificación de la contaminación electromagnética producto de las tecnologías inalámbricas en el ámbito internacional son las siguientes:

Organización Mundial de la salud (OMS): organismo internacional del sistema de las Naciones Unidas responsable de la salud. Los expertos de la OMS elaboran directrices y normas sanitarias, y ayudan a los países a abordar las cuestiones de salud pública. La OMS también apoya y promueve las investigaciones sanitarias. Por mediación de la OMS, los gobiernos pueden afrontar conjuntamente los problemas sanitarios mundiales y mejorar el bienestar de las personas.

En 1996 la OMS dio inicio al proyecto internacional CEM el cual posee como objetivo dar respuesta a la creciente preocupación sobre los efectos de las Ondas electromagnéticas no ionizantes en el ser humano. A partir de ese año la Organización ha publicado numerosas notas informativas, compilado datos estadísticos y promovido tanto los programas de investigación como las recomendaciones impartidas por la ICNIRP respecto al tema (OMS, 2018).

La OMS en octubre de 2004 mediante “marco para desarrollar medidas de precaución en áreas de incertidumbre científica” hizo pública las siguientes consideraciones basada en el principio de precaución y las medidas que pueden adoptarse, incluida la fijación de límites de exposición:

“Las pautas que fijan los límites cuantitativos de las exposiciones humanas a los agentes ambientales son introducidas normalmente solo en base a datos consistentes, reproducibles, confirmados por diferentes laboratorios y estableciendo claramente los niveles de exposición a los agentes físicos, biológicos o químicos pensados como dañinos para los seres humanos. Además, los límites de exposición incorporan generalmente factores de seguridad según el grado de incertidumbre existente en cualquier umbral identificado para los efectos establecidos. Tales consideraciones siguen siendo centrales en el marco preventivo propuesto por la OMS. Estas pautas no deben ser puestas en cuestión por reducciones adicionales y arbitrarias de la exposición en nombre de la “precaución”, puesto que eso devaluaría su credibilidad científica.

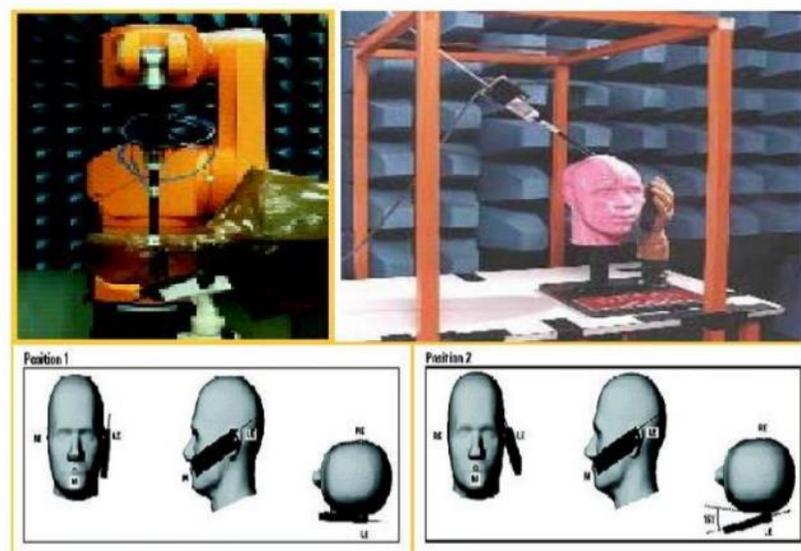
La OMS considera que los límites de exposición deben basarse en los efectos generalmente adoptados como establecidos y que no son un mecanismo apropiado para aplicar “medidas de precaución”. Los límites de exposición del ICNIRP para RF EMF (bajas y extremadamente bajas frecuencias) ya incluyen un mecanismo de reducción de factor 5 para (la protección) del público en general, de acuerdo al grado de incertidumbre según a evidencia científica sobre los efectos térmicos probados” (Federación española de Municipios y Provincias, 2012)

Comisión Internacional para la Protección Contra la Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP): posee como función el asesoramiento científico y orientación sobre los efectos en la salud y el medio ambiente de la radiación no ionizante (NIR) para proteger a las personas y el medio ambiente de la exposición perjudicial a NIR.

La radiación no ionizante se refiere específicamente a la radiación electromagnética, como la ultravioleta, la luz, el infrarrojo y las ondas de radio, y 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, Wi-Fi y hornos de microondas (ICNIRP, 2018).

El ICNIRP utiliza como magnitud dosimétrica la tasa de absorción específica (SAR) cuya unidad de medida es vatios por kilogramo y el 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 (Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo OIT, 2001). La definición específica de SAR es medida de la relación de energía absorbida en el tiempo por unidad de masa de tejido corporal expuesto (Quintana at Sepúlveda, 2013).

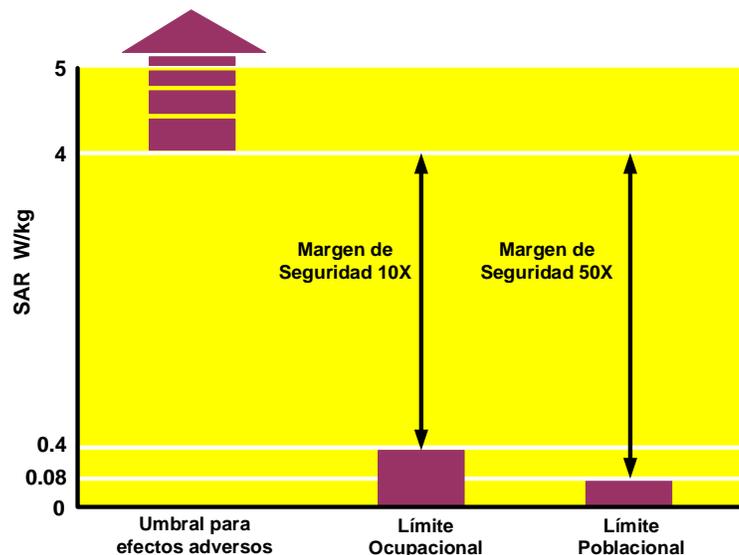
Figura 1. Representación del método de medida del SAR



Fuente. Morales, 2011

El ICNIRP en el informe “Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz)” de agosto de 2009 declaro tras una revisión integral de evidencia científica de seguridad de teléfonos móviles concluyo 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 no requiere una revisión inmediata”. Adicionalmente aclara que los límites de exposición recomendados contienen márgenes de seguridad sustanciales, pues a estos se les aplico un factor de reducción importante de 50 para el público en general; es decir, en base a evidencias científicas los niveles mínimos de exposición recomendados por la ICNIRP respecto a la Tasa Especifica de absorción (SAR) es 4W/kg, limite sobre el cual se considera puede producir efectos adversos a la salud, al aplicar el factor de reducción, es decir, dividir el límite entre 50 el valor establecido como suficiente para garantizar la seguridad del público es 0,08 W/kg. La anterior operación se aplica en la “evaluación del riesgo” con el fin de reducir la incertidumbre científica relacionada con los errores de dosimetría, extrapolación de la cobaya al ser humano, errores experimentales, condiciones ambientales variables, vulnerabilidad de personas enfermas, características propias de la exposición (refracción, dispersión, posición y orientación relativa al campo, entre otras) y otras variables que inciden en el nivel crítico considerado seguro.

Figura 2. Límites de exposición Tasa de absorción específica (SAR) Ocupacional y poblacional ICNIRP



Fuente: ITU Workshop on “Human Exposure to Electromagnetic Fields (EMFs)”.
 Víctor Cruz Ornetta, 2013

En el caso Ocupacional, los límites corresponden a situaciones en las cuales las personas se encuentran expuestas a radiaciones como consecuencia de su trabajo, pero estas poseen conocimiento de la magnitud de la exposición, y pueden actuar sobre ésta. Igualmente, los límites de exposición ocupacional se aplican en situaciones cuando una persona se encuentra temporalmente en un lugar donde los límites son aplicados y esta persona posee conocimientos sobre los detalles de la exposición (Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz) ICNIRP, 1998).

Los Niveles de Referencia ICNIRP utilizan como unidades de trabajo la Intensidad de campo eléctrico (V/m), Intensidad de Campo magnético (A/m), la densidad de flujo magnético (μT) y Densidad de potencia (W/M^2).

Tabla 2. Niveles de Referencia ICNIRP Ocupacionales

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (Vm^{-1})	Intensidad de Campo Magnético (Am^{-1})	Densidad de Flujo Magnético (μT)	Densidad de Potencia (Wm^{-2})
Hasta 1 Hz	-	1.63×10^5	2×10^5	-
1 - 8 Hz	20 000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8 - 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	-
0.025 - 0.82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
0.82 - 65 kHz	610	24.4	30.7	-
0.065 - 1 MHz	610	$1.6 / f$	$2 / f$	-
1 - 10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	$2 / f$	-
10 - 400 MHz	61	0.16	0.2	10
400 - 2000 MHz	$3 f^{0.5}$	$0.008 f^{0.5}$	$0.01 f^{0.5}$	$f / 40$
2 - 300 GHz	137	0.36	0.45	50

Fuente: ICNIRP, 1998

En el caso Poblacional, los límites corresponden a situaciones en las cuales el público en general puede estar expuesto a radiaciones, o en el caso en que las personas estén siendo expuestas como consecuencia de su trabajo, y no son informados de la potencia de exposición, o no poseen control sobre su propia exposición (Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz) ICNIRP, 1998).

Tabla 3. Niveles de Referencia ICNIRP Poblacionales

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (Vm ⁻¹)	Intensidad de Campo Magnético (Am ⁻¹)	Densidad de Flujo Magnético (μT)	Densidad de Potencia (Wm ⁻²)
Hasta 1 Hz	-	3.2 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴	-
1 – 8 Hz	10 000	3.2 x 10 ⁴ / f ²	4 x 10 ⁴ / f ²	-
8 – 25 Hz	10 000	4000/ f	5000/ f	-
0.025 – 0.8 kHz	250 / f	4/ f	5/ f	-
0.8 – 3 kHz	250 / f	5	6.25	-
3 – 150 kHz	87	5	6.25	-
0.15– 1 MHz	87	0.73/ f	0.92 / f	-
1 – 10 MHz	87/ f ^{0.5}	0.73/ f	0.92/ f	-
10 – 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 – 2000 MHz	1.375 f ^{0.5}	0.0037 f ^{0.5}	0.0046 f ^{0.5}	f/ 200
2 – 300 GHz	61	0.16	0.20	10

Fuente: ICNIRP, 1998

Unión internacional de telecomunicaciones (UIT): organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación – TIC. El Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT R) coordina todo este vasto y creciente conjunto de servicios de radiocomunicaciones, y se encarga de la gestión internacional del espectro de frecuencias radioeléctricas y las órbitas de los satélites.

Las normas de la UIT (llamadas Recomendaciones) son fundamentales para el funcionamiento de las actuales redes de TIC. Sin las normas de la UIT no se podrían efectuar llamadas telefónicas ni navegar por Internet. El acceso a Internet, los protocolos de transporte, la compresión de voz y vídeo, las redes domésticas e incontables otros aspectos de las TIC dependen de centenares de normas de la UIT para poder funcionar a escala local y mundial (UIT, 2018).

La UIT igualmente posee como función establecer recomendaciones encaminadas a establecer metodologías para la medición, predicción, supervisión, evaluación y seguimiento a los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos y las cuales son reconocidas y aplicadas por los países interesados en el tema.

Tabla 4. Principales recomendaciones de la UIT sobre ondas electromagnéticas o EMF (Electromagnetic Field)

Recomendación	Descripción
IUT-T K.52	Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos
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
IUT-T K.62	Evaluación de la conformidad de las emisiones radiadas a nivel de sistema mediante modelos matemáticos
IUT-T K.70	Técnicas para limitar la exposición humana a los campos electromagnéticos en cercanías a estaciones de radiocomunicaciones
IUT-T K.83	Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético
IUT-T K.90	Técnicas de evaluación y procedimientos de trabajo para el cumplimiento de los límites de tensión de la exposición al campo electromagnético del personal de explotación de la red
IUT-T K.91	Orientación para la valoración, la evaluación y el seguimiento de la exposición humana a los campos electromagnéticos de las radiofrecuencias

Fuente. Autor, 2018

La recomendación IUT-T K.52 es de carácter básico pues corresponde a *“Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos”* y sirve de Ayuda a determinar el cumplimiento de los límites de seguridad para la exposición de los seres humanos a los campos electromagnéticos de las instalaciones de telecomunicaciones y terminales móviles u otros dispositivos emisores usados cerca del cuerpo.

La recomendación UIT-T K.52 afirma que el cumplimiento con los límites de seguridad establecidos por ICNIRP para los terminales móviles u otros dispositivos emisores de RF que operan en el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz y que son usados muy cerca de la cabeza puede ser realizado aplicando los

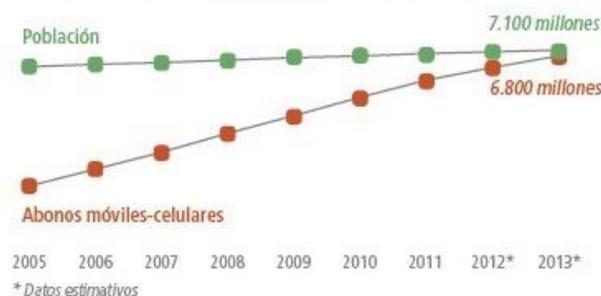
procedimientos de medición recomendados en el IEC 62209 (2016) de la International Electrotechnical Commission (IEC) y la cual se basa en la estimación de la tasa de absorción específica (SAR).

1.1.1.2 Estadísticas Usuarios de equipos de comunicación a base de tecnologías inalámbricas (Wifi y telefonía móvil)

Los equipos de comunicación a base de tecnologías inalámbricas han experimentado un aumento en algunos casos vertiginoso, desplazando equipos de tecnología convencional y llegando a un elevado porcentaje de la población. Los países en desarrollo representan ahora la gran mayoría de los usuarios de Internet, con más usuarios en comparación con los países desarrollados; Ahora es importante aclarar que las tasas de penetración de Internet dan otra imagen, con 81% en los países desarrollados, 40% en los países en desarrollo y 15% en los Países Menos Adelantados

Las redes móviles de banda ancha avanzadas (LTE) se han extendido rápidamente en los últimos tres años y ya alcanzan a casi cuatro mil millones de personas (53% de la población mundial). Ahora, el número de suscripciones a la banda ancha móvil sigue experimentando un crecimiento de dos cifras en los países en desarrollo, en los que se alcanza una tasa de penetración de cerca de 41%, el crecimiento de la penetración de la banda ancha móvil es globalmente más lento. Ya para el año 2017 se espera el número de suscriptores de telefonía celular superase a la población mundial (UIT, 2016).

Figura 3. Convergencia de las tendencias de los abonos móviles-celulares y de la población mundial. Incluye todas las tecnologías



Fuente. Base de datos de la UIT sobre indicadores mundiales de las telecomunicaciones/TIC, 2015

La tendencia mostrada en la gráfica anterior, según la mayoría de los analistas posee como principal razón en que muchos usuarios tienen más de una línea celular, por lo que se computa dos veces el que estos consumidores individuales se abonen a más de un servicio. Por ejemplo, los consumidores individuales pueden tener abonos distintos para la vida privada y el trabajo.

En el presente análisis es importante diferenciar número de usuarios de telefonía móvil, número de usuarios banda ancha móvil y número de usuarios de banda ancha fija, debido a que su número de abonados, tasa de crecimiento y porcentaje de penetración en la población difiere mucho uno de otro.

En el caso de usuarios de telefonía móvil los números son muy elevados, presentando porcentajes muy altos de suscriptores o usuarios de telefonía celular por cada 100 personas y en los cuales países o regiones administrativas como Hong Kong reportan 234 abonos por cada 100 habitantes, Bahrein 217 abonos por cada 100 habitantes, Emiratos Árabes Unidos 204 abonos por cada 100 habitantes o en países más representativos en cuanto a demografía China 97 abonos por cada 100 habitantes, India 87 abonos por cada 100 habitantes y Estados Unidos 127 abonos por cada 100 habitantes entre otros. La anterior información incluye todas las tecnologías en operación.

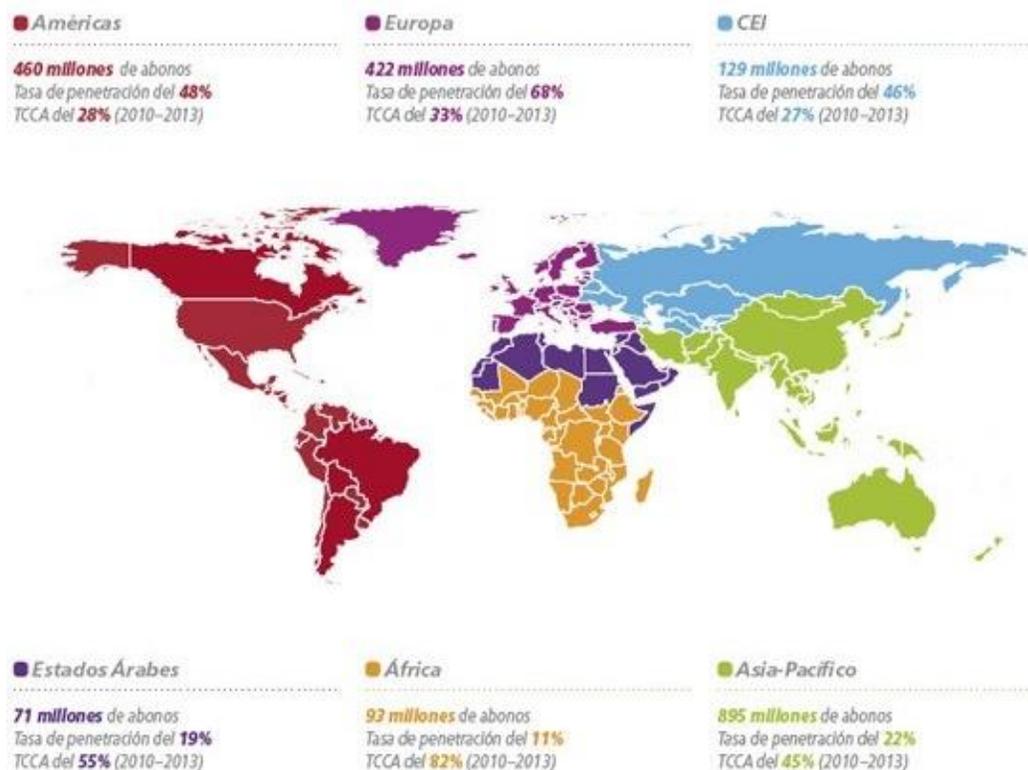
Figura 4. Suscriptores telefonía celular (por cada 100 personas)



Fuente. Banco Mundial. Año 2016

El número de usuarios banda ancha móvil están muy por debajo de los abonos debido a que no todos poseen equipo de telefonía celular con capacidad de navegación. El número de abonos activos a servicios móviles de banda ancha ha pasado de 268 millones en 2007 a 2.100 millones estimados para 2013. Mientras que los habitantes de los países desarrollados utilizan las redes móviles de banda ancha como complemento a las conexiones de banda ancha fija, la banda ancha móvil suele ser la única vía de acceso a Internet para muchos habitantes de los países en desarrollo. En estos países, el número de abonos a los servicios móviles de banda ancha se ha duplicado con creces, pasando de los 472 millones de 2011 a los 1.160 millones estimados para 2013, lo que supera el número de abonos de los países desarrollados.

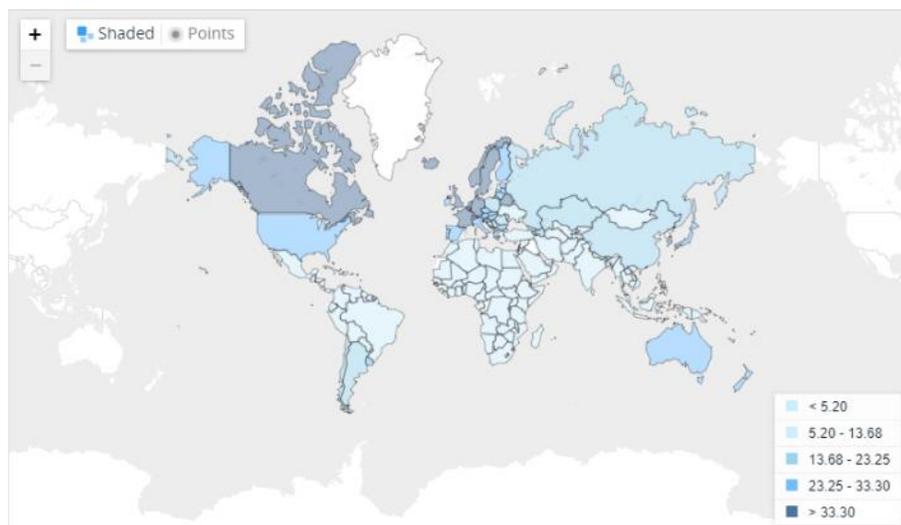
Figura 5. Penetración y abonos a servidores móviles de banda ancha en todo el mundo para finales de 2013 (calculado estimativo) y tasa compuesta de crecimiento anual (TCCA) 2010-2013



Fuente. Base de datos de la UIT sobre indicadores mundiales de las telecomunicaciones/TIC, 2015

El número de usuarios de banda ancha fija alcanzó según proyecciones aproximadamente 12 por ciento de los habitantes del mundo en 2016, con las tasas de penetración más elevadas en Europa, América y la Comunidad de Estados Independientes. El fuerte crecimiento en China está impulsando el crecimiento de la banda ancha fija en Asia y el Pacífico, donde se estimó la penetración rebase los 10% finales de 2016.

Figura 6. Suscriptores banda ancha fija (por cada 100 personas)



Fuente. Banco Mundial. Año 2016

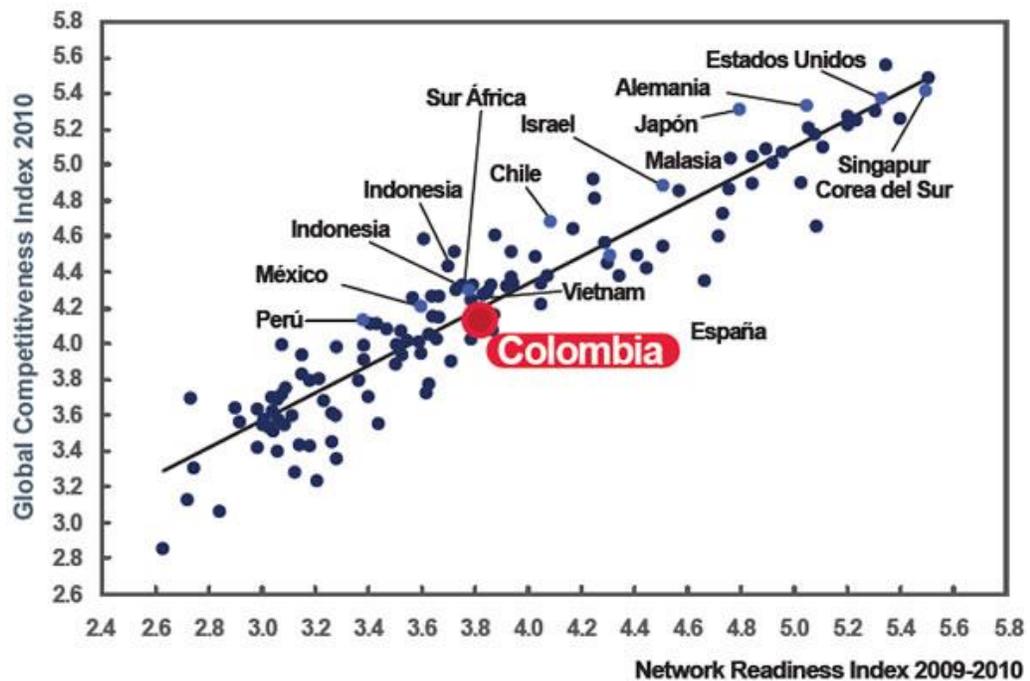
1.1.1.3 Desarrollo de tecnologías inalámbricas (Wifi y telefonía móvil) como indicador ante organizaciones económicas

En el mundo actual, en que todo y todos deben estar conectados a escala global, en el que las Organizaciones internacionales crean programas para la expansión de las Tecnologías de Información y Comunicación - TIC con el fin de reducir las brechas sociales e estimular el conocimiento; en el que los gobiernos incentivan la masificación del internet y las conexiones con el fin de crecer económicamente y ser cada vez más competitivos son los equipos de emisión y dispositivos un porcentaje importante en tan ambiciosas metas.

Las Organizaciones internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico - OCDE y Comisión Económica para América Latina y el

Caribe – CEPAL, el Banco Mundial y la UIT entre otras, han incluido en sus estudios económicos indicadores de las TIC o conectividad de internet correlacionándolos directamente con el grado de desarrollo de las naciones y visualizando claramente la brecha que existe entre países desarrollados y en vía de desarrollo.

Figura 7. Correlación entre el Network Readiness Index [WEF2010] y el Global Competitiveness Index [WB2010]

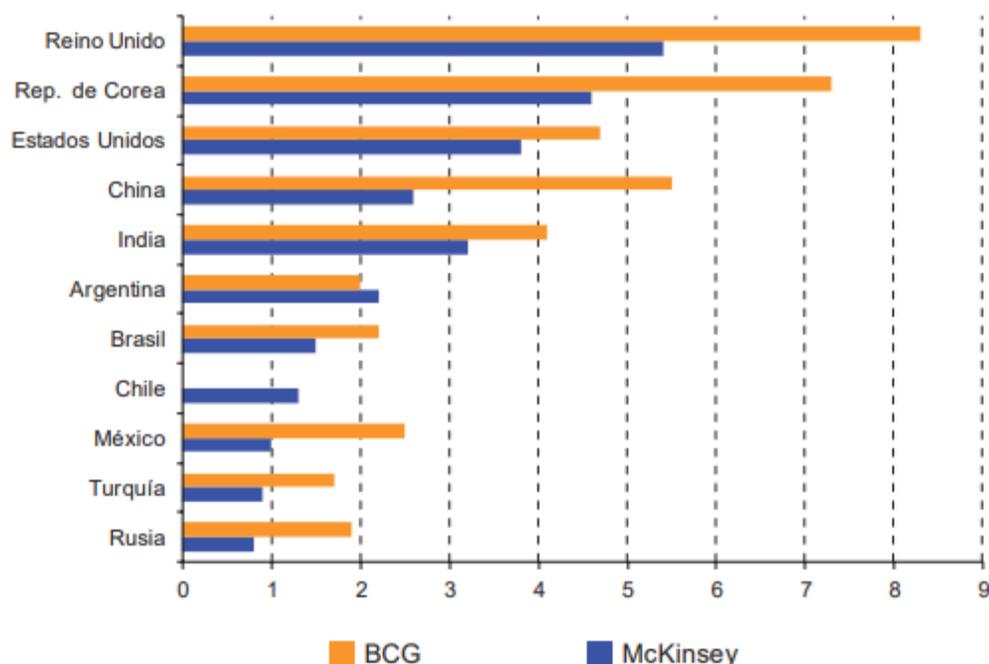


Fuente. Agencia Nacional del espectro – ANE. 2011

Como se observa en la Figura 11 las dos variables utilizadas para la correlación fueron Índice de preparación de red e Índice de Competitividad Global, claramente se observa que los países desarrollados poseen los valores más elevados de dichos indicadores revelando la importancia de la denominada economía de internet.

La llamada economía de internet o economía digital ha llegado a tal punto que hoy día posee un porcentaje importante en el Producto Interno Bruto de las naciones, principalmente en países de fuerte desarrollo digital.

Figura 8. Contribución de la economía de internet al PIB en países seleccionados, 2009-2010 (En porcentajes del PIB)



Fuente. Economía digital para el cambio estructural y la igualdad CEPAL, 2013

1.1.1.4 Estudios ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas

La oficina federal alemana de seguridad radiológica (Bundesamt für Strahlenschutz, BFS) realizó la medición de la exposición diaria a campos magnéticos de aproximadamente 2000 personas con diferentes ocupaciones y grados de exposición en lugares públicos. Las personas que participaron en el estudio portaron equipos de medición o dosímetros durante 24 horas, presentando gran variación y mostrando una exposición media de 10 μT . El valor calculado es mil veces menor que el establecido para la población en general (100 μT) y doscientas veces menor que el límite de exposición para trabajadores (500 μT). Adicionalmente los datos compilados registraron que los habitantes de los centros de ciudades no poseen mayor diferencia con los habitantes de zonas rurales (Rojas, 2009).

Los estudios a nivel internacional acerca de las ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas enfocados a la salud pública, como INTERPHONE subvencionado por la Unión Europea y la Unión Internacional Contra el Cáncer (UICC), han estado marcados por las diferentes posiciones científicas y por no considerarse concluyentes, pues lamentablemente no ha sido posible la refrendación de estos; lo anterior se debe a la relativamente corta existencia de los equipos de tecnología inalámbrica para uso público, la poca colaboración al momento de facilitar información de parte de los controles y las dificultades para entender los resultados (Betts, 2010).

La Unión Europea es quizás la comunidad política que mayor atención a puesto en cuanto legislación y estudios de ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas se refiere; lo anterior debido a que el mayor enfoque de contaminación electromagnética de los estudios se centra en las torres, el cableado y las estaciones de trasmisión eléctrica o radiodifusión. En España, país miembro de la Unión Europea, inicio la década pasada la inclusión en los estudios de impacto ambiental para aprobación de expansión urbana la sección correspondiente a “ESTUDIO DE CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA” y dentro de estas un numeral que trata específicamente “NIVELES DE EXPOSICION” (Ayuntamiento de Alcobendas, 2005).

En la actualidad a nivel académico ha aumentado el interés por la radiación electromagnética siendo en mayor cantidad los de carácter *Outdoor* o en sitios a cielo abierto, los estudios *Indoor* y específicamente en el hogar continúan siendo muy pocos y en la mayoría dan más importancia a los campos eléctricos y magnéticos de los electrodomésticos en general que a la contaminación por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas; e inclusive muchos estudios realizan medición y aplican métodos de predicción más para optimizar las señales que por crear una cultura ambiental respecto a la contaminación electromagnética o desarrollar metodologías que disminuyan su impacto.

Tabla 5. Reducción de radiación electromagnética en función de la calidad de señal en diferentes ambientes

Comparación	Reducción de potencia emitida
outdoors vs indoors	68%
urbano vs rural	10%
estacionario vs movimiento	45%

Fuente. Andrade y Contreras, 2014

1.1.1.3 Sistemas de monitoreo continuo

En la actualidad y para el control de los diferentes parámetros ambientales se están utilizando sistemas de monitoreo continuo mediante el uso de equipos de medición o estaciones de medición y transmisión vía internet a centrales de acopio de información, lo cual permite presentar en tiempo real al público dichos datos. La contaminación ambiental de origen electromagnético no ha sido ajena a esta nueva tendencia gracias a el interés de organizaciones internacionales, entes gubernamentales y empresa privada por presentar datos “en tiempo real”.

El sistema de monitoreo continuo para medición de emisiones electromagnéticas No Ionizantes *outdoor* se ubica en puntos elevados previamente estudiados y seleccionados en los cuales se emplazan los equipos de medición normalmente provistos de paneles solares que garantizan su continua operación.

Figura 9. Puntos del sistema de monitoreo continuo



Fuente. Taller UIT sobre “Exposición Humana a los Campos Electromagnéticos (CEMs)”. Carril, 2013

La información registrada por los equipos de monitoreo es transmitida y mediante el uso de un software especializado que se encarga de la Programación remota de los equipos, Definición de los parámetros de medición, Gestión de la base de datos, Programación de mensajes de alarma, Visualización de datos en modo gráfico, tabla y GIS y Parámetros configurables en función de la normativa aplicada.

Figura 10. Datos tomados por Sistema Monitoreo Continuo Barcelona



ente. Taller UIT sobre “Exposición Humana a los Campos Electromagnéticos (CEMs)”. Carril, 2013

Finalmente, la información es presentada el público en el portal del ente regulador u organización en la cual se presenta en un mapa satelital la ubicación de los puntos de monitoreo, el acceso a las fotografías y datos del equipo de monitoreo y una gráfica que expone tanto el límite legal permitido como la información tomada por el sistema.

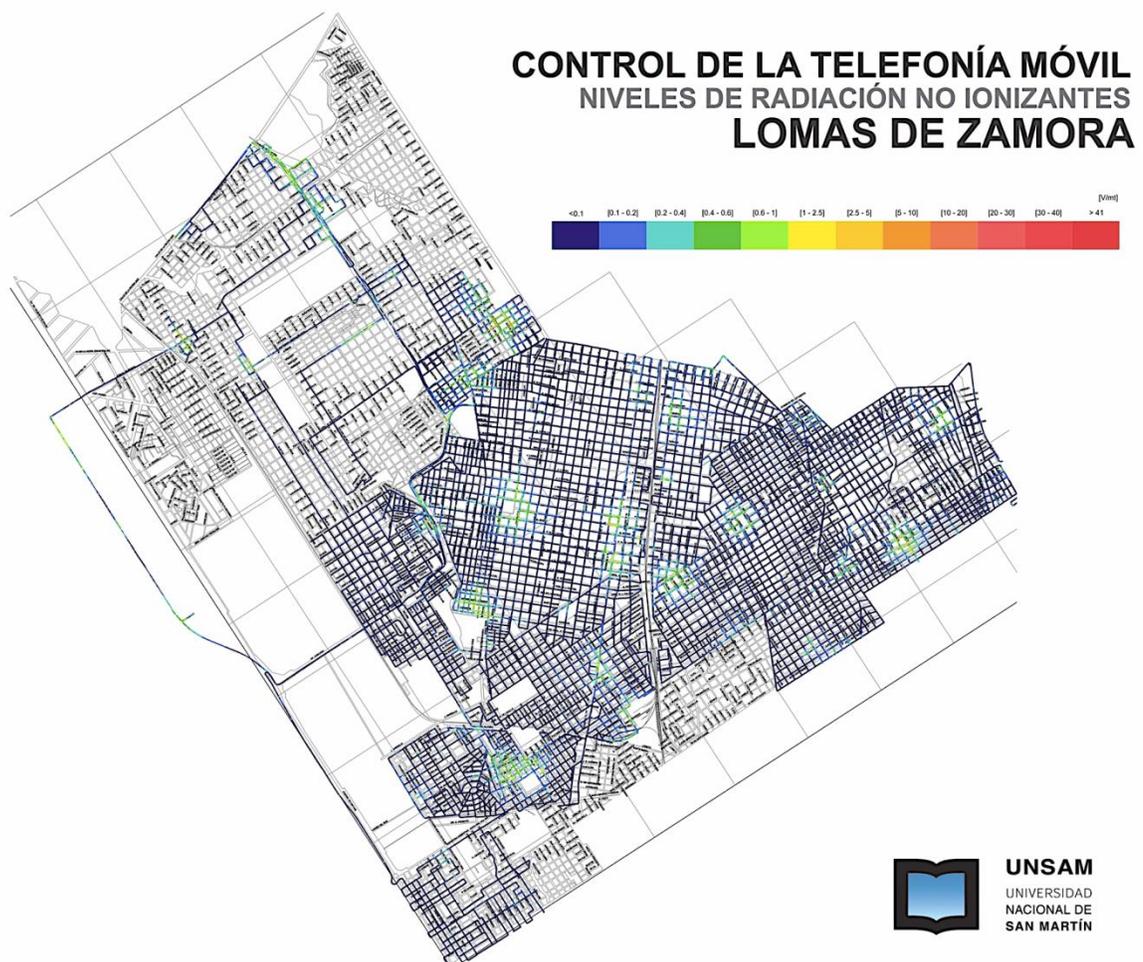
Figura 11. Enlace publico sistema monitoreo continuo San Salvador



Fuente. Taller UIT sobre “Exposición Humana a los Campos Electromagnéticos (CEMs)”. Carril, 2013

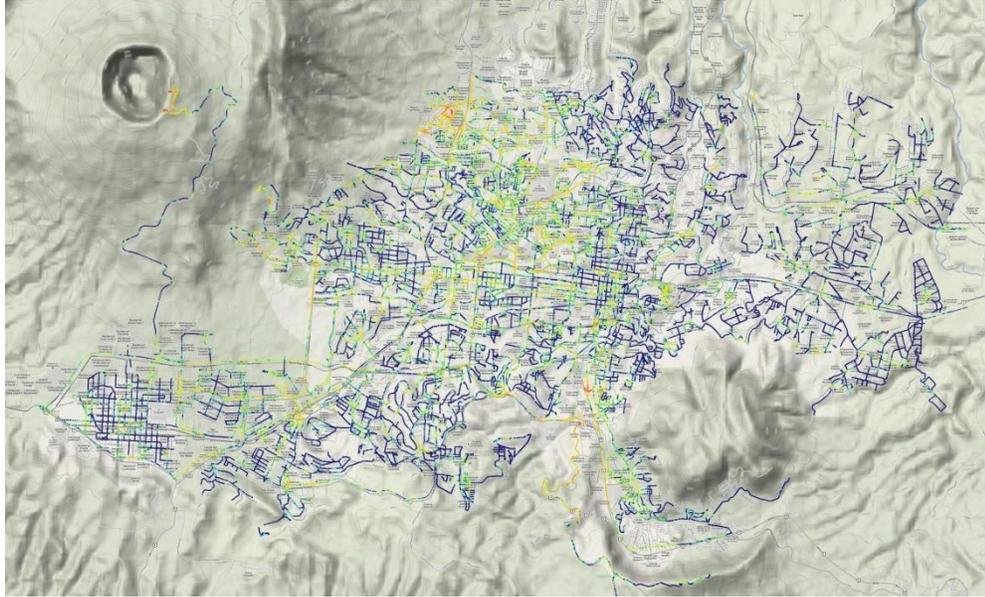
Adicionalmente con la información recolectada los entes a cargo del sistema de monitoreo continuo han desarrollado mapas de dinámicos de radiaciones y mapas de RNI.

Figura 12. Mapas Dinámicos de Radiaciones



Fuente. Taller UIT sobre “Exposición Humana a los Campos Electromagnéticos (CEMs)”. Carril, 2013

Figura 13. Mapa de RNI San Salvador



Fuente. Taller UIT sobre “Exposición Humana a los Campos Electromagnéticos (CEMs)”. Carril, 2013

Las Ciudades que se han beneficiado con la instalación de un sistema de monitoreo continuo han logrado conocer el estado real de la contaminación electromagnética presente; lamentablemente, este sistema es costoso y los recursos son limitados lo cual solo permite que el sistema opere por un periodo de tiempo para recolectar información y poseer una base de datos relativamente actualizada.

Tabla 6. Áreas con sistema de monitoreo continuo

Área	Organización	Puntos de monitoreo	Periodo operación
Cataluña (España)	Generalitat de Cataluña	76	2002-2012
San Salvador (El Salvador)	UIT – SIGET - COMTELCA	2 y 1 Equipo portátil	15 días
Colombia	Agencia Nacional del Espectro - ANE	70	2012-2016

Ecuador	Superintendencia de Telecomunicaciones - SUPERTEL	15	2012
Brasil	Agencia Nacional de Telecomunicaciones - ANATEL	66	2013
Israel	Ministry of Environmental Protection	15	2013

Fuente. Autor, 2018

1.1.1.6 Estudios contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas indoor

La contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas indoor se presentan por varias fuentes de emisión, las primeras son las provenientes del exterior como antenas de telecomunicaciones y/o equipos wifi de edificaciones vecinas; las segundas son las presentes en el recinto a analizar bien sean equipos Wifi o aparatos de telefonía celular.

A nivel latinoamericano se han presentado varios estudios indoor, la mayoría en sitios públicos y unos pocos en viviendas los cuales generalmente utilizan como parámetros de estudio Intensidad de campo eléctrico (V/m), Intensidad de Campo magnético (A/m), la densidad de flujo magnético (μT) y Densidad de potencia (W/M^2).

Los sitios seleccionados para la toma de mediciones normalmente corresponden a Lugares en los que se presentan mayores niveles de radiación y ambientes indoor cercanos. Los trabajos de medición se adelantaron en varias fases, correspondiendo a la primera fase la medición de campos electromagnéticos en calles y avenidas principales con el fin de determinar los sitios más críticos. La segunda fase, una vez determinados los sitios más críticos consiste en determinar los puntos críticos en los ambientes indoor. La tercera y última fase consiste en la medición más minuciosa en los puntos críticos indoor con la ayuda del equipo medidor (Andrade y Contreras, 2014).

Los resultados son muy similares a los obtenidos en otros estudios, los valores de radiaciones electromagnéticas indoor medidas en el rango de frecuencias de telefonía celular son hasta 4000 veces inferiores a los límites presentados en la recomendación IUT-T K.52 como el realizado en la ciudad de Cuenca (Ecuador), lo cual pone nuevamente en tela de juicio si los actuales límites recomendados son elevados con respecto a las mediciones del ambiente.

Otro hallazgo importante en la investigación adelantada es que la radiación en espacios interiores depende del material en el cual se encuentra fabricado, así como al efecto atenuante de este sobre las ondas radiadas. Los materiales estudiados fueron vidrio, concreto y adobe. Ahora, desde el punto de vista de telecomunicaciones, el factor de atenuación de la señal celular debido al material de construcción del recinto según lo planteado en estudios, conllevaría que el dispositivo móvil incrementa la señal para llegar a la antena más cercana, incrementando el nivel de exposición de los usuarios, y ante lo cual, surge como alternativa incrementar el número de antenas dentro de la ciudad, buscando la disminución de la potencia de las mismas puesto que los rangos de cobertura serían más pequeños, generando así, que los dispositivos trabajen a potencias más bajas.

El derecho ambiental se basa en la prevención. El principio precautorio busca garantizar un nivel elevado de protección, principalmente en aquellos casos en los cuales los datos científicos disponibles no permitan una evaluación completa del riesgo. Por lo anterior se debe evaluar el grado de contaminación con el fin de definir revisiones basados en trabajos previos de verificación y control del posible impacto ambiental (Staiano et al., 2012).

1.1.2 NACIONAL

1.1.2.1 Organismos nacionales, parámetros y recomendaciones

En Colombia el Ministerio de Comunicaciones, la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones y la Universidad Javeriana realizaron un estudio basado en “límites de exposición humana a campos electromagnéticos” y presenta los conceptos más importantes como las regulaciones internacionales y recomendaciones sobre radiación electromagnética producida por antenas de telecomunicaciones. Igualmente recomienda el estándar que se podría adoptar en Colombia para la protección de la salud humana y el medio ambiente en general. Este estudio se tomó como una de las bases para establecer el decreto 195 de

2005, además de las referencias tomadas de los niveles de exposición a campos electromagnéticos sugeridos por la ICNIRP, la UIT y la Unión Europea (Hernández et al., 2008).

En el caso de Colombia son tres los ministerios con competencias en lo que, a límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos respecta, principalmente para instalación de estaciones radioeléctricas. El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones posee como competencia la medición, El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible posee como competencia el control ambiental y el Ministerio de salud y protección social tiene por competencia la protección de la salud pública, trabajando de forma articulada; pero es el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones sobre el cual recae la función de determinar si se exceden los límites definidos.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC): el ministerio es el encargado de definir la política y ejerce la gestión, planeación y administración del espectro radioeléctrico (Excepto televisión). Entre sus funciones se encuentran planear, asignar, gestionar y controlar el espectro radioeléctrico, y establecer y mantener el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia - CNABF (Atribución).

El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones también es el facultado para imponer sanciones a quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones que no cumplan con las condiciones y límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos (MinTIC, 2005).

Los límites máximos de exposición para servicios y/o actividades de telecomunicaciones en las distintas zonas de exposición a campos electromagnéticos, el nivel de emisión de las estaciones no debe exceder establecidos en la recomendación UIT-T K.52 "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos" adoptados en el decreto 195 de 2005 de Ministerio de Comunicaciones y mediante el cual 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.

Tabla 7. Límites máximos de exposición según la frecuencia de operación

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (V/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m ²)
Ocupacional	9 - 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 - 2.000 MHz	3 f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	f/40
	2 - 300 GHz	137	0,36	50
Público en general	9 - 150 KHz	87	5	–
	0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	–
	1-10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	–
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
	400 - 2.000 MHz	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	f/200
	2 - 300 GHz	61	0,16	10

Fuente. MinTIC, 2005

Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC): la comisión posee por funciones establecer el régimen de regulación que maximice el bienestar social de los usuarios y resolver recursos de apelación contra actos de cualquier autoridad que se refieran a la construcción, instalación u operación de redes de telecomunicaciones entre otras.

La CRC en lo que a control de límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos refiere desempeña un papel más resolutorio que de control, es decir, una vez se establecidas las pruebas y el caso esta entra a dar una solución por vía administrativa más que técnica.

Agencia Nacional del Espectro (ANE): es la entidad encargada de brindar soporte técnico al Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTic) en la planeación, atribución, vigilancia y control del espectro radioeléctrico. La agencia también posee por funciones el desarrollo de planes, programas y políticas relacionadas con su ámbito de competencia y la formación de expertos.

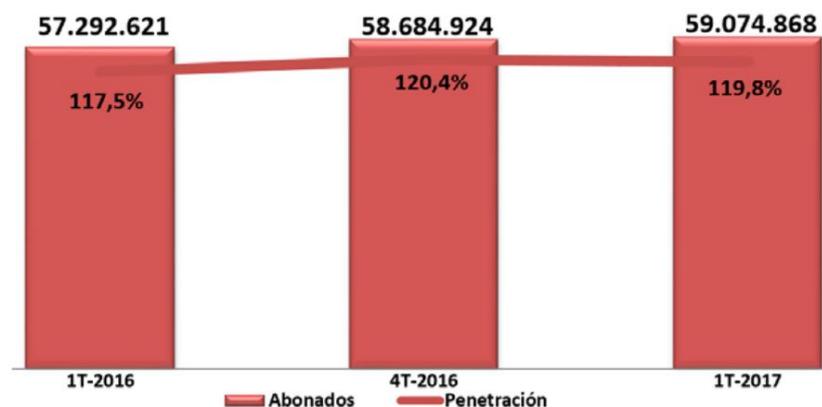
La agencia realiza constantes monitorios en diferentes ciudades del territorio nacional, en diferentes puntos en las mismas con el fin de llevar un registro de los valores expresadas en voltios/metro. El porcentaje sobre el máximo permitido se basa en el valor de exposición más restrictivo permisible (28 voltios/metro), que es el de las redes móviles.

Es que si bien, la agencia debe controlar y vigilar todo el espectro electromagnético, han sido las redes móviles y fijas de banda ancha las que han acaparado la atención de la agencia en lo que a monitoreo se refiere.

1.1.2.2 Estadísticas Usuarios de equipos de comunicación a base de tecnologías inalámbricas (Wifi y telefonía móvil)

En la actualidad se puede afirmar que Colombia no ha sido ajena al vertiginoso desarrollo de las redes de comunicación a base de tecnologías inalámbricas las cuales han llevado al incremento de antenas base, expansión de las redes de los operadores y aumento del número de usuarios o abonados. La anterior afirmación se basa en que Colombia es un país que presenta un índice de 119.8 abonados por cada 100 habitantes, es decir, el país tiene más usuarios de telefonía móvil activos que habitantes.

Figura 14. Abonados de telefonía móvil e índice de penetración de telefonía móvil

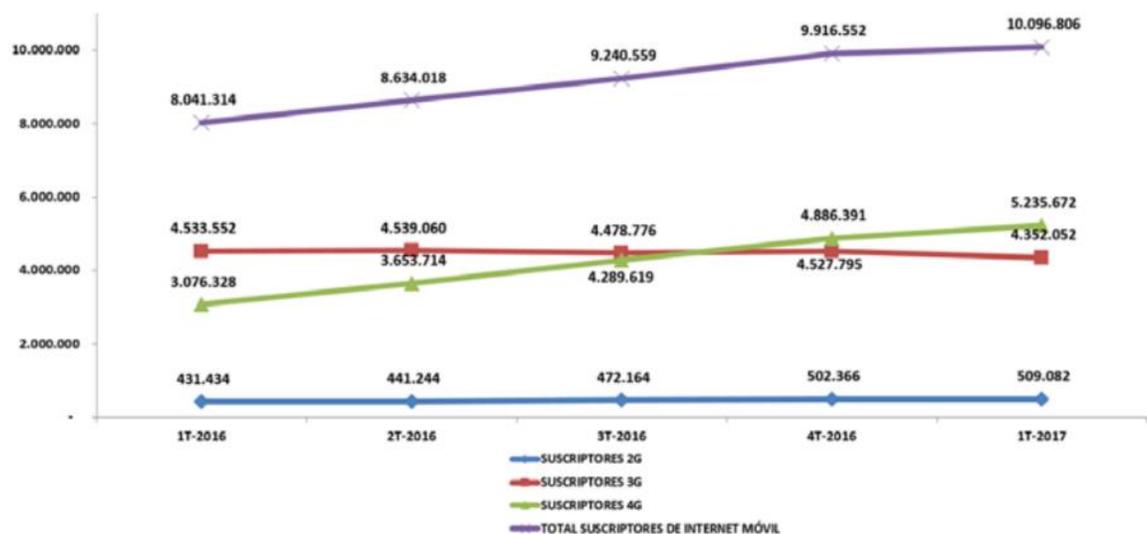


Fuente MinTIC, 2017

Ahora, como anteriormente se ha mencionado, es importante diferenciar número de usuarios de telefonía móvil, número de usuarios banda ancha móvil y número de usuarios de banda ancha fija, debido a que su número de abonados, rata de crecimiento y porcentaje de penetración en la población dista mucho uno de otro.

El número de usuarios de telefonía móvil según los datos a corte cuarto trimestre de 2016 es 59.074.868, presentando un aumento del 0.6% tras un pequeño revés acontecido a mediados del mismo año en el cual el crecimiento fue negativo -0.1%. En el servicio de telefonía móvil en Colombia actualmente están operando tres generaciones móviles diferentes (2G, 3G y 4G) y a la espera de una nueva (5G), cada una con características muy diferentes en cuanto a funciones, servicios, velocidad y equipos.

Figura 15. Comportamiento de suscriptores a internet móvil por generación móvil

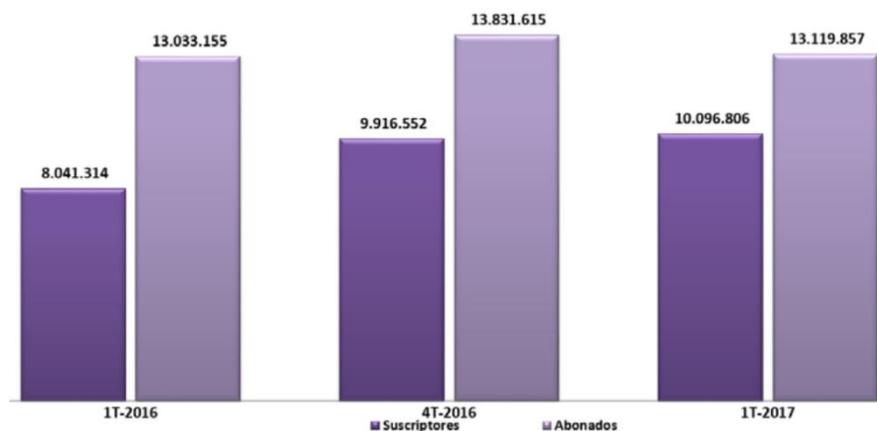


Fuente. MinTIC. 2017.

Como se observa en la figura 14, desde el cuarto trimestre de 2016 los abonados de tecnología 4G son los más numerosos en Colombia, seguidos por los abonados de tecnología 3G, siendo estas dos generaciones móviles las de mayor uso de banda ancha y por ende generadores de ondas electromagnéticas.

El número de usuarios banda ancha móvil en Colombia se encuentran en dos (2) modalidades, por suscripción y por demanda, según el TÍTULO REPORTE DE INFOMARCACIÓN de la Resolución 5050 del 2016 de la Comisión de Regulación de Comunicaciones. Los usuarios por suscripción corresponden al acceso a Internet móvil a través de la contratación de un plan con cargo fijo que se paga de forma periódica y en el país a término del primer trimestre de 2017 eran 10.096.806 los abonados; Los usuarios por demanda corresponde al acceso a Internet móvil sin que medie la contratación de un plan para tal fin, es decir poseen la capacidad de conectividad a banda ancha pero utilizan un medio diferente a la banda ancha móvil, a término del primer trimestre de 2017 eran 13.119.857 los abonados, para un total de 23.216.663 según las estadísticas de MinTIC.

Figura 16. Suscriptores y accesos a internet móvil por demanda



Fuente. MinTIC, 2017

El número de usuarios de banda ancha fija en Colombia al finalizar el primer trimestre del 2017 alcanzó un total de 6.053.127 y un índice de penetración del 12,3%, presentando un aumento de 0,7 puntos porcentuales con relación al índice del primer trimestre del año 2016. Los usuarios de banda ancha representan un porcentaje muy pequeño de usuarios a nivel nacional.

Las conexiones de internet de banda ancha en Colombia, agrupando los diferentes tipos de acceso al finalizar el primer trimestre del 2017 estaban compuestas principalmente por conexiones móviles a Internet, las cuales llegaron a un total de 22,3 millones. De ellas, 10,3 millones eran conexiones móviles 3G en la modalidad

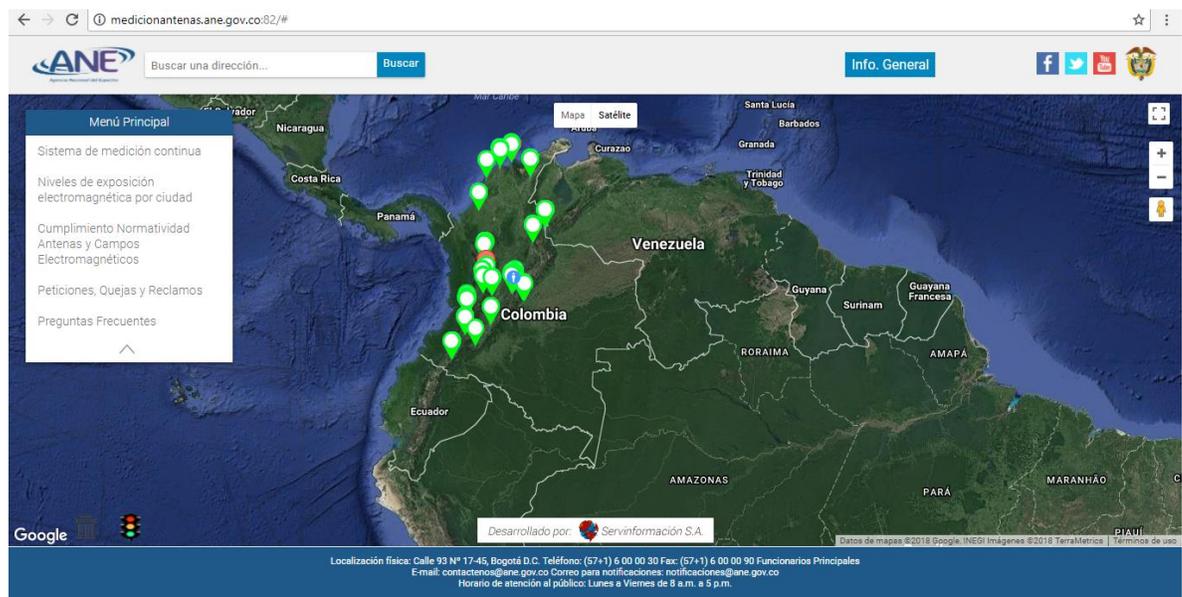
de demanda; 4,4 millones correspondían a conexiones móviles 3G en la modalidad de suscripción; 5,2 millones eran conexiones móviles 4G en la modalidad de suscripción, y 2,4 millones se asociaron a conexiones móviles 4G en la modalidad de demanda. Por su parte, las conexiones a Internet fijo alcanzaron un total de 6,0 millones, con una participación del 21,21%, para un total de 28.388.361 de usuarios.

1.1.2.3 Sistemas de monitoreo continuo contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas

La Agencia Nacional del Espectro (ANE) posee un sistema de monitoreo continuo conformado por cerca de 70 sensores ubicados en las principales ciudades del país, con el fin de Verificar de que los límites de radiación respeten las recomendaciones y disposición al respecto establecidas.

El continuo monitoreo por parte de ANE ha permitido que esta cuente actualmente con una base de datos de más de 28 millones de mediciones de campos donde se evidencia que se cumplen los límites.

Figura 17. Presentación Sistema de medición continua en línea ANE



Fuente. ANE, 2018

El Sistema de monitoreo continuo desarrollado por la ANE toma de manera continua y en tiempo real los valores del límite máximo calculado considerando el más restrictivo para la zona de público en general en el rango de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz el cual corresponde a 28 Voltios/metro (V/m) durante las 24 horas cada 30 minutos. Lamentablemente los sistemas poseen una fuerte limitante como es el hecho que solo toman un parámetro de los cuatro que se pueden considerar, siendo la variable a monitorear la intensidad del campo eléctrico.

1.1.2.4 Estudios contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas indoor

En Colombia son pocos los estudios de contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas indoor, en su mayoría se centran en espacios públicos, pero de naturaleza outdoor mediante la realización de mediciones, estudios de límites recomendados y estudios de impacto ambiental principalmente de estaciones base de telefonía móvil.

Entre los estudios de mediciones desarrollados se encuentra “Medición de campos electromagnéticos en la ciudad de Cali, Colombia” desarrollado por Aponte et al. (2006) en el cual se establecen algunos factores importantes para la medición de campo electromagnético como son las características del sitio, distancia a la fuente de radiación, las variables a medir, las unidades de medida y tipo de medición, en 50 sitios diferentes de la ciudad de Cali a dos sistemas de comunicación diferente como lo son telefonía celular y radio AM. Otro estudio referente es “Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga” de Rugeles et al. (2006) el cual establece como metodología seleccionar tres sitios de la ciudad de Bucaramanga que a simple vista pueden considerarse afectados de manera significativa por campos electromagnéticos como son un conjunto habitacional del barrio Provenza cerca de tres estaciones base de diversos operadores de telefonía móvil en un área densamente poblada, el segundo sitio fue seleccionado muy cerca al aeropuerto Palonegro al occidente de la ciudad y por último se seleccionó un sitio al oriente de la ciudad cerca de viviendas y restaurantes. Es importante aclarar que las mediciones realizadas en los sitios seleccionados correspondían a transmisiones de frecuencia diferentes como son AM, FM, y celular en dos rangos de frecuencia. Los resultados una vez más fueron muy inferiores a los considerados como límite.

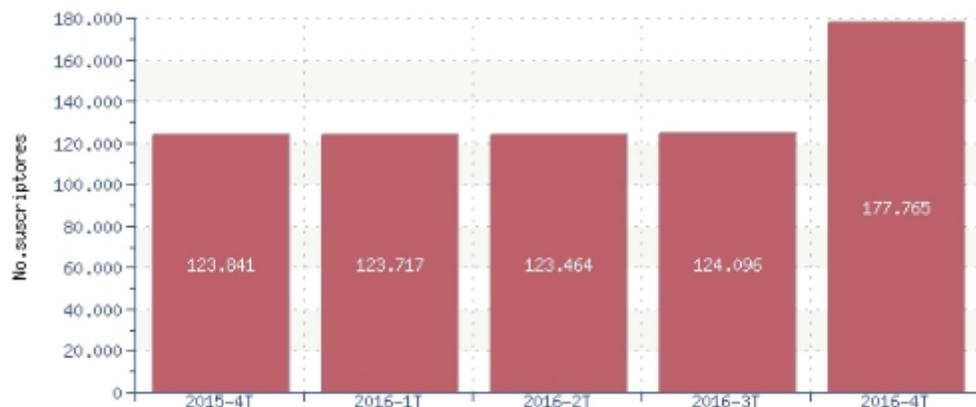
En Colombia diferentes centros de estudio han llevado a cabo trabajos de investigación en los cuales se establecen metodologías para el diagnóstico de la contaminación por radiaciones electromagnéticas en ciudades como Bogotá y Manizales, en las cuales se define contaminación electromagnética como la sumatoria de las diferentes intensidades de emisiones electromagnéticas presentes en un punto de interés y se concluye que en ninguna de las zonas donde se adelantaron mediciones la contaminación electromagnética sobrepaso los límites recomendados por la ICNIRP (Henao, 2012).

1.1.3 REGIONAL

1.1.3.1 Estadísticas Usuarios de equipos de comunicación a base de tecnologías inalámbricas (Wifi y telefonía móvil)

El Norte de Santander no ha sido ajeno al fenómeno de expansión de telecomunicaciones y equipos de comunicación a base de tecnologías inalámbricas, pero presenta un índice de penetración del servicio de Internet del 13%, el cual es inferior al índice de penetración Nacional que se sitúa en el 32.5% al termino del 4 trimestre de 2016, pese a presentarse en el departamento en este periodo un incremento del 30.19% en los suscriptores de internet para llegar a un total de 177.765 (MinTIC, 2018).

Figura 18. Total suscriptores de internet en Norte de Santander



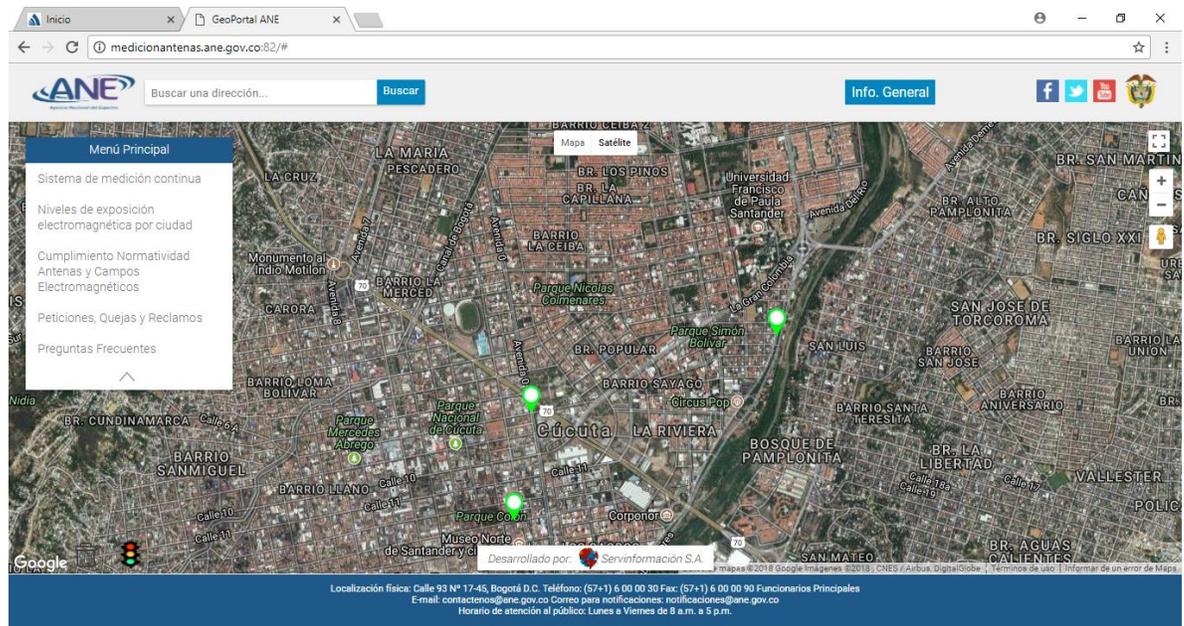
Fuente. MinTIC, 2018

En el caso de la telefonía móvil, el MinTIC no presenta información oficial por departamento a corte 2017, impidiendo un análisis de este servicio en el presente proyecto a nivel departamental.

1.1.3.2 Sistemas de monitoreo continuo contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas

La ANE en la actualidad posee en la ciudad de Cúcuta un sistema de monitoreo continuo de campos electromagnéticos integrado por tres estaciones, identificadas como PRADOS (14MT0403), LA PLAYA (14MT0411) y LATINO (14MT0413).

Figura 19. Ubicación estaciones sistema de monitoreo continuo de campos electromagnéticos en Cúcuta



Fuente. ANE, 2018

Las estaciones ubicadas en la ciudad de Cúcuta poseen las siguientes características:

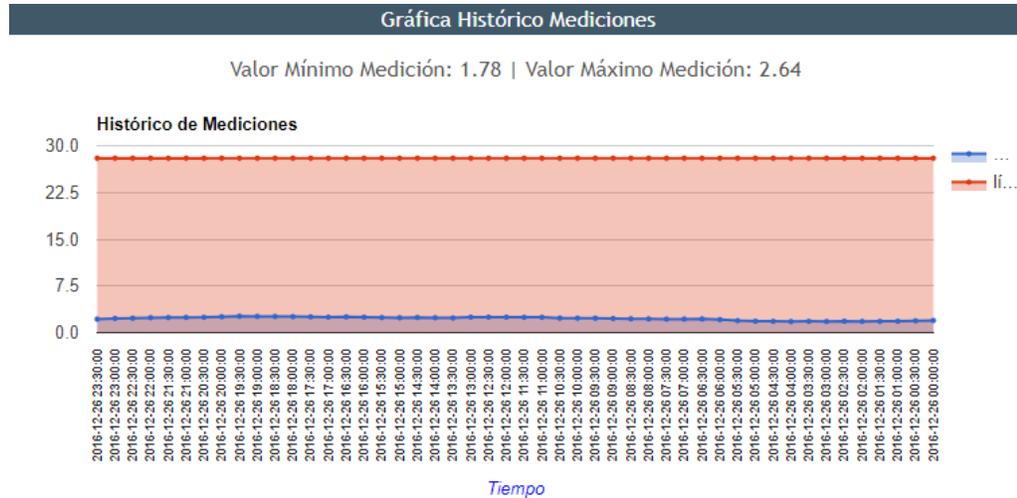
Tabla 8. Información estaciones sistema de monitoreo continuo de campos electromagnéticos en Cúcuta

ESTACION	UBICACION	FOTOGRAFIA UBICACION	ULTIMA MEDICION	ULTIMO VALOR
PRADOS (14MT0403)	Avenida libertadores 6AN-09		2017-12-04 21:24:00	0.37 V/m
LA PLAYA (14MT0411)	Calle 13 1-57		2017-12-27 01:24:00	1.09 V/m
LATINO (14MT0413)	Avenida 0 Calle 8		2018-02-07 09:24:00	2.4 V/m

Fuente. Autor, 2018

La información facilitada por las estaciones está al servicio de la población en general mediante el GeoPortal de la ANE, en el cual se pueden obtener los datos de los últimos seis meses de transmisión y un gráfico comparativo de los valores registrados con respecto al límite máximo calculado considerando el más restrictivo para la zona de público en general en el rango de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz (28 V/m). Las estaciones realizan mediciones se realizan cada 30 minutos.

Figura 20. Grafico historio mediciones estación Latino (14MT0413) de Cúcuta



*El límite máximo fue calculado considerando el más restrictivo para la zona de público en general en el rango de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz (28 V/m).

Fuente. ANE, 2018

Es importante aclarar que las estaciones de monitoreo continuo de campos electromagnéticos instaladas solo toman uno de los cuatro parámetros que las normas nos entregan como herramienta como lo es intensidad de campo eléctrico (V/m).

1.1.3.3 Estudios contaminación ambiental ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas indoor

En Norte de Santander, la Universidad de Pamplona y la Universidad Francisco de Paula Santander poseen programas de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Ambiental, los cuales han desarrollado proyectos de enfoque ambiental como, Estudio y análisis de las emisiones electromagnéticas (Méndez et al., 2007) y Evaluación de los efectos fisiológicos de ratones sometidos a campos electromagnéticos de telefonía móvil con frecuencia de 99 Mhz, respectivamente (Grupo de Investigación Agrarias y Desarrollo Sostenible, GIADS, UFPSO).

La universidad de Pamplona ha avanzado en varios trabajos dirigidos a desarrollar modelos de propagación en ambientes exteriores (outdoor) para sistemas

inalámbricos en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, mediante modelos semi empíricos basados en las medidas de intensidad de potencia para ubicación de puntos de acceso o transmisión (Herrera y Pérez, 2008) y teniendo en cuenta como condiciones de propagación la morfología, la topografía, las propiedades atmosféricas entre otras (García, Herrera, Uzcategui y Bernardo, 2011).

1.2 MARCO REFERENCIAL

Las tecnologías inalámbricas, específicamente la telefonía celular como producto, una vez comprobada su funcionalidad se colocó a disposición de la población en general, siendo los pioneros los países nórdicos pese a sus costos tan elevados en un inicio. El fenómeno de poseer un equipo de comunicación sin ningún tipo de conexión alámbrica, portátil, de uso similar a los aparatos telefónicos convencionales, pronto se convirtió en un éxito; Pero no se detuvo allí, paralelo y casi como miembros de una sola gestación, la telefonía celular con el tiempo amplió sus servicios e incluyó en su plataforma el uso del otro prodigioso avance tecnológico como lo es el internet. Una fusión exitosa nació a partir de ese momento y convirtió al equipo celular en un multiequipo que sirve de equipo musical, Grabadora, cámara fotográfica, televisión, tabla, despertador, teléfono y control remoto, pues en la actualidad mediante aplicaciones y conexión a internet cualquier usuario puede controlar el televisor, el aire acondicionado o refrigerador entre otros a larga distancia.

Las organizaciones internacionales y los gobiernos no fueron ajenos al encanto de los servicios ofrecidos por la telefonía celular y el internet, y pronto iniciaron los programas de masificación llegando al punto que hoy en día y según estadísticas existen más equipos celulares en uso que personas en el planeta (UIT, 2016); también serían insertados en la economía y se crearía su propio espacio, de allí que hoy día se escuche en el argot de las finanzas términos como “economía digital”, “comercio electrónico”, “tienda en línea” o “compra virtual” entre otros (CEPAL, 2013).

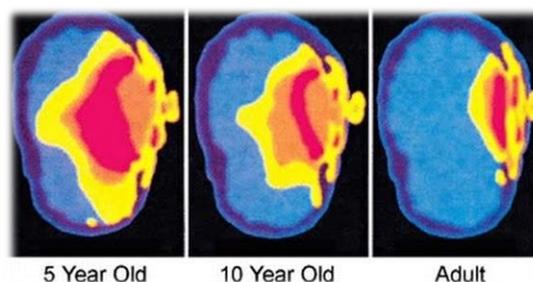
En los años 60 y 70 con el desarrollo de las telecomunicaciones y su aplicación en transmisiones de radio y televisión entre otros, incentivaron las investigaciones cuyo objetivo era inicialmente conocer otras bondades de las tecnologías inalámbricas con el fin de aplicarlas a disciplinas como la medicina (Méndez, 2004, Citado por Méndez, 2008); Inevitablemente pronto surgieron las dudas acerca si las tecnologías inalámbricas tendrían implicaciones negativas en la salud humana debido a su masificación y rápido crecimiento. Los equipos de telefonía celular y

trasmisión de internet o WIFI en los años 90 del siglo pasado pronto estarían en la mira de los investigadores, si realmente la continua y constante presencia de ondas no ionizantes genera una contaminación ambiental nociva para los seres vivos.

Los estudios de contaminación ambiental por ondas electromagnéticas normalmente se han enfocado en estudiar, analizar, medir y emitir recomendaciones respecto a límites de exposición a líneas de alta tensión, estaciones de radiocomunicaciones y muy recientemente estaciones base de telefonía móvil se refiere (Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz) ICNIRP, 1998), pero muy poco ha sido el interés por establecer específicamente recomendaciones a límites de exposición a ondas electromagnéticas no ionizantes producto tecnologías inalámbricas como las emitidas por la telefonía celular o equipo de internet o WIFI.

Los estudios científicos de carácter epidemiológicos que normalmente estudian los posibles efectos de las ondas producto de los equipos de telefonía celular utilizan como magnitud dosimétrica la tasa de absorción específica (SAR) que se define como la relación de energía absorbida en el tiempo por unidad de masa de tejido corporal expuesto (Quintana at Sepúlveda, 2013) o en términos más sencillos estudia el efecto térmico de las ondas producto de los equipos de telefonía celular en la cabeza y más específicamente en el cerebro humano, pero los científicos con el tiempo han planteado si las ondas mencionadas anteriormente no solamente producen un efecto térmico, si estas pueden afectar el cuerpo humano sin necesidad de tener una respuesta física inmediata, lo cual ha llevado a estudiar la posible relación entre la física de las ondas no ionizantes y su efecto biológico en el ser humano.

Figura 21. efectos las ondas del teléfono celular. absorción cerebro según la edad



Fuente. Imagen cortesía Dr Gandhi, University of Utah, IEEE Publication. (sous le feu des ondes, 2011)

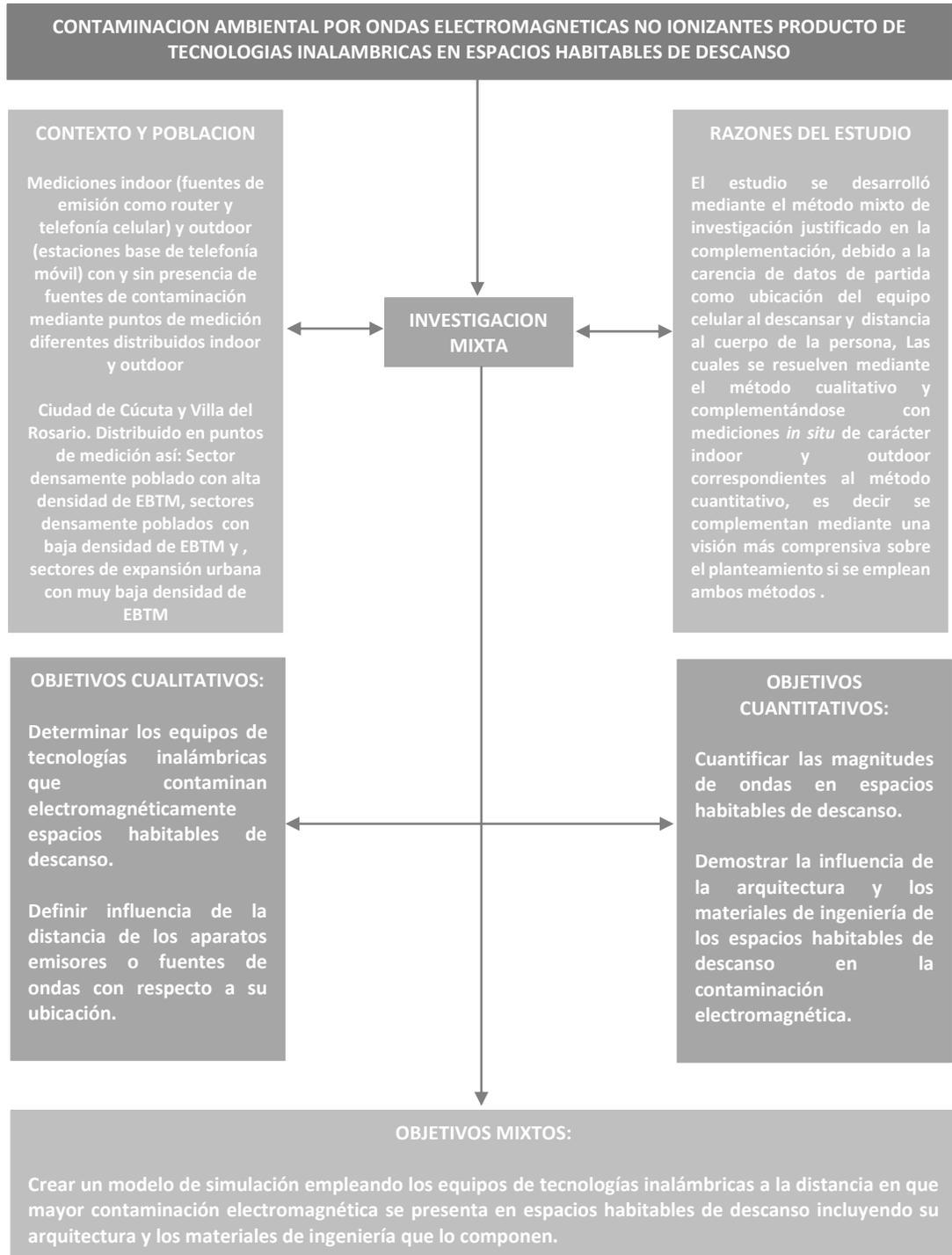
Los Gobiernos en el afán de conocer si la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas excede los límites de exposición recomendados, se han dado a la tarea de establecer sistema de monitoreo continuo de campos electromagnéticos, los cuales, mediante estaciones remotas envían datos en tiempo real a una central para su procesamiento. Lamentablemente los sistemas trabajan solo con un parámetro de medida como lo es Intensidad de campo eléctrico (V/m), dejando a un lado los tres parámetros restantes como son Intensidad de Campo magnético (A/m), la densidad de flujo magnético (μT) y Densidad de potencia (W/M²).

Los estudios de contaminación ambiental por ondas electromagnéticas con el tiempo han tendido a diferenciarse entre estudios de “caso ocupacional” y estudios de “caso poblacional” según el sitio donde se ubica la persona afectada o estudios outdoor o indoor según si la naturaleza del sitio es en espacio abierto o cerrado. Ahora es importante establecer que en el caso outdoor los principales agentes contaminantes por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas son estaciones de radiocomunicaciones y estaciones base de telefonía móvil, mientras que en los estudios indoor el principal agente contaminante es el equipo banda ancha wifi y los equipos de telefonía celular.

Las organizaciones internacionales han establecido límites de exposición y procedimientos para la determinación de la exposición por parte del ser humano. En el caso de la exposición de tipo ocupacional las organizaciones pueden realizar periódicamente mediciones y establecer si están en los límites legales; lamentablemente la exposición del público general no es tan sencilla, pues las variables aumentan según cada caso, especialmente en los concernientes a la Vivienda e inclusive la incertidumbre es mayor en la habitación de descanso en la cual reposa en horas de sueño. Lo anterior se debe a la falta de control que posee el habitante sobre las fuentes de contaminación externa, el escaso conocimiento de la contaminación ambiental producto de fuentes de contaminación interna (Router y equipo celular), equipos cada vez más poderosos en lo que a señal respecta, espacios cada vez más pequeños, materiales o revestimientos de los espacios que permiten una mayor incidencia de la contaminación y constante exposición durante las horas de descanso o de sueño.

El estudio “CONTAMINACION AMBIENTAL POR ONDAS ELECTROMAGNETICAS NO IONIZANTES PRODUCTO DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN ESPACIOS HABITABLES DE DESCANSO” se realizó dentro del marco de un estudio mixto o multimétodo, utilizando y fusionando herramientas de tipo cualitativo y cuantitativo.

Figura 22. Flujo del proceso de la Investigación mixta



Fuente, Autor, 2018

1.3 MARCO TEORICO

1.3.1 ORIGEN ONDAS ELECTROMAGNETICAS

El ser humano está constantemente expuesto a Campos electromagnéticos (CEM) durante toda su vida. Los CEM poseen fuentes de tipo natural como las presentes por acumulación de cargas eléctricas en determinadas zonas de la atmósfera por efecto de las tormentas (Campo eléctrico) o el generado por el campo magnético terrestre que provoca la orientación de las agujas de los compases en dirección Norte-Sur (Campo magnético). También, los CEM poseen fuentes de tipo artificial generados por el hombre, como los utilizados en máquinas de rayos X para diagnosticar la rotura de un hueso o tan común como los usados para la transmisión de información siendo siempre invisibles al ojo humano (OMS, 1999).

En la vida cotidiana se presenta exposición a campos eléctricos y campos magnéticos. Los campos eléctricos se pueden producir con solo conectar a un tomacorriente cualquier aparato o electrodoméstico, pero solo se produce un campo magnético cuando se enciende el elemento conectado (Solano y Sáiz, 2015).

Tabla 9. Características de los campos eléctricos y magnéticos

Campos eléctricos	Campos magnéticos
<ul style="list-style-type: none">• La fuente de los campos eléctricos es la tensión eléctrica.• Su intensidad se mide en voltios por metro (V/m).• Puede existir un campo eléctrico incluso cuando el aparato eléctrico no está en marcha.• La intensidad del campo disminuye conforme aumenta la distancia desde la fuente.• La mayoría de los materiales de construcción protegen en cierta medida de los campos eléctricos.	<ul style="list-style-type: none">• La fuente de los campos magnéticos es la corriente eléctrica.• Su intensidad se mide en amperios por metro (A/m). Habitualmente, los investigadores de CEM utilizan una magnitud relacionada, la densidad de flujo (microteslas (μT) o militeslas (mT)).• Los campos magnéticos se originan cuando se pone en marcha un aparato eléctrico y fluye la corriente.• La intensidad del campo disminuye conforme aumenta la distancia desde la fuente.• La mayoría de los materiales no atenúan los campos magnéticos.

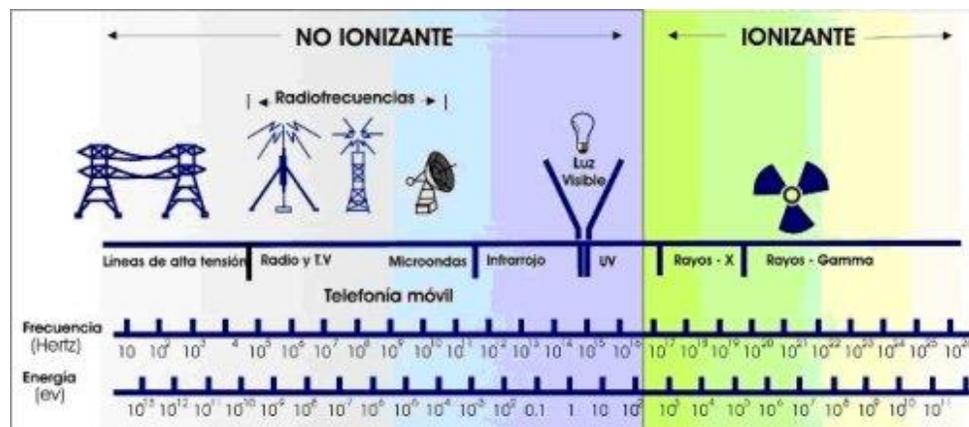
Fuente. Rojas, 2009

Los campos eléctricos y magnéticos son caracterizados por Ondas, las cuales varían según su longitud, frecuencia y amplitud.

1.3.2 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS IONIZANTES Y NO IONIZANTES Y SUS EFECTOS

Las Ondas electromagnéticas se dividen en Ionizantes y No Ionizantes. Las Ondas ionizantes son las que poseen la cantidad de energía suficiente para arrancar electrones de los átomos, ocasionando daño a las células. Un ejemplo claro de Ondas electromagnéticas ionizantes son los rayos X y rayos gama.

Figura 23. Espectro de Ondas Electromagnéticas



Fuente. Tutiven, 2004

Las ondas electromagnéticas no ionizantes son las que no poseen la energía suficiente para ionizar la materia, pero algunas si pueden ocasionar un efecto término. Ejemplos de Ondas electromagnéticas no ionizantes son las de radiofrecuencia (radio y televisión), rayos infrarrojos, microondas. “Sus efectos a largo plazo sobre la salud de los seres humanos aun es materia de discusión” según Selga y Selga (1997, Citados por Staiano et al., 2012)

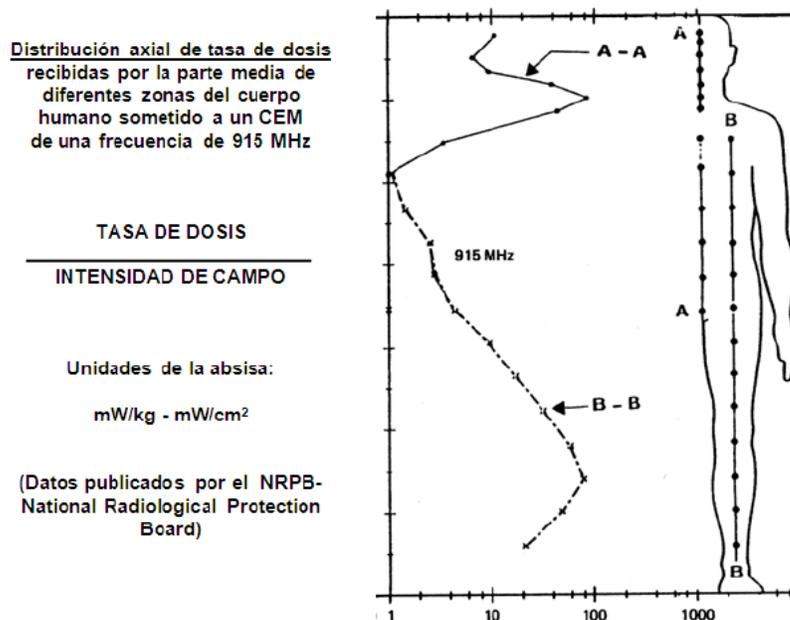
Los efectos biológicos causados por las Ondas Electromagnéticas No Ionizantes a los seres vivos dependen en la mayoría de los casos, de la cantidad de energía absorbida por el organismo. La cantidad de energía dependerá de las

características eléctricas y geométricas del sujeto de estudio y por lo general esta termina degradándose (Hernández et al., 2008).

Las Ondas Electromagnéticas No Ionizantes según estudios epidemiológicos generan tres situaciones debido a su exposición como son cambios físicos producidos por la interacción entre materia viva y campos electromagnéticos, los cuales no implican un riesgo para la salud; efectos biológicos que implican algún cambio biológico medible o perceptible en una función vital que cumple una célula, órgano o tejido; y los efectos perjudiciales para la salud que ocasionan un daño al individuo que supera su capacidad de regulación, reparación o compensación y puede generar un proceso patológico (Touset citado en Gallego 2011).

Los efectos de las Ondas Electromagnéticas No Ionizantes normalmente se diferencian entre efectos térmicos y no térmicos. El efecto térmico se presenta al ser expuesto un cuerpo a RNI, produciendo vibración molecular y por ende el aumento de temperatura en el mismo. Los efectos no térmicos se presentan por la inducción de pequeñas corrientes eléctricas que afectan las cargas eléctricas que normalmente posee un cuerpo o materia viva; sin embargo, existe incertidumbre científica acerca de sus efectos sobre los seres vivos.

Figura 24. Energía absorbida por diferentes partes del cuerpo expuesto a los CEM



Fuente. Touset citado en Gallego, 2011

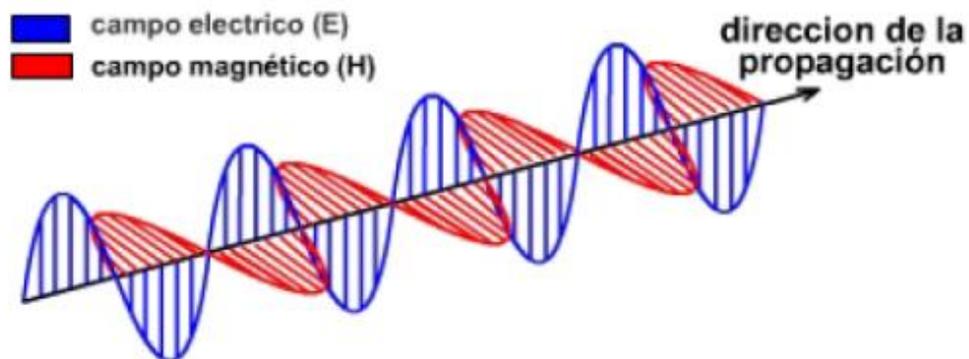
1.3.3 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA

La presencia masiva de fuentes de emisión de radiación electromagnética ha generado un tipo de polución casi imperceptible e inmaterial denominada “contaminación electromagnética” o “electropolucion” (Gallego, 2011). La contaminación Electromagnética (Termino reconocido por la OMS en 1981) es causada por emisión de radiaciones electromagnéticas originadas por los aparatos eléctricos y electrónicos (Méndez, 2008) posee la característica de propagarse en el vacío presentándose al caso de chocar con un objeto tres fenómenos como son trasmitirse a través del objeto, reflejarse o ser absorbidas.

1.3.3.1 Propagación ondas electromagnéticas

Los sistemas de comunicación inalámbricos utilizan para su funcionamiento un trasmisor y un receptor, como medio el aire y la información viaja en forma de energía electromagnética, la cual está compuesta por un campo eléctrico y un campo magnético (Castellanos y Talero, 2005).

Figura 25. Componentes del campo eléctrico y magnético de una onda electromagnética plana



Fuente. Castellanos y Talero, 2005

La magnitud del campo eléctrico (E) está dada por V/m y la magnitud del campo magnético (H) por A/m.

Las ondas electromagnéticas no ionizantes han sido ordenadas en un espectro que abarca desde ondas de frecuencia muy bajas (0 Hertz) a frecuencias muy elevadas (300 Hertz). Las microondas ubicadas en las frecuencias superiores que comprende entre 300 MHz y 300 GHz son generadas por telefonía móvil, hornos microondas, radares y sistemas de comunicación.

Tabla 10. Nomenclatura de las bandas de frecuencia y de las longitudes de onda utilizadas en radiocomunicaciones

DESCRIPCIÓN DE LAS ONDAS RADIOELÉCTRICAS		RANGO DE FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA
Very Low Frequency VLF	Ondas Miriamétricas	3 - 30 kHz	100 - 10 Km.
Low Frequency LF	Ondas Kilométricas	30 - 300 kHz	10 - 1 Km.
Médium Frequency MF	Ondas Hectométricas	300 - 3000 kHz	1 - 0.1 Km.
High Frequency HF	Ondas Decamétricas	3 - 30 MHz	0.1 - 0.01 Km.
Very High Frequency VHF	Ondas Métricas	30 - 300 MHz	0.01 - 0.001 Km.
Ultra High Frequency UHF	Ondas decimétricas	300 - 3000 MHz	0.001 - 0.0001 Km.
Super High Frequency SHF	Ondas centimétricas	3 - 30 GHz	0.0001 - 0.00001 Km.
Extremely High Frequency EHF	Ondas milimétricas	30 - 300 GHz	0.00001 - 0.000001 Km.

Fuente. Henao, 2012

La contaminación electromagnética es el resultado de la emisión de ondas electromagnéticas, las cuales poseen propiedades físicas que puede ser alteradas por condiciones propias del medio. El medio de propagación no posee características constantes, tiene propiedades como temperatura, condiciones climáticas como lluvia, humedad relativa, que afectan a la onda electromagnética desviándola o atenuándola.

Se presume que la humedad promedio y la temperatura al momento de realizar mediciones puede incidir en los niveles de campos electromagnéticos y por ende en los niveles de contaminación electromagnética (Henao, 2012).

Adicionalmente el medio posee otras condiciones que afectan las ondas electromagnéticas como son edificios, vegetación, los cuales reflejan y atenúan la señal.

1.3.3.2 Mecanismos de Propagación

Las ondas electromagnéticas poseen tres mecanismos de propagación, como son reflexión, difracción y dispersión. La reflexión se produce cuando una onda electromagnética choca contra una superficie de dimensiones mucho mayores que la longitud de onda de la señal y cuyas propiedades son distintas al medio anterior.

La difracción se presenta cuando el trayecto de la onda se ve obstruido por objetos que tienen esquinas y bordes marcados; al chocar la onda contra el objeto, se producen ondas secundarias que se asumen como nuevos frentes de onda propagándose inclusive en el espacio posterior al objeto. La naturaleza de la difracción a altas frecuencias depende de la geometría del obstáculo, amplitud, fase y polarización de la onda.

El mecanismo de dispersión acontece cuando la onda es obstruida por objetos cuyas dimensiones son mucho menores que la longitud de onda, o cuando se presenta una alta cantidad de objetos por unidad de volumen en el medio de propagación. Igualmente se puede presentar por superficies rugosas o irregularidades en el canal de comunicación. Objetos como lámparas, postes, árboles, mobiliario causan la dispersión produciendo bien sea incremento o decremento de la señal (Castellanos y Talero, 2005).

1.3.3.3 Propagación outdoor

Las Ondas electromagnéticas en espacios abiertos u outdoor se propagan uniformemente en todas direcciones desde una fuente puntual. En el caso de las fuentes de emisión ubicadas en las áreas urbanas los objetos que se encuentran como edificaciones, zonas verdes, entre otras causan que se presenten los tres mecanismos descritos en el numeral anterior, algunas investigaciones incluyen la 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.

La absorción acontece cuando entre la onda y un objeto se presenta un rozamiento

que hace que la energía mecánica se transforme en calor, tal y como ocurre durante la exposición prolongada durante una llamada celular.

Las ondas electromagnéticas en espacio libre u outdoor experimentan pérdida de energía proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente emisora y el punto de medición.

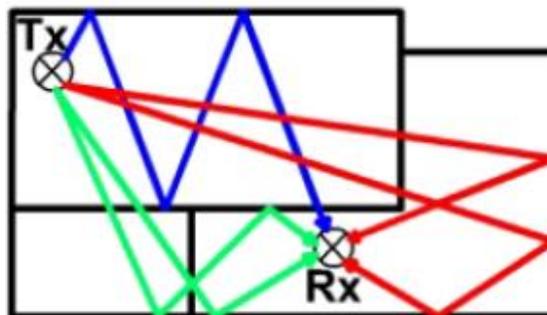
La propagación outdoor en el marco del presente estudio corresponde a las Estaciones Base de Telefonía Movil (EBTM).

1.3.3.4 Propagación indoor

La propagación indoor es aquella que se da en un ambiente cerrado. En general es afectada por los mismos mecanismos de propagación outdoor, aunque mucho más marcados. En ambientes indoor, las distancias son cortas predominando la propagación multi-trayecto y se da una mayor susceptibilidad a las variaciones producto de puertas, ventanas, muebles, personas entre otras (Castellanos y Talero, 2005).

La propagación multi-trayecto (multipath) en comunicaciones inalámbricas muchas veces no existe una línea de vista entre el trasmisor y el receptor, por lo cual, la señal transmitida debe seguir trayectos indirectos.

Figura 26. Propagación Multi-trayecto



Fuente. Castellanos y Talero, 2005

Al presentarse en un ambiente indoor múltiples señales que llegan por diferentes trayectos al receptor se pueden dar dos tipos de interferencia como son interferencia constructiva e interferencia destructiva. La interferencia constructiva se produce cuando la suma vectorial de las señales produce un aumento de la amplitud de la señal recibida. La interferencia destructiva se produce cuando la suma vectorial de las señales produce una disminución de la señal recibida en el receptor.

Otro fenómeno que acontece al manejar propagación multi-trayecto es el desvanecimiento (fading) el cual ocurre cuando la antena receptora no capta una sola señal limpia, recibiendo múltiples replicas que al llegar a la antena da una señal resultante que puede presentar un valor diferente en amplitud y fase, dependiendo de la intensidad y el tiempo de propagación relativa de las ondas y el ancho de banda de la señal transmitida.

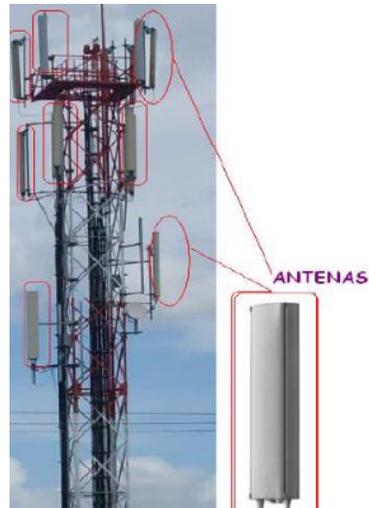
La propagación indoor en el marco del presente estudio corresponde a los router o enrutadores wifi y a los equipos móviles de telefonía celular.

1.3.3.5 Fuente emisora ambiente outdoor

Una antena se define como un dispositivo que hace 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 y Talero, 2005). Es importante diferenciar las estaciones base de telefonía móvil de las antenas, pues lo normal es que la primera sirve 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 por el cambio de tecnología se hace necesario 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 como son: impedancia, intensidad de radiación, directividad y ganancia, área efectiva, polarización, ancho de banda y patrón de radiación.

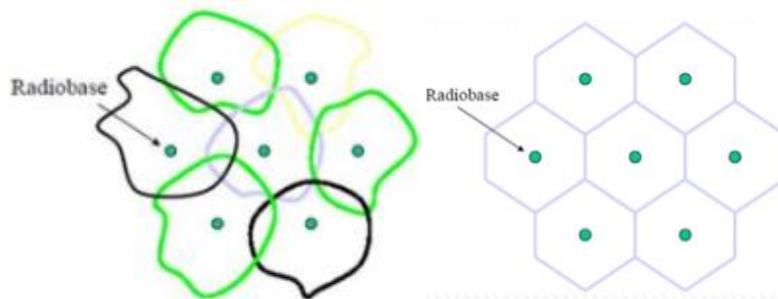
Figura 27. Estación base de telefonía móvil y antenas



Fuente. Gallego ,2011

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 célula (Cruz citado en Gallego 2011), y de la cual se deriva el nombre telefonía celular. La célula o celda a su vez 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.

Figura 28. Forma real y conceptual cobertura estación base de telefonía móvil



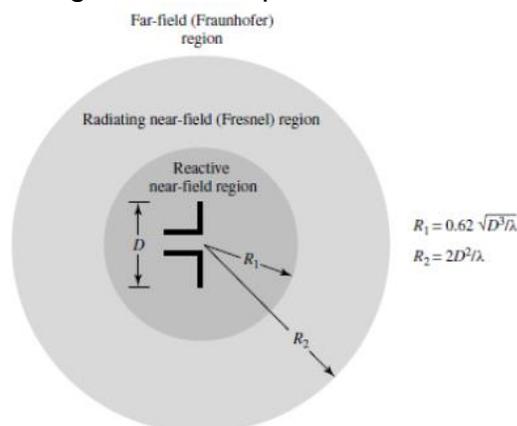
Fuente. Mendioroz y Rendon, 2014

El tamaño de la célula o celda depende de factores como potencia del equipo trasmisor, banda de frecuencia empleada, altura y posición de la torre de soporte, tipo de antena, topografía del sector, sensibilidad del radio receptor y la densidad del tráfico de llamadas.

En las áreas donde existe un alto tráfico de llamadas (normalmente zonas urbanas), se presentan muchas conexiones al tiempo; al poseer la estación un número limitado de conexiones, 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 es una antena por cada 261 habitantes, en San Pablo es una antena por cada 1947 habitantes, en Lima es una antena por cada 3462 habitantes, en Buenos Aires en una antena por cada 4076 habitantes (Telecom Argentina, 2015) y en Bogotá existe un a antena por cada 731 habitantes (Asociación de la industria móvil de Colombia - Asomovil). Es importante acotar que existen ciudades que no posee una mayor densidad de antenas debido a que la legislación vigente no lo permite.

Las antenas de comunicaciones inalámbricas son fuente de radiación la cual define unos campos que se encuentran asociados con las características de emisión, tales como 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). Es importante aclarar que el campo cercano se divide a su vez en dos subregiones como los son el campo cercano reactivo y el campo cercano radiactivo o región de Fresnel.

Figura 29. Campos de radiación



Fuente. Decreto 195 de 2005

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.

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.

El campo cercano reactivo o campo próximo inducido es la región de campo cercano inmediatamente circundante a la antena. Para el presente estudio no se tendrá en cuenta esta región.

1.3.3.6 Fuente emisora ambiente indoor

En ambientes indoor o ambientes internos correspondientes a las viviendas, las fuentes de emisión de ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas encontradas son los routers o enrutadores y los equipos de telefonía celular.

El router o enrutador wifi es un equipo que permite conectar a la red por cableado con dispositivos que soporten la tecnología Wifi mediante un enlace microondas (Quintana y Sepúlveda, 2013). El enrutador wifi es tan solo un componente de los varios que hacen parte de la red inalámbrica, la cual está conformada por nodo interconectados entre sí a través de ondas de radiofrecuencia. Los componentes de cada nodo son la antena, el enrutador y el dispositivo cliente.

El wifi (Wireless Fidelity) es una tecnología de acceso directo inalámbrico, que se aplica a las redes de ordenadores o terminales de datos conectados mediante ondas de radio basada en el estándar 802.11; con un funcionamiento similar al de los teléfonos móviles, que permite una conexión inalámbrica entre distintos equipos en un radio geográfico restringido determinado por una estación base. Estas tecnologías inalámbricas wifi permiten conexiones entre las propias terminales para la transmisión de datos a alta velocidad en las bandas disponibles de 2.4 GHz y 5 Ghz (Principios básicos de redes inalámbricas).

Figura 30. Router o enrutador wifi Askey modelo RTV9015VW de uso domestico



Fuente. Autor, 2018

Los equipos de telefonía celular o teléfonos móviles son otra fuente de emisión de ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas indoor en las viviendas. Los teléfonos móviles permiten la comunicación mediante el uso de una red de estaciones base. La información fluye de los dispositivos móviles hacia la estación base y viceversa a través de campos electromagnéticos de alta frecuencia (Andrade y Contreras, 2014). A diferencia de un enrutador, el equipo de telefonía móvil genera exposiciones localizadas cerca a la cabeza del usuario, provocando una elevación de temperatura superficial y profunda en los tejidos de la cabeza expuestos a radiación en las frecuencias de 900 MHz. Es importante establecer que la densidad de potencia de las ondas que generan los teléfonos móviles es mil veces inferior a la generada por una estación base, pero la primera se encuentra a una distancia pequeñísima del cuerpo y su exposición es continua.

La calidad de señal de los teléfonos móviles es mejor al aire libre, al estar al interior de una edificación se ve afectada disminuyendo, y, por ende, el equipo debe emitir una mayor potencia para recibir una mejor señal de la estación base generando una mayor exposición al usuario del mismo. Los modelos de teléfonos móviles más recientes disminuyen los niveles de exposición con respecto a sus antecesores.

Figura 31. Teléfono móvil tipo Smartphone SAMSUNG J5 PRIME



Fuente. Autor, 2018

Los teléfonos móviles cada vez poseen más aplicaciones, como es el caso de los denominados Smartphone, que poseen algunas aplicaciones insertas en su software desde su venta al público, otras en su mayoría, son descargadas gracias a tiendas virtuales ampliando el uso del teléfono móvil y como consecuencia una mayor exposición a su emisión de ondas.

1.3.4 INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO (E)

El campo eléctrico es la fuerza electrostática presente alrededor de una carga fuente mediante la cual se da interacción con otras cargas. Es la región donde se genera un movimiento en el cual se 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 y Contreras, 2014).

1.3.5 INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO (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).

1.3.6 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/m^2).

La densidad superficial de potencia (DSP) es la potencia que pasa un área de 1 m², se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m^2) y representa la cantidad de energía absorbida por una superficie expuesto a la radiación.

1.3.7 MEDICION DE CAMPOS ELECTROMAGNETICOS

La medición de campos electromagnéticos para el caso de antenas está regulada por la 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 pero normalmente en los proyectos de investigación y académicas se utiliza el 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 medición de campos electromagnéticos en Colombia (Resolución 1645 de 2005), establece como procedimiento para estaciones radioeléctricas 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 realizaran mediciones de promediación de 6 minutos, con el fin de estudiar su estabilidad en el tiempo.
- Con la información tomada, en el computador portátil, se podrán realizar graficas de toma de medidas, indicando los niveles de campo normalizados respecto a los límites establecidos de exposición.

La medición de ondas electromagnéticas debe tener claridad si el sitio objeto de estudio es irradiado por fuentes de emisión o inmisión. La medición de emisión se denomina a la medición realizada con equipo banda angosta (medidores de intensidad de campo, analizadores de espectros, etc., sintonizables) a fuentes definidas. La medición de inmisión se denomina a la medición realizada 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 dispositivos miden 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, la mayoría de los documentos proporcionan niveles derivados de referencia para el campo eléctrico, el campo magnético y la densidad de potencia. Los límites

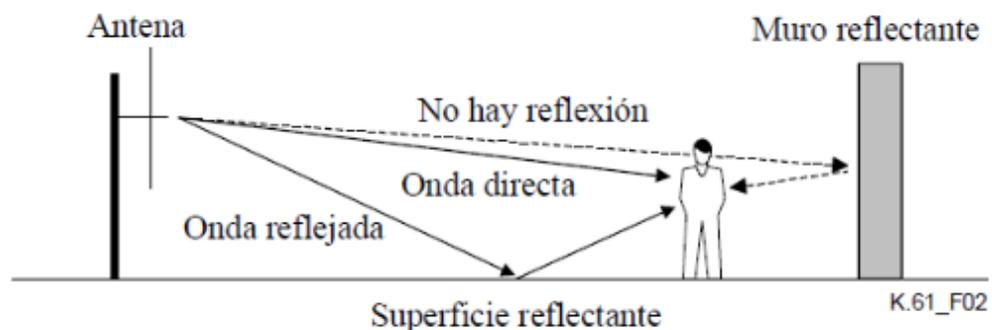
derivados se utilizan en situaciones cuando el campo electromagnético es afectado por la presencia de un cuerpo.

Los límites normalmente se expresan como valores eficaces de una onda continúa promediada a lo largo de un periodo de tiempo definido. Un ejemplo 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 de 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 (recomendación IUT-T K.61).

Figura 32. Ilustración de una alteración multitrayecto 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 es cuatro veces menor y a una distancia triple la intensidad es nueve veces menor.

1.3.7.1 Medición de campos electromagnéticos outdoor

La Medición de campos electromagnéticos outdoor normalmente se realizan 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 outdoor se divide en toma de medición horizontal y vertical. Las mediciones en sentido horizontal normalmente se establecen dentro de los cien metros alrededor de la estación base, tomándose bien sea cada metro, cada cinco metros o cada 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 centímetros o cada cincuenta centímetros según lo dispuesto por el investigador. Las mayores de investigadores dividen el área circundante a la antena en planta en cuatro ejes perpendiculares entre si sobre los que se desplazaran tomando las mediciones anteriormente descritas.

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

1.3.7.2 Medición de campos electromagnéticos indoor

La Medición de campos electromagnéticos indoor corresponde a equipos de telecomunicaciones que generan campo eléctrico, campo magnético y una densidad de potencia relativamente elevada en comparación con equipo que no generan ondas de este tipo.

Al desarrollar la medición en espacios confinados y de dimensiones pequeñas el número de puntos disminuye sustancialmente en comparación con las de naturaleza outdoor.

La medición para un equipo con tecnología inalámbrica en ambiente indoor se divide en toma de medición horizontal y vertical. Las mediciones en sentido horizontal normalmente se establecen dentro de los límites del espacio, tomándose bien sea cada veinte centímetros, cada cincuenta centímetros o cada metro 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 o hasta la altura máxima del espacio, tomándose cada veinte centímetros o cada cincuenta centímetros según lo dispuesto por el investigador.

1.4 MARCO LEGAL

En Colombia se establecieron límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos mediante el Decreto 195 del 31 de Enero de 2005 del Ministerio de comunicaciones “por el cual se adoptan límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se adecuan procedimientos para la estación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones”, en el marco de los derechos colectivos y del ambiente, señalado en los artículos 79 y 80 de la constitución política, en virtud del cual todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y corresponde al Estado prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental.

El Decreto 195 de 2005 del Ministerio de comunicaciones se fundamenta en la Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) UIT-T K.52 “Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición a los campos electromagnéticos”, la Recomendación 1999/519/EC del Consejo Europeo “por el cual se establecen límites de exposición del público en general a campos electromagnéticos” y en “Recomendaciones para limitar la exposición a campos electromagnéticos” resultado del estudio realizado por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante (ICNIRP).

El Decreto 195 DE 2005, es aplicables a quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones en la gama de frecuencias de 9KHz a 300 GHz, en territorio colombiano. Las disposiciones de este decreto no aplican para los emisores no

internacionales, las antenas receptoras de radiofrecuencia, fuentes inherentemente y los equipos o dispositivos radioeléctricos terminales del usuario.

Para el caso de las fuentes inherentemente conformes, es decir, aquellos dispositivos que debido a su baja potencia de radiación no requieren medidas de precaución particulares. El gobierno contrato un estudio que tuvo en cuenta la recomendación UIT-TK.52 para definir parámetros de la Resolución 1645 del 29 de julio de 2005 “por la cual se reglamenta el Decreto 195 de 2005” del Ministerio de Comunicaciones.

La Resolución 1645 de 2005 define como fuentes inherentemente conformes a los emisores que emplean sistemas o servicios cuyos campos electromagnéticos emitidos cumplen con los límites de exposición pertinentes y no son necesarias precauciones particulares y entre los que se encuentra la telefonía móvil celular.

Por último, es importante establecer que el Estado en la Ley 99 del 22 de diciembre de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”, artículo 1, numeral 6, “La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente”.

CAPITULO 2. METODOLOGÍA

El enfoque metodológico mixto (Hernández Sampierini, 2014) está representado en la combinación armónica de aspectos cualitativos y cuantitativos; además, el enfoque hipotético deductivo que permea la mayor parte del proceso investigativo es complementado con un enfoque inductivo representado en la posibilidad de aplicar los resultados obtenidos en múltiples y variados contextos.

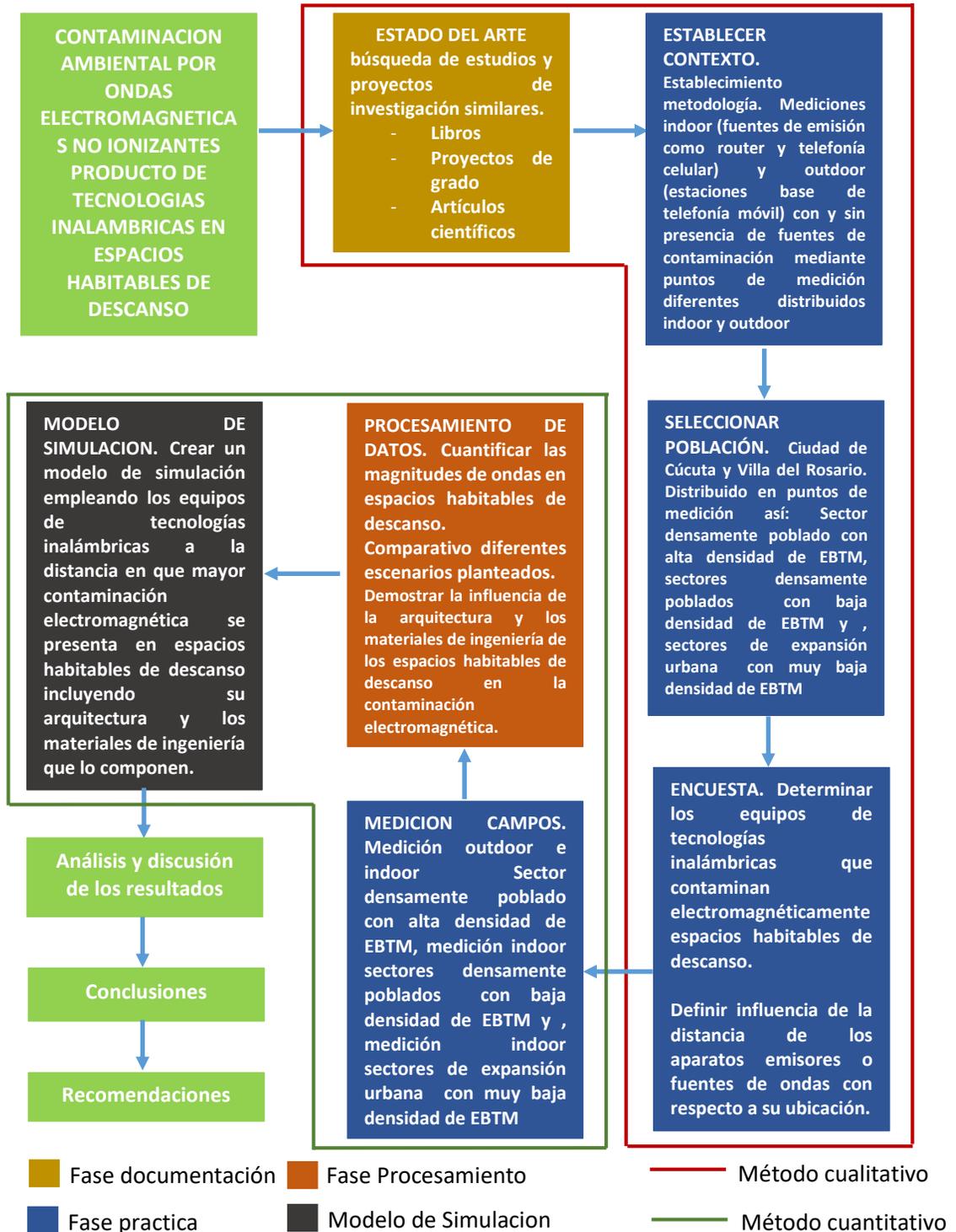
El método cualitativo normalmente se utiliza primero para descubrir y refinar preguntas de investigación. A veces, pero necesariamente, prueban hipótesis. La mayoría de veces se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como las descripciones y las observaciones. El método cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población (Ramón Valencia, 2014).

La metodología empleada permitió estructurar la investigación en cuatro fases como son: documentación, práctica, procesamiento y por último modelo de simulación.

Las cuatro fases propuestas poseen como objetivo dar las bases sólidas a la investigación, partiendo desde su concepción con su objetivo general CONTAMINACION AMBIENTAL POR ONDAS ELECTROMAGNETICAS NO IONIZANTES PRODUCTO DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS EN ESPACIOS HABITABLES DE DESCANSO. Ahora, si bien en distintas organizaciones e instituciones a nivel internacional, regional y nacional se han desarrollado proyectos similares, el presente proyecto no se basó, ni busca tomar un camino de carácter epidemiológico, debido que aun en la comunidad científica internacional no hay un consenso acerca de la afectación de la salud humana por su exposición a ondas electromagnéticas no ionizantes; Adicionalmente, el presente proyecto se redactó con un lenguaje sencillo, basado en los términos y el conocimiento técnico de áreas como la electricidad, el magnetismo, ondas y telecomunicaciones.

La metodología desarrollada pretende dar una visión amplia y real del papel de las tecnologías inalámbricas en el mundo de hoy, pero también plantear la duda, si se está desarrollando de manera desmedida y sin control, convirtiéndose en una nueva fuente de polución como lo es la contaminación electromagnética.

Figura 33. Metodología de investigación aplicada



Fuente. Autor, 2018

2.1 DOCUMENTACIÓN

Esta fase consiste en la búsqueda de estudios y proyectos de investigación similares en Organizaciones e instituciones en el ámbito internacional, nacional y regional.

El procedimiento empleado para la búsqueda de información, que es la base fundamental del estudio, se realiza a nivel presencial y virtual. A nivel presencial se realizaron búsquedas extensas en los claustros universitarios, obteniendo una producción propia por parte de la Universidad de Pamplona, cuya temática se centraba en la medición de ondas electromagnéticas y proponía modelos de propagación de ondas mediante el uso de software, pero enmarcada más en la ingeniería de telecomunicaciones. En los centros universitarios más cercanos se encuentra igualmente información bibliográfica más enfocada en realizar mediciones para perfeccionar modelos predictivos, aunque con un índice un poco más elevado de trabajos de grado con tema central contaminación por ondas electromagnéticas. Durante la búsqueda se halla información de carácter muy técnico que podría causar confusión al abarcar una amplia gama de conceptos nuevos, que no revisten importancia para el proyecto.

La búsqueda a nivel virtual entrega muchos resultados, presentando desde investigaciones independientes hasta proyectos de grado de excelente nivel, enseñando hipótesis importantes, metodologías interesantes y resultados sorprendentes. La mayoría de trabajos provienen igualmente de universidades con facultades de medicina y de física fuertes en la investigación; lamentablemente la basta riqueza encontrada se disminuyó al iniciar un proceso de selección, en la cual, se excluyen los trabajos con un enfoque epidemiológico muy marcado, debido al no reconocimiento por parte de organizaciones e instituciones de carácter internacional de los posibles efectos nocivos de las ondas electromagnéticas no ionizantes para la salud humana; y se opta por la inclusión de los estudios centrados sobretodo en trabajos de medición y concientización de los posibles riesgos.

Los primeros estudios correspondientes a efectos sanitarios de las Radiaciones electromagnéticas No Ionizantes (RNI) iniciaron en los años 60 del siglo pasado (Méndez, 2004, Citado por Méndez, 2008), por medio de los cuales se verificó que algunas respuestas fisiológicas resultantes de la radiación que podían ser benéficas, como en la fisioterapia o, en otros casos, nocivas para la salud; Pero fue hasta 1992 en Montreal (Canadá), durante el Octavo Congreso Internacional de la International Radiation Protection Association (IRPA), que fue establecida una

nueva organización científica independiente, La Comisión Internacional para la Protección Contra la Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), que tiene como funciones investigar los peligros que pueden ser asociados con las diferentes formas de RNI, desarrollar recomendaciones Internacionales sobre límites de exposición para RNI, y tratar todos los aspectos sobre protección contra las RNI contra efectos adversos a la Salud conocidos (Hernández et al., 2008).

La comunidad científica internacional debate año tras año en diversos escenarios, cuáles serían los niveles y condiciones de radiación que pueden ser considerados como inocuos, pero hasta el momento no se tiene una conclusión final definitiva. Por esto, la OMS recomienda sobre este asunto adoptar medidas de prevención, y de allí deriva que diversos países han adoptado leyes y directrices sobre RNI y salud de carácter preventivo. Así, países como Austria y Suiza tienen leyes RNI que contemplan niveles de irradiación mucho menores que las recomendadas por la ICNIRP, toda vez que esta comisión no tiene en cuenta medidas preventivas para largo plazo de radiación (Méndez, 2008).

El grado de inclusión de las tecnologías inalámbricas (Wifi y telefonía móvil) ha llegado a tal punto que organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico – OCDE, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, el Banco Mundial y la UIT entre otras, han incluido en sus estudios económicos indicadores de las TIC o conectividad de internet, correlacionándolos directamente con el grado de desarrollo de las naciones y visualizando claramente la brecha que existe entre países desarrollados y en vía de desarrollo.

El gobierno Nacional, mediante el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones ha desarrollado un sistema de monitoreo continuo en las principales ciudades del país, con setenta y tres estaciones remotas transmitiendo información cada treinta minutos de medición de campo eléctrico (V/m) e información accesible por parte de la población, mediante un portal que permite ver información en tiempo real y datos históricos acumulados de algo más de veintiocho millones de mediciones. Adicionalmente y gracias al trabajo del Ministerio de salud y protección social se ha incluido en los agentes contaminantes a las ondas no ionizantes, dando un espacio en la literatura de la prevención a la contaminación electromagnética.

2.2 PRACTICA

El desarrollo procedimental del proyecto de investigación es de carácter mixto, el cual permite la combinación de aspectos cuantitativos con herramientas cualitativas de recolección y análisis de información, representadas en mediciones y encuestas, respectivamente, las cuales permiten dar una visión acerca del manejo dado a los enrutadores wifi y equipos de telefonía móvil en los espacios de descanso en las viviendas.

2.2.1 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, de mediciones indoor con presencia de fuentes de emisión como enrutadores wifi y telefonía celular y sin la presencia de estos; y outdoor a estaciones base de telefonía móvil mediante puntos de medición diferentes distribuidos.

Una vez realizadas las mediciones se establecen comparaciones entre contaminación electromagnética outdoor y contaminación electromagnética indoor; y entre contaminación electromagnética indoor sin presencia de fuentes de emisión y contaminación electromagnética indoor con presencia de fuentes de emisión. Es decir, se establecen comparaciones entre contaminación electromagnética en ambiente externo con incidencia en el público en general y contaminación electromagnética en ambiente interno con incidencia en sus ocupantes debido al manejo dado a los equipos de tecnología inalámbrica; y entre contaminación electromagnética en ambiente interno con incidencia en sus ocupantes producto de la radiación proveniente de la parte externa del espacio en estudio y contaminación electromagnética en ambiente interno con incidencia en sus ocupantes debido al manejo dado a los equipos de tecnología inalámbrica.

2.2.2 POBLACION Y AREAS OBJETO DE ESTUDIO

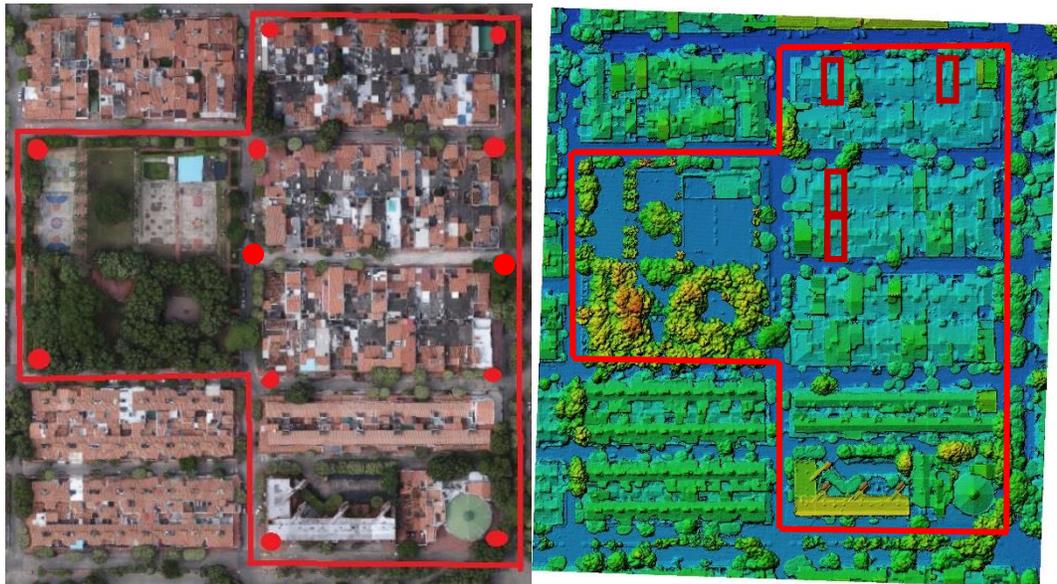
La selección de la población y áreas objeto de estudio se desarrolla en el marco del método cualitativo, cuyo objetivo es establecer una distribución de puntos de medición en un sector densamente poblado con alta densidad de EBTM, sectores

densamente poblados con baja densidad de EBTM y sectores de expansión urbana con muy baja densidad de EBTM; estableciendo un comparativo entre la contaminación producto de la ETBM en los ambientes outdoor e indoor.

La primera población seleccionada es la ciudad de Cúcuta, decisión basada en la extensa red de EBTM que posee, a la alta densidad poblacional en algunos sectores, la topografía constante y plana de algunos sectores y bajas precipitaciones y temporadas de lluvias, por ende, no ionizan el ambiente y afectan la toma de mediciones.

El área objeto de estudio para las mediciones comparativas outdoor e indoor se selecciona en la ciudad de Cúcuta, más exactamente el Barrio Los Pinos, el cual posee condiciones idóneas, una muestra urbana de tipo residencial, comercial e institucional, y características que ofician como constantes y permiten disminuir las variables para la toma de mediciones y su posterior análisis.

Figura 34. a. Fotografía aérea delimitación y puntos de medición outdoor propuestos y b. fotografía altimetría Barrio Los Pinos (Cúcuta) y puntos de medición indoor propuestos



Fuente. Autor, 2018

El Barrio Los Pinos es producto del desarrollo urbanístico planificado de la ciudad de Cúcuta en los años 70, con calles planas, rectas y ortogonales, con viviendas fabricadas con sistema constructivo constante, 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, una excelente arborización que crea una relación ser humano – naturaleza (Mosquera, 2006) poco visto en 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 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).

Figura 35. Fotografía 3D Barrio Los Pinos (Cúcuta)



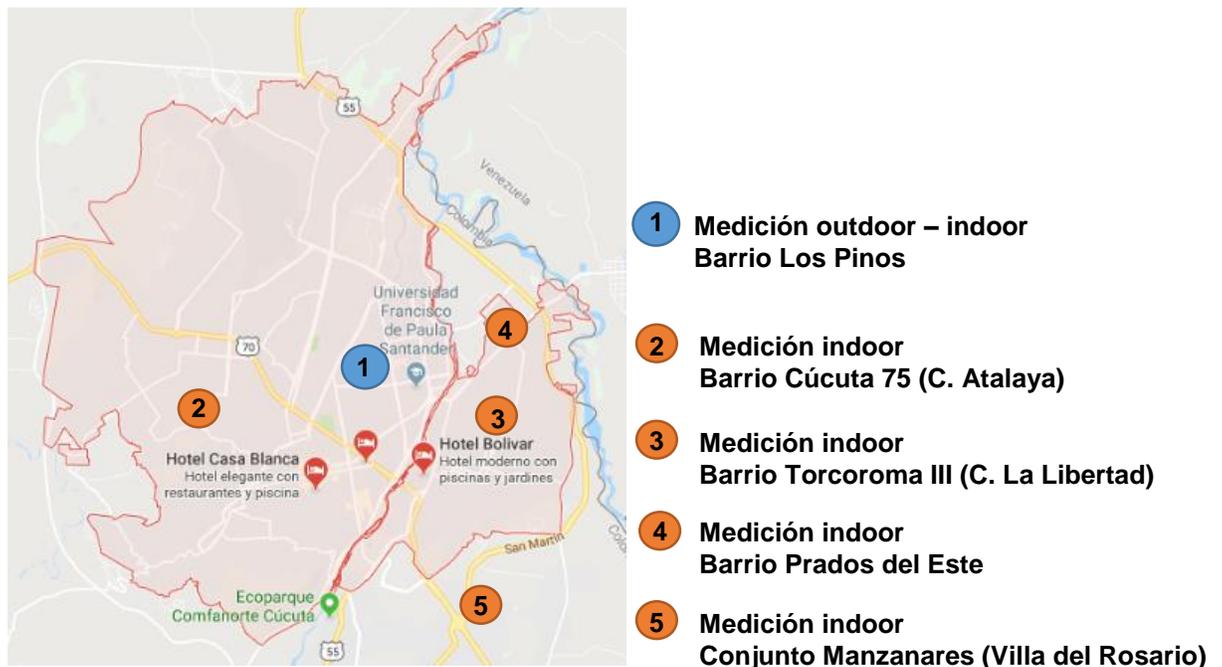
Fuente. Autor, 2018

Adicionalmente, el Barrio Los Pinos tiene una característica muy importante como lo es la ubicación de una Estación Base de Telefonía Móvil (EBTM) en lo que antiguamente fuese una vivienda.

El área objeto de estudio para las mediciones comparativas sectores densamente poblados con baja densidad de EBTM en ambiente indoor se seleccionaron viviendas ubicadas en el Barrio Cúcuta 75 (Ciudadela Juan Atalaya), Barrio Torocorma III (Ciudadela La Libertad) y Barrio Prados del Este (próximo a la frontera con Venezuela). En el caso de las viviendas ubicadas en las ciudadelas se seleccionaron en base a su ubicación en áreas densamente pobladas, pero con calidad de servicio bajo debido al bajo número de EBTM con respecto a otros sectores de la ciudad. El punto seleccionado en el Barrio Prados del Este obedece a que al igual que el Barrio Los Pinos es un área urbanística planificada y en desarrollo.

La segunda población seleccionada es la ciudad de Villa del Rosario, decisión basada por ser el área de expansión urbana planificada, baja en red de EBTM, baja densidad poblacional en algunos sectores, topografía inclinada en algunos sectores y bajas precipitaciones y temporadas de lluvias, por ende, no ionizan el ambiente y afectan la toma de mediciones. El área seleccionada es el conjunto Manzanares, ubicado en un área de expansión, planificada urbanísticamente y posee una baja presencia de EBTM.

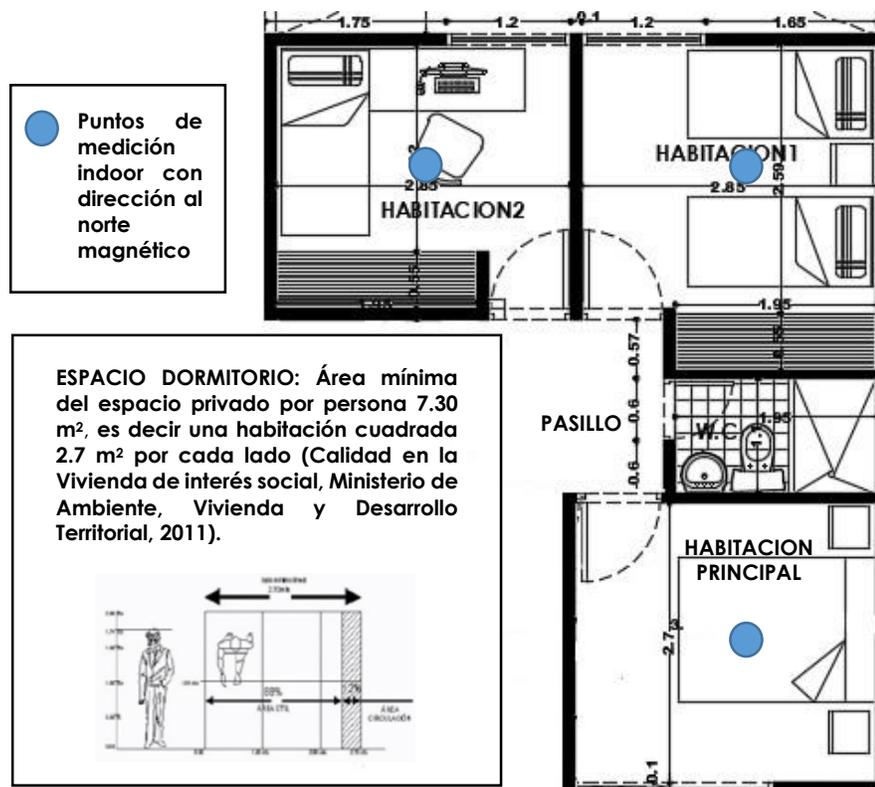
Figura 36. Mapa de Cúcuta y ubicación puntos de medición seleccionados



Fuente. Google maps, 2018

Las viviendas seleccionadas a realizar mediciones poseen como característica una distribución de espacios similar al Barrio Los Pinos compuesta por tres habitaciones con dimensiones que no superan los 3 metros cuadrados libres en ninguno de sus sentidos (ver figura 37), piso en material derivado de la arcilla, muros en mampostería revestidos y acabados en pintura en vinilo y cubierta en tejado o placa en concreto maciza.

Figura 37. Plano distribución común habitaciones vivienda



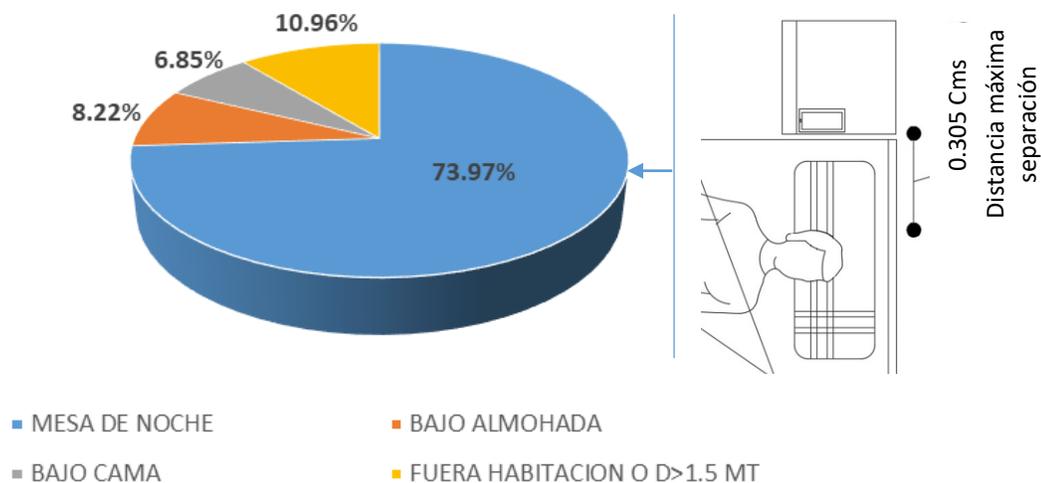
Fuente. Autor, 2018

Las anteriores características descritas sirven de base para disminuir el número de variables independientes que inciden en la toma de mediciones, con el fin que dichas mediciones sean solo dependientes en lo posible de la fuente de emisión de ondas, las dimensiones del espacio y los materiales de construcción del espacio.

2.2.3 DETERMINACION EQUIPOS DE TECNOLOGIA INALAMBRICA Y SU INFLUENCIA

El método cualitativo en esta etapa se aplica mediante una encuesta, la cual se realiza puerta a puerta en el Barrio Los Pinos de la Ciudad de Cúcuta, con el fin de establecer si las viviendas ubicadas en dicho sector correspondiente a estrato socioeconómico cuatro poseen enrutador wifi y teléfonos celular y adicionalmente conocer en qué lugar ubicaban las personas el equipo de telefonía celular mientras descansan o duermen en la noche. Se encuestaron 73 personas, afirmando todas que en sus viviendas hay un enrutador wifi y cuando menos un equipo de telefonía celular entregando como resultado que el 73.97% de las personas dejan el celular en la mesa de noche junto a la cama, el 8.22% bajo la almohada, el 6.85% bajo la cama y solo el 10.96% deja el equipo a más 1.5 metros de distancia de la cama o fuera de la habitación; es decir el 89.04% de los encuestados dejan el equipo de telefonía celular a un máximo de 30.5 centímetros de su cabeza. Se pudo constatar también, que ninguno de los encuestados tiene el equipo wifi en la habitación.

Figura 38. Ubicación equipo celular en horas de sueño o descanso



Fuente. Autor, 2018

Las encuestas están compuestas por una serie de preguntas sencillas donde se solicitaba estrato socioeconómico, sexo, si tenía enrutador wifi y equipo de telefonía celular y donde están ubicados dichos equipos durante su periodo de descanso o sueño. En la encuesta se omitió el nombre y explicar previamente el objeto de la encuesta pues se observó que afectaba la respuesta del encuestado.

2.2.4 MEDICION CAMPOS ELECTROMAGNETICOS

2.2.4.1 Magnitudes a medir

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/m².

En las ondas electromagnéticas sus tres componentes se comportan como vectores ortogonales desplazándose cada uno sobre un eje del espacio. Ahora, al realizar mediciones a fuentes de inmisión por cada uno de los ejes X, Y y Z pueden llegar valores para cada una de las magnitudes; en el presente proyecto se busca tomar la magnitud como un único valor, por lo tanto, el valor tomado será 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 en estudio en ambiente indoor. Para el presente caso se trabajó con el promedio máximo con el fin de obviar los valores picos inferiores de la onda durante la medición.

2.2.4.2 Periodo de medición

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

2.2.4.3 Equipo de medición

El equipo de medición seleccionado es medidor de intensidad de RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846 escala de frecuencia de 10 MHz a 8GHz, el cual posee como principales características que es un medidor de banda ancha para

monitorear la radiación de alta frecuencia, para medidas isotrópicas y sensor de medición de tres canales

Figura 39. Equipo medidor de intensidad de RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846



Fuente. Autor, 2018

2.2.3.4 Horario toma de mediciones

El proyecto posee como objetivo realizar mediciones en horas de descanso o de sueño, luego, las medidas se deben realizar en horas de la noche. En el caso de las mediciones outdoor no habría limitante para la permanencia del operador del equipo durante la noche, pero el acceso a las habitaciones para las mediciones indoor es difícil debido a la negativa de las personas que habitan las viviendas y aceptaron participar en el estudio. Por lo anterior las mediciones realizadas de carácter outdoor e indoor son en el horario comprendido entre 6 pm y las 9 pm.

2.2.4.5 Medición outdoor – indoor Barrio Los Pinos

La medición outdoor en Los Pinos se realiza mediante la toma de datos en doce puntos diferentes correspondientes a las esquinas de las cuadras que comprenden el Barrio (Ver figura 34a).

El procedimiento establecido es el siguiente:

- Horario de toma de datos entre las 6 pm y las 9 pm.
- El operador del equipo debe estar desprovisto de equipos electrónicos y equipos de telefonía móvil.
- El operador mediante el uso de un GPS georreferencia los puntos.
- 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, los cuales una vez trascurren se toman en bitácora los valores captados por el equipo.
- Si el equipo durante o antes de la medición enciende el icono para cambio de batería, provocara inmediatamente la suspensión del proceso de medición, perdida de ese último dato, cambio de la batería e inicio de nuevo del punto donde solicito cambio de batería.

Figura 40. a. EBTM Barrio Los Pinos, b. Georreferenciación punto y c. Medición outdoor EBTM



Fuente. Autor, 2018

Normalmente durante las tres horas de medición establecida por día solo se logra hacer un recorrido de los doce puntos de medición outdoor.

Tabla 11. Valores promedio máximo puntos outdoor Barrio Los Pinos

MEDICION	COORDENADAS		DIRECCION	Intensidad C Electrico (mV/m)	Intensidad C Magn. (mA/m)	Densidad de Potencia (μ W/m ²)
1	N 7° 54' 01,4"	W 72° 29' 28,2"	Calle 2N con Avenida 7E	0.467	1.239	0.579
2	N 7° 54' 01,3"	W 72° 29' 34,6"	Calle 2N con Avenida 9E	0.535	1.418	0.759
3	N 7° 54' 04,3"	W 72° 29' 34,6"	Avenida 9E CON Calle 3N	0.939	2.485	2.336
4	N 7° 54' 04,2"	W 72° 29' 38,4"	Avenida 7E CON Calle 3N	1.055	2.800	2.956
5	N 7° 54' 04,2"	W 72° 29' 42,1"	Avenida 6E CON Calle 3N	1.266	3.359	4.255
6	N 7° 54' 08,1"	W 72° 29' 42,1"	Avenida 6E CON Calle 4AN	1.291	3.425	4.423
7	N 7° 54' 07,9"	W 72° 29' 38,2"	Avenida 7E CON Calle 4AN	0.857	2.274	1.949
8	N 7° 54' 06,7"	W 72° 29' 34,2"	Avenida 7E CON Calle 4N	1.410	3.740	5.275
9	N 7° 54' 08,4"	W 72° 29' 38,9"	Avenida 9E CON Calle 4N	0.780	2.069	1.614
10	N 7° 54' 07,7"	W 72° 29' 34,4"	Avenida 9E CON Calle 4AN	0.725	1.924	1.395
11	N 7° 54' 09,8"	W 72° 29' 34,8"	Avenida 9E CON Calle 5AN	0.401	1.062	0.425
12	N 7° 54' 09,8"	W 72° 29' 38,4"	Avenida 7E CON Calle 5AN	1.009	2.676	2.700

Fuente. Autor, 2018

La medición indoor es similar a la establecida para el ambiente outdoor, salvo que es estos puntos se está programado tomar la medición dos veces, la primera con los equipos apagados en la vivienda y la segunda con el teléfono celular a menos de treinta centímetros del equipo de medición, medida proporcionada por la encuesta realizada en la primera etapa del estudio. Para la medición indoor participaron cuatro viviendas del Barrio tomando medición en cada una de las tres habitaciones con el fin de poseer el mismo número de mediciones que el ambiente outdoor y poder desarrollar un análisis comparativo.

Figura 41. Medición indoor sin presencia de equipos de tecnología inalámbrica



Fuente. Autor, 2018

Por cada punto de medición outdoor e indoor se trabaja con valores promedio máximo resultantes de 3600 datos medidos en 6 minutos.

Tabla 12. Valores promedio máximo puntos indoor Barrio Los Pinos

MEDICION	COORDENADAS		DIRECCION	CONDICION	Intensidad C Electrico (mV/m)	Intensidad C Magnetico (mA/m)	Densidad de Potencia (μ W/m ²)
1	N 7° 54' 06,5"	W 72° 29' 37,5"	CLL 4N 7E-18	Celular	0.315	0.836	0.264
1	N 7° 54' 06,5"	W 72° 29' 37,5"	CLL 4N 7E-18	Sin Celular	0.224	0.595	0.133
2	N 7° 54' 06,5"	W 72° 29' 37,4"	CLL 4N 7E-18	Celular	0.265	0.702	0.186
2	N 7° 54' 06,5"	W 72° 29' 37,4"	CLL 4N 7E-18	Sin Celular	0.225	0.597	0.134
3	N 7° 54' 06,6"	W 72° 29' 37,5"	CLL 4N 7E-18	Celular	0.313	0.831	0.260
3	N 7° 54' 06,6"	W 72° 29' 37,5"	CLL 4N 7E-18	Sin Celular	0.179	0.475	0.085
4	N 7° 54' 06,7"	W 72° 29' 37,4"	CLL 5N 7E71	Celular	0.285	0.757	0.216
4	N 7° 54' 06,7"	W 72° 29' 37,4"	CLL 5N 7E71	Sin Celular	0.741	1.965	1.456
5	N 7° 54' 09,2"	W 72° 29' 35,6"	CLL 5N 7E71	Celular	0.197	0.523	0.103
5	N 7° 54' 09,2"	W 72° 29' 35,6"	CLL 5N 7E71	Sin Celular	0.171	0.455	0.078
6	N 7° 54' 09,2"	W 72° 29' 35,5"	CLL 5N 7E71	Celular	0.236	0.626	0.148
6	N 7° 54' 09,2"	W 72° 29' 35,5"	CLL 5N 7E71	Sin Celular	0.492	1.304	0.642
7	N 7° 54' 09,1"	W 72° 29' 35,5"	CLL 5N 7E11	Celular	0.339	0.898	0.304
7	N 7° 54' 09,1"	W 72° 29' 35,5"	CLL 5N 7E11	Sin Celular	0.370	0.982	0.364
8	N 7° 54' 09,1"	W 72° 29' 37,7"	CLL 5N 7E11	Celular	0.386	1.022	0.394
8	N 7° 54' 09,1"	W 72° 29' 37,7"	CLL 5N 7E11	Sin Celular	0.371	0.985	0.366
9	N 7° 54' 09,1"	W 72° 29' 37,6"	CLL 5N 7E11	Celular	0.398	1.055	0.420
9	N 7° 54' 09,1"	W 72° 29' 37,6"	CLL 5N 7E11	Sin Celular	0.381	1.033	0.403
10	N 7° 54' 09,0"	W 72° 29' 37,8"	CLL 4AN 7E-18	Celular	1.423	3.775	5.372
10	N 7° 54' 09,0"	W 72° 29' 37,8"	CLL 4AN 7E18	Sin Celular	0.190	0.505	0.096
11	N 7° 54' 07,2"	W 72° 29' 37,4"	CLL 4AN 7E18	Celular	0.875	2.321	2.031
11	N 7° 54' 07,2"	W 72° 29' 37,4"	CLL 4AN 7E18	Sin Celular	0.334	0.887	0.296
12	N 7° 54' 07,2"	W 72° 29' 37,5"	CLL 4AN 7E18	Celular	0.364	0.965	0.351
12	N 7° 54' 07,2"	W 72° 29' 37,5"	CLL 4AN 7E18	Sin Celular	0.488	1.295	0.632

Fuente. Autor, 2018

2.2.4.6 Medición indoor otros puntos de medición

La medición outdoor para el barrio de Cúcuta 75, barrio Torocorma III, barrio Prados del Este y Conjunto Manzanares en concordancia con lo planteado en el marco referencial del proyecto, se llevó a cabo la toma de mediciones en espacios habitables de descanso (Habitaciones) en horas de la noche. Al poseer características tan exactas, fue lógico que el tipo de muestreo fuese “no aleatorio” pues todos los dueños de vivienda no estaban dispuestos a permitir la entrada al operador del equipo de medición. La medición de campos electromagnéticos se realizó en tres habitaciones por cada vivienda realizando al igual que en Los Pinos, la toma de un único punto en el centro de la habitación en dos etapas, una sin equipos de tecnología inalámbrica y la otra con la presencia de estos equipos.

Tabla 13. Valores promedio máximo puntos indoor barrio de Cúcuta 75, Torocorma III, Prados del Este y Conjunto Manzanares

MEDICION	COORDENADAS		DIRECCION	CONDICION	Intensidad C Electrico (mV/m)	Intensidad C Magn. (mA/m)	Densidad de Potencia (μ W/m ²)
1	N 7° 54' 47,7"	W 72° 28' 19,4"	AV 6C No. 8-06 Prados del Este	Celular	3.032	8.044	24.390
1	N 7° 54' 47,7"	W 72° 28' 19,4"	AV 6C No. 8-06 Prados del Este	Sin Celular	0.297	0.789	0.235
2	N 7° 54' 47,7"	W 72° 28' 19,3"	AV 6C No. 8-06 Prados del Este	Celular	2.026	5.374	14.970
2	N 7° 54' 47,7"	W 72° 28' 19,3"	AV 6C No. 8-06 Prados del Este	Sin Celular	0.604	1.600	0.966
3	N 7° 54' 47,7"	W 72° 28' 19,2"	AV 6C No. 8-06 Prados del Este	Celular	1.576	4.181	6.593
3	N 7° 54' 47,7"	W 72° 28' 19,2"	AV 6C No. 8-06 Prados del Este	Sin Celular	0.110	0.291	0.032
1	N 7° 53' 38,9"	W 72° 28' 23,1"	MZ Z1 LT 4 Torocoroma III	Celular	1.632	4.330	7.704
1	N 7° 53' 38,9"	W 72° 28' 23,1"	MZ Z1 LT 4 Torocoroma III	Sin Celular	0.474	1.255	0.595
2	N 7° 53' 38,9"	W 72° 28' 22,9"	MZ Z1 LT 4 Torocoroma III	Celular	2.396	6.355	15.230
2	N 7° 53' 38,9"	W 72° 28' 22,9"	MZ Z1 LT 4 Torocoroma III	Sin Celular	0.490	1.300	0.637
3	N 7° 53' 38,9"	W 72° 28' 22,7"	MZ Z1 LT 4 Torocoroma III	Celular	11.630	30.870	35.920
3	N 7° 53' 38,9"	W 72° 28' 22,7"	MZ Z1 LT 4 Torocoroma III	Sin Celular	0.127	0.337	0.043
1	N 7° 54' 02,4"	W 72° 31' 19,2"	MZ D12 D1 LT 10 Cucuta 75	Celular	0.188	0.497	0.093
1	N 7° 54' 02,4"	W 72° 31' 19,2"	MZ D12 D1 LT 10 Cucuta 75	Sin Celular	0.007	0.020	0.000
2	N 7° 54' 02,5"	W 72° 31' 19,2"	MZ D12 D1 LT 10 Cucuta 75	Celular	0.159	0.421	0.067
2	N 7° 54' 02,5"	W 72° 31' 19,2"	MZ D12 D1 LT 10 Cucuta 75	Sin Celular	0.144	0.382	0.055
3	N 7° 54' 02,5"	W 72° 31' 19,3"	MZ D12 D1 LT 10 Cucuta 75	Celular	0.567	1.504	0.853
3	N 7° 54' 02,5"	W 72° 31' 19,3"	MZ D12 D1 LT 10 Cucuta 75	Sin Celular	0.077	0.205	0.016
1	N 7° 51' 47,6"	W 72° 28' 40,2"	CRR 12A 4-201 C. Manzanares	Celular	0.470	1.246	0.586
1	N 7° 51' 47,6"	W 72° 28' 40,2"	CRR 12A 4-201 C. Manzanares	Sin Celular	0.400	1.059	0.432
2	N 7° 51' 47,5"	W 72° 28' 40,2"	CRR 12A 4-201 C. Manzanares	Celular	0.556	1.475	0.821
2	N 7° 51' 47,5"	W 72° 28' 40,2"	CRR 12A 4-201 C. Manzanares	Sin Celular	0.310	0.823	0.255
3	N 7° 51' 47,6"	W 72° 28' 40,3"	CRR 12A 4-201 C. Manzanares	Celular	0.989	2.622	2.592
3	N 7° 51' 47,6"	W 72° 28' 40,3"	CRR 12A 4-201 C. Manzanares	Sin Celular	0.345	0.914	0.315

Fuente. Autor, 2018

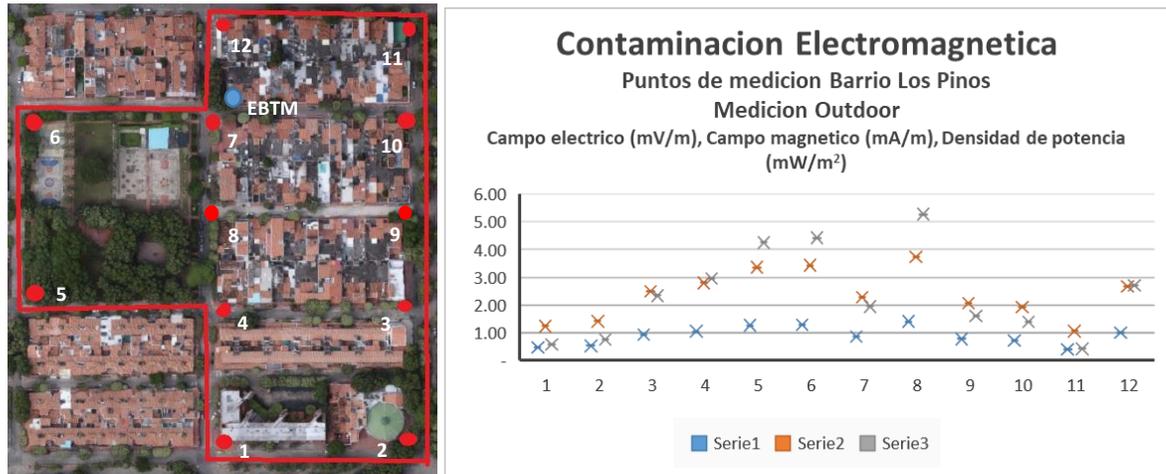
2.3 PROCESAMIENTO

La tercera fase correspondió al procesamiento de la información tomada y en su desarrollo se utilizaron diagramas de cajas y bigotes para comparar las tres variables medidas como son Intensidad de campo eléctrico (V/m), Intensidad de Campo magnético (A/m) y Densidad de potencia (W/m²).

2.3.1 Outdoor Los Pinos

El procesamiento de datos de las mediciones en ambiente outdoor desarrolladas en el Barrio Los Pinos, consiste en trabajar los valores de intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia captados durante un periodo de 6 minutos correspondientes a 3600 datos en cada punto y convertirlo en un único valor promedio máximo por punto.

Figura 42. Contaminación Electromagnética. Valor promedio máximo Barrio Los Pinos. Medición outdoor
 Campo eléctrico (V/m), Campo magnético (mA/m), Densidad de potencia (mW/m²)



Fuente. Autor, 2018

Al observar la fuente radiante o EBTM, se identifica fácilmente el punto de medición más cercano como lo es el número 7, el cual, al analizar la gráfica de magnitudes, no es el más elevado. Lo anterior, es debido a la cercanía a la antena, la proyección de la antena funciona como la luz de un faro, la cual no alumbró 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 a los puntos 6 y 5 ubicados al otro lado del parque a una distancia de 120.1 metros y 169.9 metros respectivamente de la EBTM.

La siguiente inquietud podría ser, ¿se puede afirmar que los valores elevados se deben a radiación electromagnética de frecuencias entre 10 Mhz y 8 GHz?, es sencillo, se observa que la densidad de potencia es baja cuando la fuente radiante es un equipo diferente a equipos con tecnología inalámbrica, si la densidad es elevada la fuente radiante si es un equipo con tecnología inalámbrica, o en este caso una EBTM como se observa en los puntos de valores más elevados, en la cual se identifica que la densidad de potencia es la magnitud de mayor rango.

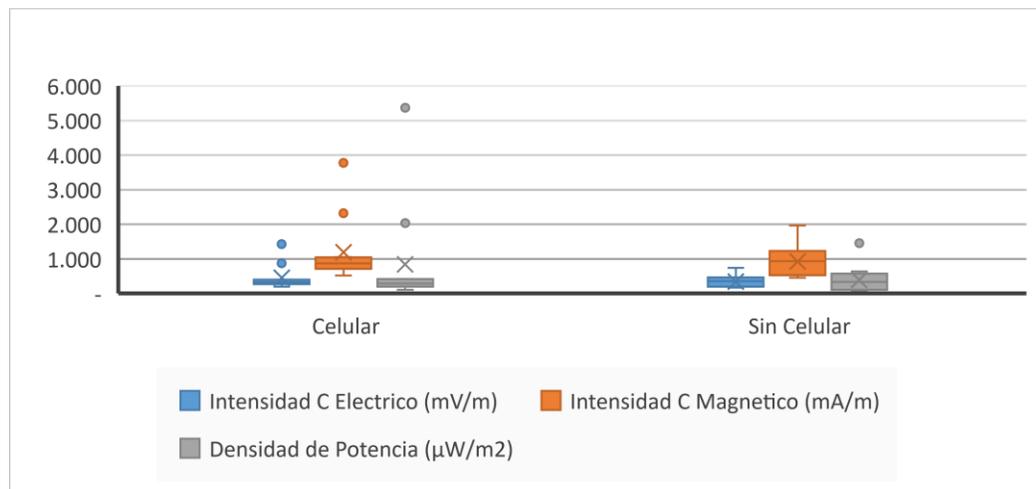
Ahora, otra inquietud de carácter técnico es ¿si el punto 4 dista menos de la EBTM que los puntos 5 y 6, estos últimos porque tienen mayores magnitudes?, la

respuesta es sencilla, los puntos 5 y 6 esta ubicados al otro lado del parque, presentando pocos objetos que causen apantallamiento permitiendo 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.

2.3.2 Indoor Barrio Los Pinos

La medición indoor de los pinos se considera no concluyente, la anterior afirmación se basa en los resultados obtenidos al realizar la comparación entre medición sin equipo de tecnología inalámbrica y medición con tecnología de inalámbrica, para el presente caso el equipo de telefonía celular.

Figura 43. Contaminación Electromagnética. Valor promedio máximo Barrio Los Pinos. Medición Indoor



Fuente. Autor, 2018

Como se puede observar en la figura 43, los valores máximo promedio en presencia del equipo de telefonía celular es disperso y la mediana apenas logra superar al valor de la mediana sin presencia del equipo. Una interpretación sería que por su cercanía de la EBTM a los puntos de medición las ondas de las antenas produzcan un efecto de interferencia si las frecuencias son similares. En este caso particular, se plantea una interferencia de tipo destructivo, la cual se produce cuando dos ondas de la misma frecuencia están completamente desfasadas una respecto a la

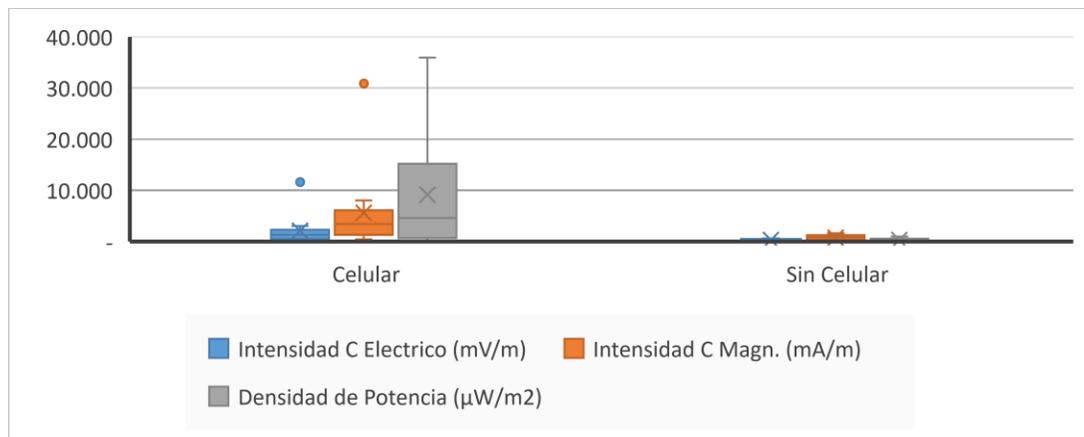
otra; es decir, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de otra. En este caso, las dos ondas se cancelan mutuamente.

2.3.3 Indoor Barrio de Cúcuta 75, Torocorma III, Prados del Este y Conjunto Manzanares

El procedimiento de las mediciones indoor realizadas en el Barrio de Cúcuta 75, el Barrio Torocorma III, el Barrio Prados del Este y el Conjunto Manzanares fue idéntico al realizado en las mediciones indoor del Barrio los Pinos. Las viviendas utilizadas en estas mediciones poseen características similares pese a estar ubicadas en sectores equidistantes, condiciones topográficas diferentes y estratos socioeconómicos variados. Las características similares son las mencionadas anteriormente en el presente documento, como son poseer tres habitaciones con dimensiones que no superan los 3 metros cuadrados libres en ninguno de sus sentidos (ver figura 37), piso en material derivado de la arcilla, muros en mampostería revestidos y acabados en pintura en vinilo y cubierta en tejado o placa en concreto maciza.

En la figura 44 se observan los valores máximo promedio de las mediciones tomadas en barrios seleccionados, los cuales permiten identificar el aumento de la contaminación por ondas electromagnéticas al incluir el equipo celular.

Figura 44. Contaminación Electromagnética. Valor promedio máximo Barrios Cúcuta 75, Torocorma III, Prados del Este y Conjunto Manzanares. Medición Indoor



Fuente. Autor, 2018

Como se puede observar las gráficas correspondientes a las figuras 43 y 44 poseen comportamientos opuestos, debido a que según la inclusión o no del equipo de telefonía celular aumentan o disminuyen las magnitudes estudiadas. En el caso de las mediciones indoor de Barrio de Cúcuta 75, el Barrio Torocorma III, el Barrio Prados del Este y el Conjunto Manzanares y su subsecuente grafica se puede afirmar que presentan el comportamiento común de la medición de las ondas electromagnéticas, lo cual puede estar directamente asociado a que los puntos de medición en este caso están a más de cien metros de las EBTM.

2.4 MODELO DE SIMULACIÓN

2.4.1 Descripción

En la cuarta fase del proyecto se plantea un modelo de simulación con el fin de interpretar la naturaleza de los resultados obtenidos en las etapas anteriores, así que se diseña un modelo de simulación en el cual, en cajas de 0.30 x 0.60 centímetros de base y 0.30 centímetros de altura libres en 5 materiales diferentes, se trata de analizar los resultados. Las dimensiones que presentan las cajas son tomadas de la encuesta realizada, la cual es clara en demostrar que la mayoría de las personas descansan con el equipo de telefonía celular a 30.5 centímetros o menos de la cabeza (ver figura 38); la medida más larga en la base es para permitir la permanencia del Equipo medidor de intensidad de RF CEM en las cajas. Se deja la cara superior descubierta con el fin de no afectar la señal del teléfono móvil y este aumente su potencia en busca de mejor señal.

Figura 45. Fotografía cajas de modelo de simulación en 5 materiales



Fuente. Autor, 2018

2.4.2 Objetivo

El objetivo de establecer cinco cajas con materiales diferentes utilizados en la construcción de vivienda y por ende de espacios de descanso, es conocer la incidencia por la aproximación de los equipos de tecnologías inalámbricas a la cabeza de las personas; la incidencia por el tamaño del espacio; y la incidencia por los materiales de construcción del espacio.

2.4.3 Metodología

La metodología diseñada en una primera etapa, establece mediciones en condiciones que la fuente no se encuentre confinada por un material que afecte las ondas electromagnéticas, ni sea causante de fenómenos como reflexión, difracción y dispersión, con el fin de establecer el comportamiento de la onda en un espacio sin restricción. El equipo de medición se ubica a una distancia menor a 30 centímetros, superior a 30 centímetros y superior a 1.50 metros; medidas que son resultado de la encuesta adelantada en etapa anterior. Esta medición tiene como nivel de trabajo, el nivel de piso.

En la segunda etapa, comprende la toma de mediciones utilizando las cajas propuestas, las cuales representan los diferentes materiales de construcción encontrados durante la etapa de medición indoor como son la caja de metal, que representa la carpintería metálica en el espacio habitable; la caja de arcilla, que representa la mampostería en el espacio habitable; la caja de icopor, que representan la construcción liviana en el espacio habitable; la caja de melamina, que representa los muebles y acabados arquitectónicos en melamina en el espacio habitable; y caja de aluminio representa carpintería en aluminio.

2.4.4 Mediciones

La toma de mediciones se realiza sin restricción y posteriormente en cada una de las cajas mediante el uso de dos equipos. En el caso del equipo de telefonía celular se selecciona el SAMSUNG J5 PRIME (ver figura 31), el cual posee valores de SAR promedios tanto en la empresa productora como en el mercado (0.713 W/kg para EUA); El equipo banda ancha usado o enrutador wifi es un Askey modelo RTV9015VW (ver figura 30), de uso común actualmente en el mercado local por las empresas prestadoras del servicio. Al igual que las mediciones de campo estas se

realizarán en ambiente indoor en uno de los puntos que presento menos interferencia en horas de la noche como lo fue la vivienda ubicada en el conjunto Manzanares.

El tiempo determinado para la toma de medidas es 6 minutos que corresponde al trabajado durante las etapas anteriores de medición y según lo establecido por la recomendación IUT-T K.61 y la legislación colombiana.

El equipo de medición continúa siendo el medidor de intensidad de RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846 (ver figura 39), utilizado en mediciones de ambiente outdoor e indoor.

Tabla 14. Mediciones modelos de simulación sin restricción y en caja metálica

Registro Fotográfico		Descripción
		<p>Material: Ninguna</p> <p>Equipos de prueba: Samsung J5 Prime, Askey modelo RTV9015VW.</p> <p>Equipo de medición: RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846</p> <p>Tiempo medición: 6 minutos</p> <p>Distancia: <30 cms, >30 cms y >1.50 metros</p>
		<p>Material: Caja metálica en lámina calibre 18 sin revestimiento.</p> <p>Equipos de prueba: Samsung J5 Prime, Askey modelo RTV9015VW.</p> <p>Equipo de medición: RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846</p> <p>Tiempo medición: 6 minutos</p> <p>Distancia: <30 cms</p>

Fuente. Autor, 2018

Tabla 15. Mediciones modelos de simulación caja de arcilla y en caja de icopor

Registro Fotográfico		Descripción
		<p>Material: Caja de arcilla semicocción y espesor 2 cms.</p> <p>Equipos de prueba: Samsung J5 Prime, Askey modelo RTV9015VW.</p> <p>Equipo de medición: RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846</p> <p>Tiempo medición: 6 minutos</p> <p>Distancia: <30 cms</p>
		<p>Material: Caja de icopor de espesor 3 cms.</p> <p>Equipos de prueba: Samsung J5 Prime, Askey modelo RTV9015VW.</p> <p>Equipo de medición: RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846</p> <p>Tiempo medición: 6 minutos</p> <p>Distancia: <30 cms</p>
		<p>Material: Caja de melamina de espesor 1.5 cms.</p> <p>Equipos de prueba: Samsung J5 Prime, Askey modelo RTV9015VW.</p> <p>Equipo de medición: RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846</p> <p>Tiempo medición: 6 minutos</p> <p>Distancia: <30 cms</p>

Fuente. Autor, 2018

Tabla 16. Mediciones modelos de simulación caja de aluminio

Registro Fotográfico		Descripción
		<p>Material: Caja de aluminio en tubo 3 cms x 1 ½ cms arquitectónico.</p> <p>Equipos de prueba: Samsung J5 Prime, Askey modelo RTV9015VW.</p> <p>Equipo de medición: RF CEM EXTECH INSTRUMENTS Modelo 480846</p> <p>Tiempo medición: 6 minutos</p> <p>Distancia: <30 cms</p>

Fuente. Autor, 2018

Tabla 17. Valores promedio máximo modelo de simulación

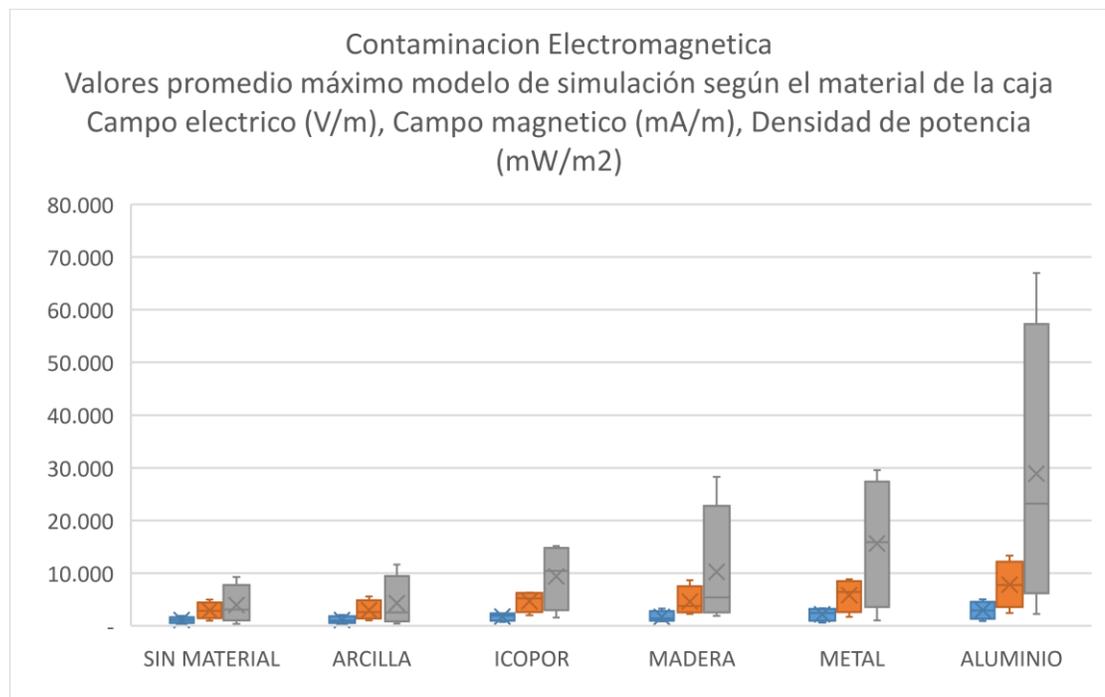
MATERIAL	Intensidad C Electrico (mV/m)	Intensidad C Magnetico (mA/m)	Densidad de Potencia (µW/m2)
SIN MATERIAL	1.873	4.968	9.307
SIN MATERIAL	0.367	0.973	0.357
SIN MATERIAL	1.080	2.865	3.095
SIN MATERIAL	1.080	2.865	3.095
ARCILLA	1.049	2.783	2.919
ARCILLA	0.914	2.424	2.216
ARCILLA	2.097	5.562	11.660
ARCILLA	0.405	1.074	0.435
ICOPOR	2.270	6.022	13.710
ICOPOR	0.771	2.044	1.576
ICOPOR	2.389	6.338	15.140
ICOPOR	1.646	4.367	7.190
MADERA	1.517	4.025	6.108
MADERA	1.323	3.511	4.648
MADERA	3.267	8.666	28.310
MADERA	0.845	2.241	1.894
METAL	2.048	5.432	11.140
METAL	3.340	8.859	29.590
METAL	0.636	1.685	1.071
METAL	2.790	7.401	20.650
ALUMINIO	3.269	8.671	28.340
ALUMINIO	0.922	2.444	2.253
ALUMINIO	2.606	6.914	18.020
ALUMINIO	5.024	13.320	66.950

Fuente. Autor, 2018

2.4.5 Procesamiento

El procesamiento de los valores máximo promedio tomados en cada uno de los ambientes diseñados se utiliza en la elaboración de diagramas de cajas y bigotes para comparar las tres magnitudes medidas como son Intensidad de campo eléctrico (V/m), Intensidad de Campo magnético (A/m) y Densidad de potencia (W/m^2); La determinación de trabajar con dicho tipo de grafica estadística se basa en conveniente de mostrar visualmente grupos de datos numéricos a través de sus cuartiles permitiendo mostrar los cuartiles superior e inferior, así como los valores atípicos. Por lo enunciado anteriormente el diagrama de cajas y bigotes es una excelente forma de examinar los conjuntos de datos gráficamente.

Figura 46. Contaminación Electromagnética. Valores promedio máximo modelo de simulación según el material de la caja



Fuente. Autor, 2018

En la figura 46 se observa el comportamiento de las ondas electromagnéticas de tecnologías inalámbricas según el material de cada caja, que representa un material

de la construcción, bien sea simulando el comportamiento con respecto a un muro, a la carpintería o el mobiliario arquitectónico presente en el espacio habitable para descanso o dormitorio.

El procesamiento de la gráfica enseña una tendencia al crecimiento por parte de las tres magnitudes estudiadas, siendo la densidad de potencia la que mayor aumento muestra en su barra o caja, es decir, los valores tienden a estar más distantes unos de otros, pero al observar los valores de mediana, se revela que los valores del ambiente "sin caja", o como se denomina en el gráfico "sin material" y la caja de arcilla son prácticamente iguales; Similar situación acontece con los ambientes simulados por las cajas de icopor y melamina, que presentan en su densidad de potencia cajas de diferente tamaño, pero valores de mediana muy cercanos. Por último, están los ambientes simulados por las cajas de metal y aluminio que muestran una tendencia al aumento de densidad de potencia muy elevado con respecto a sus ambientes en otro material y los valores de mediana de los dos ambientes distan uno del otro en magnitudes significativas.

CAPITULO 3. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

El análisis del estudio demuestra que la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas está influenciada, en gran medida, por la distancia a la fuente y las características de espacio habitable de descanso como dimensiones del espacio, vanos como ventanas, puertas y materiales de construcción. En el caso de la contaminación electromagnética en ambiente outdoor, es claro que las mediciones realizadas son de inmisión, pues no hay control sobre la cantidad de ondas presentes; al realizar mediciones indoor pueden entregar una falsa sensación de seguridad, pues se considera que hay control sobre la contaminación electrónica presente, debido que los revestimientos o materiales de construcción del espacio no son idóneos, no crean un efecto de apantallamiento y por ende, permite el paso de ondas provenientes del exterior como EBTM, enrutadores wifi de viviendas vecinas o hot spot (“punto caliente” puntos wifi de acceso público).

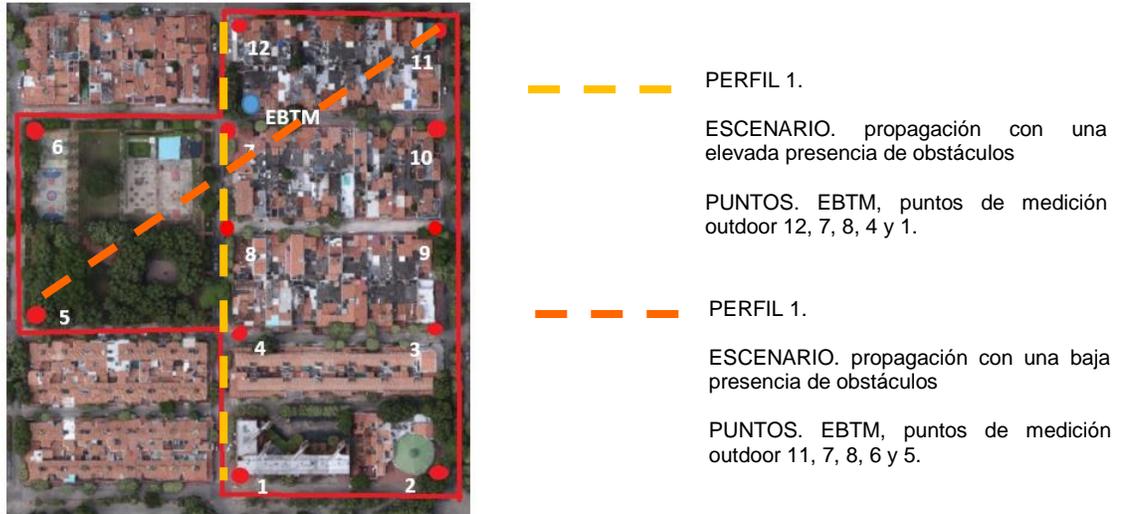
La contaminación electromagnética está influenciada por una cantidad significativa de variables y cada caso se debe estudiar por separado con el fin de entregar un análisis lo más preciso posible para cada escenario planteado en el proyecto.

3.1 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA OUTDOOR LOS PINOS

Los ambientes outdoor e indoor del barrio Los Pinos se pueden tipificar como el comportamiento de la contaminación electromagnética en los sectores circundantes a las EBTM en un radio de 120 metros.

En el ambiente outdoor se pueden presentar dos escenarios muy frecuentes (ver perfil 1 y 2 de la figura 47); el primero corresponde a una propagación con una fuerte presencia de obstáculos que generan apantallamiento y por ende disminución en la contaminación electromagnética. Este escenario se presenta cuando los obstáculos son edificaciones, principalmente en mampostería las cuales van dificultando el libre paso de las ondas (ver figura 48). 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 y 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.

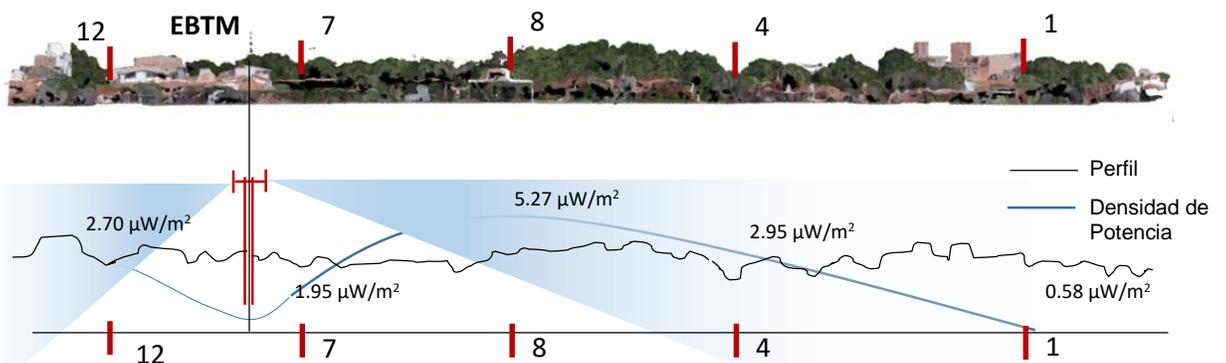
Figura 47. Perfiles análisis contaminación electromagnética outdoor



Fuente. Autor, 2018

En el perfil 1 correspondiente a la figura 48 tomando la EBTM y los puntos de medición 12, 7, 8, 4 y 1 del barrio Los Pinos (ver figura 47), muestra como en presencia de viviendas y edificaciones, para el presente caso, 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 representada por la curva azul, debido al efecto de apantallamiento producto de las casas y edificaciones ubicadas en el trayecto.

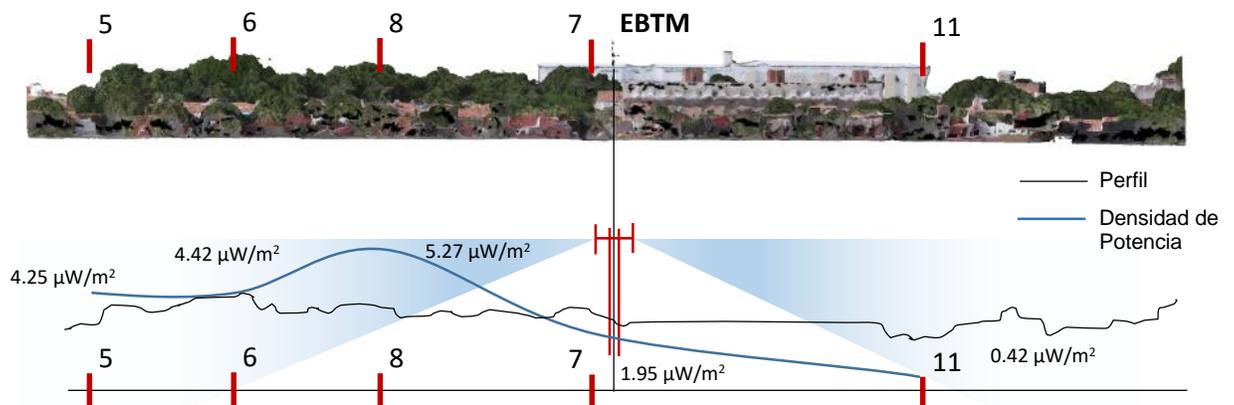
Figura 48. Perfil 1 Densidad de potencia con apantallamiento de casa y edificaciones



Fuente. Autor, 2018

En el perfil 2 correspondiente a la figura 49, tomando para este caso el punto de la EBTM y los puntos de medición 11, 7, 8, 6 y 5 del barrio Los Pinos (ver figura 47), 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 5 y el punto 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 8, ubicados entre viviendas y edificaciones exhiben los valores de densidad de potencia más baja y por ende se puede afirmar que posee una menor contaminación ambiental por ondas electromagnéticas.

Figura 49. Perfil 2 densidad de potencia sin apantallamiento de casas y edificaciones



Fuente. Autor, 2018

Por último, y una vez analizados los anteriores planteamientos, se puede decir que es correcto 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.

Al analizar los resultados, es claro que los valores obtenidos en las pruebas son inferiores a los estipulados en el Decreto 195 de 2005, por lo tanto, el análisis comparativo no se propone efectuarse con dicha reglamentación, sino con otras mediciones adelantadas en otros estudios en la cual utilicen la densidad de potencia como magnitud a medir.

El estudio seleccionado para la comparación, corresponde al elaborado por Andrade y Contreras en el año 2014 correspondiente a “MEDICION Y ANALISIS DEL NIVEL DE EXPOSICION A RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI) EN AMBIENTES INDOOR EN LA CIUDAD DE CUENCA, DENTRO DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO EN LA BANDA DE FRECUENCIA DE TELEFONIA CELULAR” y cuya Ciudad objeto de estudio fue la Ciudad de Cuenca en el hermano país del Ecuador. La ubicación georreferenciada de la EBTM es latitud 2°54’7.39”S y longitud 79°1’22.63”O, según se denomina en el documento como esquina Universidad Nacional y Avenida Guayas.

Las frecuencias estudiadas fueron las comprendidas entre 26 MHz y 3 GHz, en comparación es más reducido el rango, debido a que las frecuencias del presente estudio son más amplias cubriendo desde los 10MHz hasta los 8 GHz. Para el análisis comparativo se toman 12 datos con el fin que sean el mismo número de los datos tomados en ambiente outdoor del barrio Los Pinos y poder establecer una relación.

Tabla 18. Valores promedio máximo mediciones ciudad de Cuenca (Sector U. Nacional – Av. Guayas) y Ciudad de Cúcuta (Barrio Los Pinos)

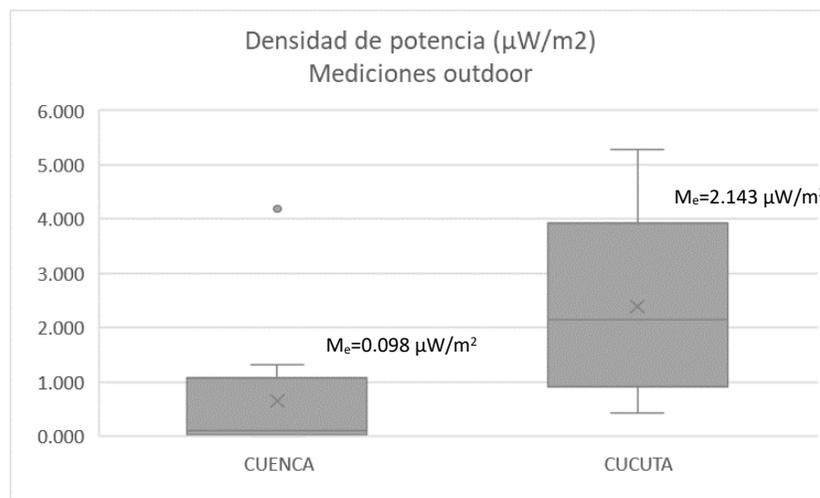
MEDICION	Andrade y Contreras, 2014	Barrera Monsalve, 2018
	Densidad de Potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Densidad de Potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
1	0.008	0.579
2	0.011	0.759
3	1.260	2.336
4	4.190	2.956
5	0.044	4.255
6	0.524	4.423
7	0.030	1.949
8	1.310	5.275
9	0.021	1.614
10	0.054	1.395
11	0.156	0.425
12	0.143	2.700

Autor, 2018

Según se observa la tabla 18, los valores de densidad de potencia tomados en Cuenca son mucho más bajos que los valores tomados en el área de estudio

outdoor de la Ciudad de Cúcuta. Esto puede ocurrir debido a la diferencia de potencia de las antenas ubicadas en cada una de las EBTM de las ciudades por poseer una densidad poblacional diferente los sectores y por ende una demanda de potencia diferente. Otro factor que influencia la diferencia de valores es el equipo de medición, pues el de Cuenca es un NARDA SRM-3006, muy diferente al utilizado en el presente estudio. Por ultimo están las demás características en que difieren como condiciones topográficas del sector, tipología de las edificaciones, periodo del año en que se realizaron las mediciones, entre otras.

Figura 50. Grafica densidad de potencia mediciones ciudad de Cuenca (Sector U. Nacional – Av. Guayas) y Ciudad de Cúcuta (Barrio Los Pinos)



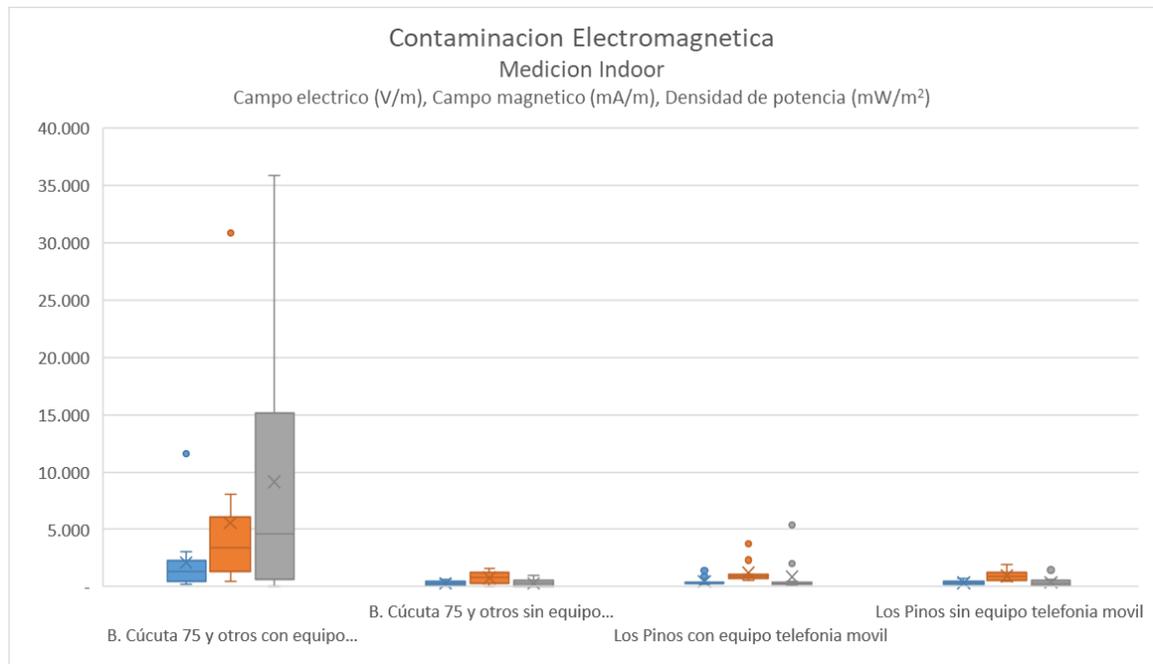
Autor, 2018

Al llevar lo datos de la tabla valores promedio máximo mediciones (tabla 18) a su representación gráfica mediante el uso de cajas y bigotes (ver grafica 50) correspondientes a densidad de potencia mediciones ciudad de Cuenca (Sector U. Nacional – Av. Guayas) y Ciudad de Cúcuta (Barrio Los Pinos) se observa que los datos de Cuenca son más cercanos a su mediana, es decir son datos que se ubican en un rango mas pequeño, mientras que los valores de la Ciudad de Cúcuta están dispersos en un rango más amplio. Por ultimo en base a la gráfica y los valores de mediana mostrados, obviando las diferencias en características mencionadas anteriormente, se puede afirmar que el sector de Los Pinos en la Ciudad de Cúcuta ($M_e=2.143 \mu\text{W}/\text{m}^2$) posee una mayor contaminación ambiental de tipo electromagnético que el sector de la Universidad Nacional – Avenida Guayas en la Ciudad de Cuenca ($M_e=0.098 \mu\text{W}/\text{m}^2$).

3.2 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA INDOOR

La contaminación electromagnética presente en un ambiente indoor que no posea propiedades de apantallamiento de las ondas electromagnéticas provenientes del ambiente outdoor (para el presente estudio EBTM) o exterior tendrá una alta incidencia de fuentes ajenas al espacio. La anterior afirmación se basa en lo ocurrido en los dos ambientes indoor estudiados como son primero habitaciones en viviendas del barrio Los Pinos y el segundo ambiente las habitaciones en viviendas del barrio Torocorma III, barrio Prados del Este y Conjunto Manzanares, al incluir en el modelo de medición un equipo de telefonía móvil.

Figura 51. Grafica densidad de potencia mediciones Barrio Los Pinos y densidad de potencia mediciones Barrio Cúcuta 75, Torocorma III, barrio Prados del Este y Conjunto Manzanares



Fuente. Autor, 2018

Las magnitudes medidas en los puntos seleccionados, gráficamente como se muestra en la figura 51 tienen comportamientos muy diferentes. Mientras en los puntos de medición correspondientes a mediciones sin equipo celular los ambientes indoor mantienen magnitudes de Intensidad campo eléctrico, intensidad de campo

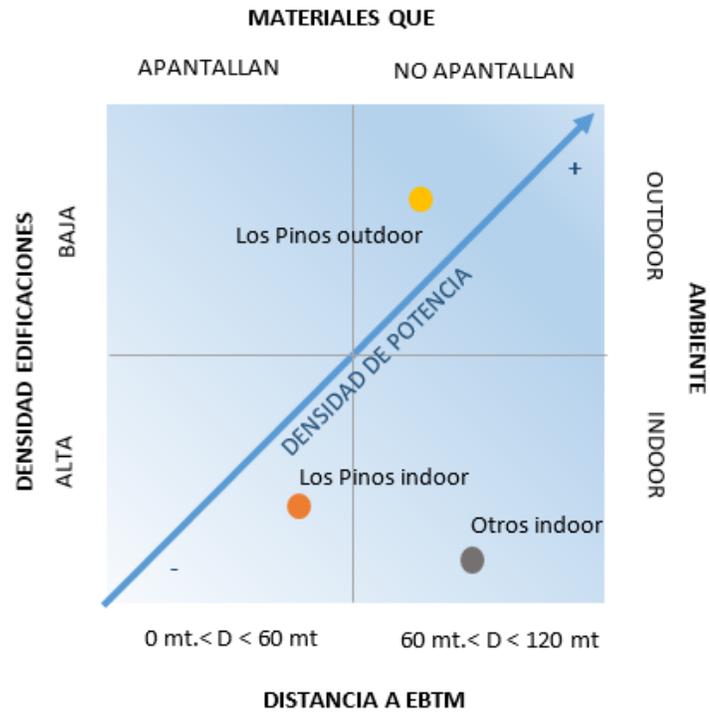
magnético y densidad de potencia con valores relativamente cercanos (ver grafica 51, conjunto de cajas y bigotes 3 y 4) incluidas sus medianas siendo la densidad de potencia para el barrio Los Pinos $M_e=0.330 \mu\text{W}/\text{m}^2$ y para Barrio Cúcuta 75, Torocorma III, barrio Prados del Este y Conjunto Manzanares una $M_e=0.245 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Es decir, Los Pinos es superior un 34.82% más que en los otros puntos ubicados en los diferentes barrios.

El análisis se torna más interesante al incluir el equipo de telefonía móvil a menos de 30 centímetros de cada uno de los puntos de medición, La mediana de la densidad de potencia de Los Pinos posee un valor de $0.284 \mu\text{W}/\text{m}^2$, es más baja, es decir, es menor que cuando se tenía el espacio sin ningún equipo. El fenómeno ocurrido se considera como de interferencia, ya que al existir ondas con frecuencia similares tienden a dar valores pocos reales de la contaminación electromagnética presente, debido a la cercanía con la EBTM. Para profundizar más el tema se debe realizar un estudio con el equipo idóneo que trabaje identificando cada frecuencia por separado. Por el contrario, la mediana de densidad de potencia de los Barrios Cúcuta 75, Torocorma III, barrio Prados del Este y Conjunto Manzanares en presencia del equipo móvil fue de $4.593 \mu\text{W}/\text{m}^2$, es decir presenta un incremento de 18.76 veces con respecto a la mediana de densidad de potencia sin equipo de telefonía móvil presente a menos de 30 centímetros.

En base a lo anterior y con el fin de explicar lo acontecido se diseña la “Propuesta Grafica Modelo Contaminación electromagnética mediante el uso de Densidad de potencia en zonas densamente pobladas sin equipos de tecnologías inalámbricas” (ver figura 52), el cual posee como cuatro principales factores de análisis la distancia a EBTM (“0 metros < Distancia < 60 metros” o “60 metros < Distancia < 120 metros”), tipo de ambiente (outdoor o indoor), Densidad de edificaciones circundantes (alta o baja) y materiales de construcción de los espacios (generan apantallamiento o no generan apantallamiento), y en base a las cuales se ubica el punto teniendo como magnitud base la densidad de potencia, la cual cree en el sentido en que los factores permiten una mayor propagación de ondas y por lo tanto, una mayor contaminación electromagnética.

El modelo presentado en la figura 52, se basa en el uso de la metodología cualitativa, pues los factores de análisis son diferentes entre sí y salvo la distancia a la EBTM, los demás factores no poseen una escala numérica asignada.

Figura 52. a. Propuesta Grafica Modelo Contaminación electromagnética mediante el uso de Densidad de potencia en zonas densamente pobladas sin equipos de tecnologías inalámbricas



Fuente. Autor, 2018

La contaminación electromagnética indoor por fuentes de inmisión se asumió como la proveniente de las antenas ubicadas en las EBTM; el estudio adelantado en Cuenca, Ecuador (Andrade y Contreras, 2014) trabajo bajo un concepto similar, por lo cual, es factible realizar la comparación entre la contaminación electromagnética de la vivienda de georreferenciación Latitud 2°53'24.87"S y longitud 78°59'26.52"O y de dirección Avenida Gil Ramírez Dávalos 5-32 en la ciudad de Cuenca, con los obtenidos en el barrio Los Pinos en la ciudad de Cúcuta.

Por lo anterior, los valores a utilizar en la comparación de medianas de densidad de potencia corresponderán a los realizados en ambiente indoor y sin presencia de equipo de telefonía celular.

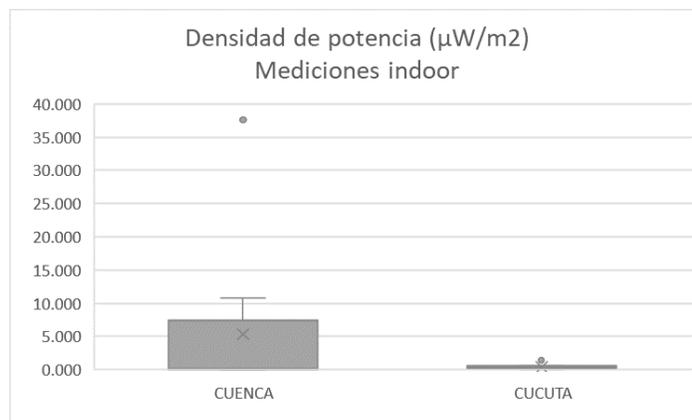
Tabla 19. Valores promedio máximo mediciones ciudad de Cuenca (Remigio Romero 3-55) y Ciudad de Cúcuta (Barrio Los Pinos)

MEDICION	Andrade y Contreras, 2014	Barrera Monsalve, 2018
	Densidad de Potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Densidad de Potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
1	0.064	0.133
2	0.0086	0.134
3	0.440	0.085
4	0.118	1.456
5	37.600	0.078
6	10.800	0.642
7	6.750	0.364
8	7.720	0.366
9	0.011	0.403
10	0.008	0.096
11	0.010	0.296
12	0.009	0.632

Fuente. Autor, 2018

La tabla 19 que permite analizar los valores promedio máximo de la Ciudad de Cuenca muestra que el 66% de los datos no llegan a $1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$, es decir, en promedio son inferiores a los presentados en el barrio Los Pinos, pero posee cuatro puntos con una radiación extremadamente elevada, lo cual causa al final que el valor de mediana de la densidad de potencia sea muy superior a la de Cúcuta.

Figura 53. Grafica densidad de potencia mediciones ciudad de Cuenca (Remigio Romero 3-55) y Ciudad de Cúcuta (Barrio Los Pinos)



Fuente. Autor, 2018

3.3 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA MODELO DE SIMULACION

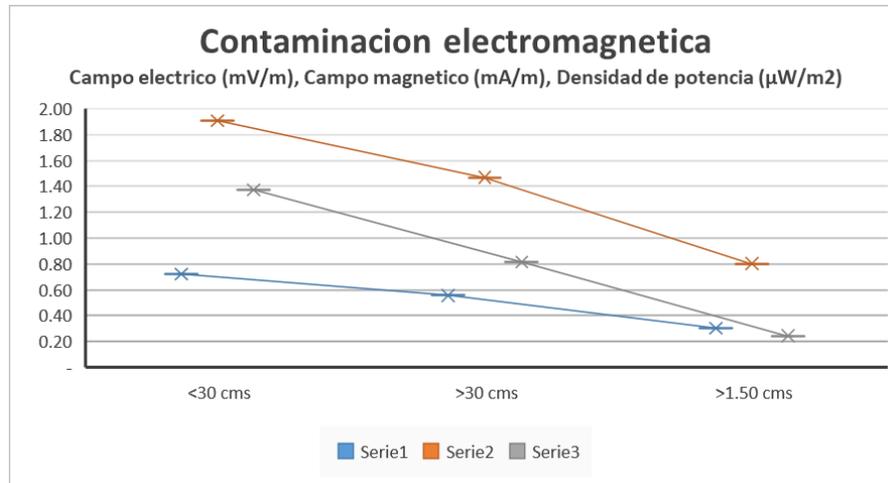
La contaminación electromagnética por tecnologías inalámbricas traslada como primer interrogante a las personas del común, es si el equipo de telefonía móvil es un riesgo para la salud humana. La respuesta que se busca en el presente proyecto no es de tipo epidemiológica, la respuesta a dar es en cual escenario la persona recibe mayor contaminación, anteriormente se analizaron los escenarios outdoor e indoor, con presencia y sin presencia de equipos de telefonía móvil, dando una idea de cuanta radiación recibe cada usuario de equipo según donde lo ubica al momento de descansar o para el caso dormir.

La encuesta realizada en el marco del proyecto dio como dato que el 73.97% de las personas ubican el equipo de telefonía celular en la mesa de noche junto a su cama, ahora si se asuma que la persona normalmente duerme en una cama de un metro de ancho, tomando como eje la mitad del ancho y se descuenta los 19.5 centímetros de longitud de la cabeza humana de la frente a la parte posterior, el valor final es 30.5 centímetros, sin tener en cuenta a las personas que dejan el celular bajo la almohada, lo que implica una mayor radiación y por ende una mayor contaminación por ondas electromagnéticas.

La primera parte del modelo de simulación consiste en tomar la contaminación electromagnética a las siguientes distancias: menor a 30 centímetros (personas que descansan con el equipo de telefonía móvil bajo la almohada y en la mesa de noche), mayor a 30 centímetros (personas que duermen con el equipo de telefonía móvil bajo la cama), mayor a 1.50 centímetros (personas que ubican el equipo de telefonía móvil en el closet o fuera de la habitación) del enrutador wifi y telefonía móvil al equipo de medición en un ambiente totalmente libre que permite a la onda trasladarse sin ninguna restricción.

El comportamiento de la contaminación ambiental en un ambiente sin restricción material, diferente al propuesto en los demás ambientes del modelo de simulación (melamina, icopor, arcilla, metal y aluminio) y prueba, que solo es necesario alejar el equipo de telefonía móvil unos centímetros del cuerpo para reducir la exposición a campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia de manera sustancial. En la figura 54 se puede observar como la intensidad de campo eléctrico e intensidad de campo magnético disminuyen en un 58% y la densidad de potencia se reducen en un 82.37%, al alejar el equipo de telefonía móvil del cuerpo a más 1.5 metros.

Figura 54. Contaminación electromagnética en ambiente sin material de restricción



Fuente. Autor, 2018

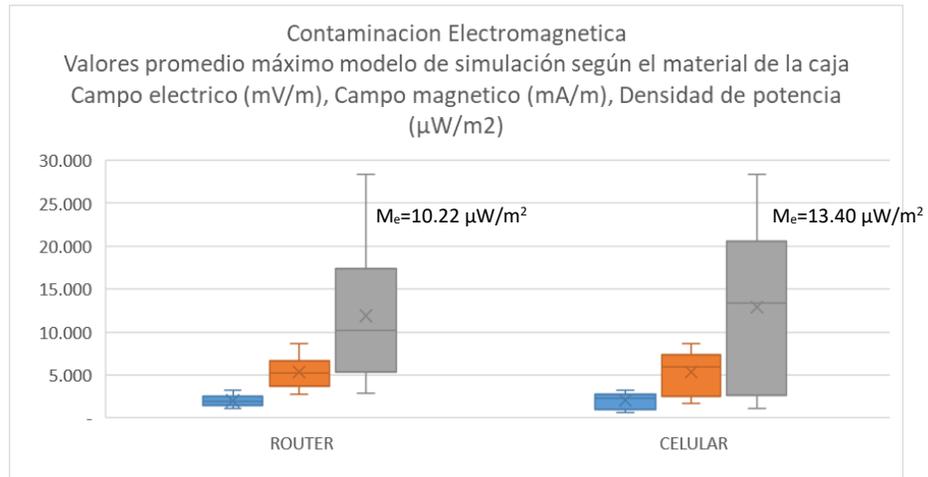
Otra interrogante planteada es si la contaminación electromagnética del equipo de telefonía móvil a menos de 30 centímetros del cuerpo humano puede llegar a compararse con la contaminación del enrutador wifi que tiene la capacidad de proveer de datos a una vivienda completa.

Tabla 20. Valores promedio máximo modelo de simulación según los seis ambientes planteados

MATERIAL	EQUIPO	Intensidad C Electrico (mV/m)	Intensidad C Magnetico (mA/m)	Densidad de Potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)
SIN MATERIAL	ROUTER	1.873	4.968	9.307
SIN MATERIAL	CELULAR	1.080	2.865	3.095
ARCILLA	ROUTER	1.049	2.783	2.919
ARCILLA	CELULAR	2.097	5.562	11.660
ICOPOR	ROUTER	2.270	6.022	13.710
ICOPOR	CELULAR	2.389	6.338	15.140
MADERA	ROUTER	1.517	4.025	6.108
MADERA	CELULAR	3.267	8.666	28.310
METAL	ROUTER	2.048	5.432	11.140
METAL	CELULAR	0.636	1.685	1.071
ALUMINIO	ROUTER	3.269	8.671	28.340
ALUMINIO	CELULAR	2.606	6.914	18.020

Fuente. Autor, 2018

Figura 55. Valores promedio máximo modelo de simulación según los seis ambientes planteados



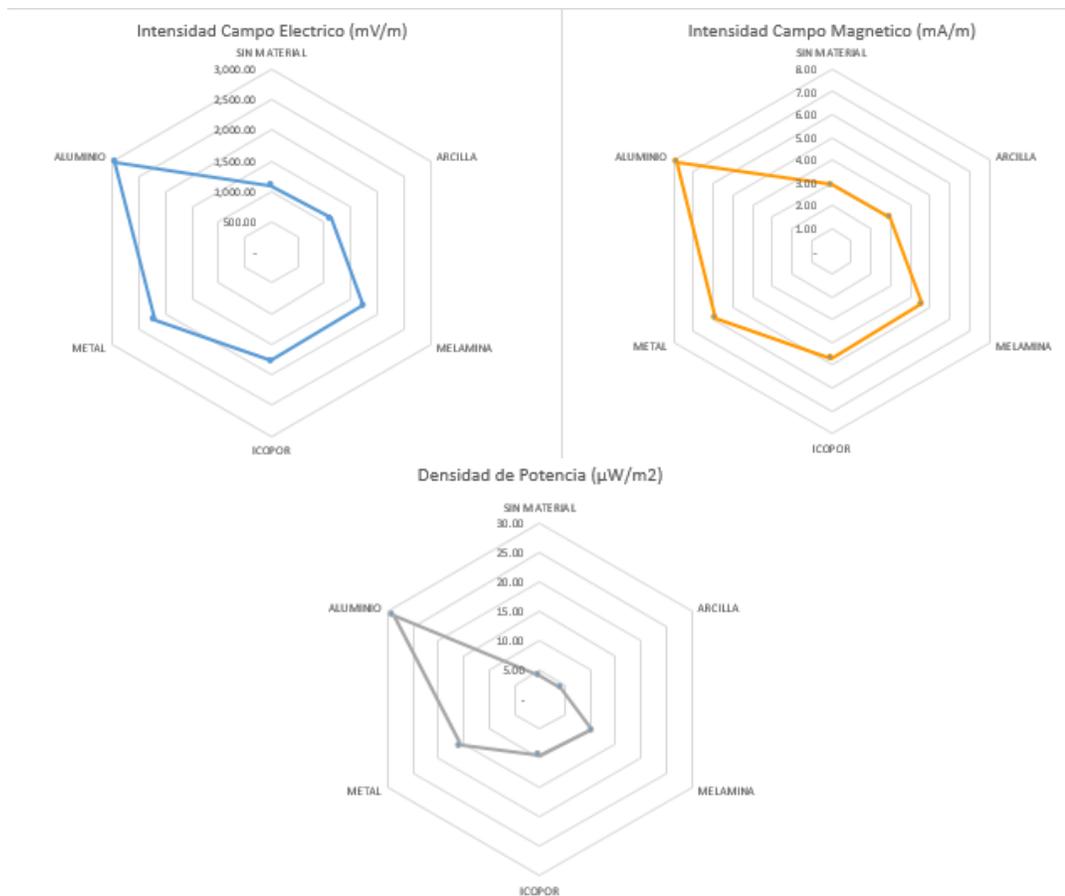
Fuente. Autor, 2018

La figura 55 responde a la inquietud mencionada en el párrafo anterior, los dos equipos ubicados en los ambientes diseñados en el modelo de simulación dan valores muy similares, pero siendo mayor el equipo de telefonía móvil con una mediana de densidad de potencia de $13.40 \mu\text{W}/\text{m}^2$ sobre el enrutador wifi que presenta una mediana $10.22 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Es decir, en un ambiente de tan solo 30 centímetros el equipo de telefonía móvil genera mayor contaminación electromagnética que el enrutador wifi; como es el que normalmente descansan las personas que ubican el equipo móvil bajo la almohada y en la mesa de noche.

Ahora, de los ambientes propuestos se debe establecer cuales generan un efecto de apantallamiento a las ondas con el fin de disminuir la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas. Como se observa en la gráfica 46 al confinar el espacio aumentaron los valores de Campo eléctrico (V/m), Campo magnético (mA/m), y Densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$), siendo este último, el más elevado con la propuesta de modelo de simulación. Todos los materiales trabajaron de manera diferente siendo la normal la que refleja el comportamiento de la contaminación ambiental correspondiente a "sin material". La caja de metal (representa carpintería metálica en el espacio habitable) trabaja como una Jaula de Faraday protegiendo de la fuente emisora; la caja de arcilla (representa mampostería en el espacio habitable) se muestra como el material que mayor bloqueo realiza a la contaminación electromagnética y; por último, las cajas en icopor (representan la

construcción liviana en el espacio habitable) y la melamina (representa los muebles y acabados arquitectónicos en melamina en el espacio habitable) demuestran un mayor porcentaje de afectación por la contaminación electromagnética. Finalmente, la caja de aluminio (representa carpintería en aluminio en el espacio habitable) trabajó como una antena o un equipo amplificador de las ondas y por ende de la contaminación electromagnética.

Figura 56. Grafica radial valores promedio máximo modelo de simulación Campo eléctrico (mV/m), Campo magnético (mA/m), y Densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)



Fuente. Autor, 2018

La grafica radial (ver grafica 56) a diferencia del diagrama de cajas y bigotes, muestra el comportamiento casi idéntico pese a poseer dimensiones diferentes de la intensidad de campo eléctrico (mV/m) y la intensidad de campo magnético

(mA/m), la gráfica de densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) si difiere en cuanto a forma de las mencionadas anteriormente, variando los ambientes sin material de restricción y arcilla. Es evidente observar que los materiales a base de arcilla poseen capacidad de apantallamiento de las ondas electromagnéticas al tener valores similares al ambiente sin material o sin caja con una densidad de potencia promedio de $4.31 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Las cajas o ambientes conformado por icopor y melamina son la siguientes en ofrecer capacidad de apantallamiento con valores muy cercanos, siendo $9.40 \mu\text{W}/\text{m}^2$ y $10.24 \mu\text{W}/\text{m}^2$ respectivamente; el metal presenta una densidad un poco más elevada con un valor de densidad de potencia promedio de $15.61 \mu\text{W}/\text{m}^2$, recreando una jaula de Faraday. Por ultimo está el ambiente o caja de aluminio en el cual las tres magnitudes aumentan de forma representativa actuando como un elemento maximizador de las ondas, es decir, este material es el que menos propiedades de apantallamiento posee en comparación con los demás ambientes.

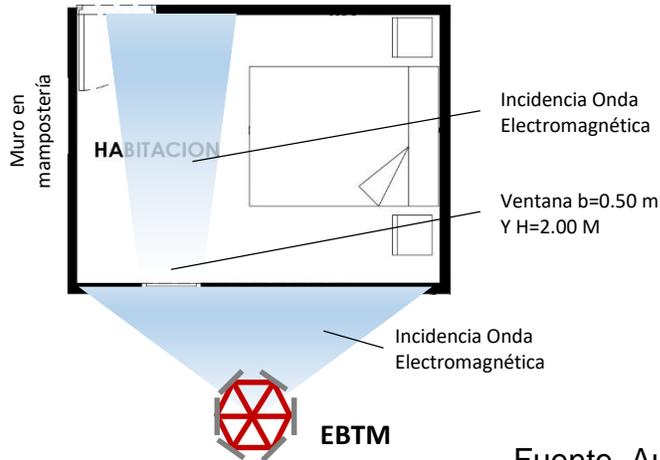
Es importante tener presente que es factible reducir los CEM en los hogares mediante una serie de medidas de precaución como establecen Álvarez-Ovallos, Amado-González y Quijano-Parra (Citado en Tomitsch J, Dechant E 2015).

3.4 CONTAMINACION ELECTROMAGNETICA, ARQUITECTURA Y MATERIALES DE INGENIERIA

La contaminación electromagnética, la arquitectura y los materiales de ingeniería según lo expuesto en los capítulos anteriores, en lo que a ondas electromagnéticas en ambiente indoor refiere existe una estrecha relación. Luego, se puede establecer que identificando de manera visual las fuentes de ondas electromagnéticas como EBTM, enrutadores wifi y equipos de telefonía móvil, se puede diseñar y crear un ambiente con menores magnitudes de intensidad de campo eléctrico (mV/m), intensidad de campo magnético (mA/m) y densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$).

Por ejemplo, si el arquitecto o ingeniero, identifican de forma visual una EBTM cerca la vivienda a construir se puede valer de herramientas como muros en mampostería o apantallamiento a base melamina o materiales livianos con cualidades de apantallamiento. Ahora si el profesional no desea utilizarlo puedo trabajar con la arquitectura, como diseñando ventanas de dimensiones pequeñas o que no permitan el paso de manera significativa de las ondas (ver figura 57).

Figura 57. Alternativa arquitectónica para disminución de contaminación electromagnética de origen outdoor



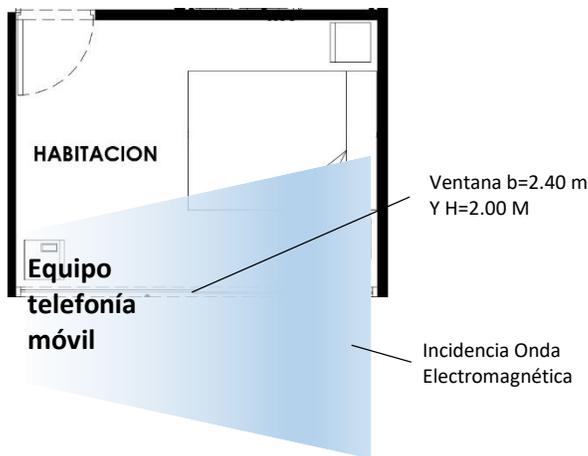
Alternativa arquitectónica para disminución de contaminación electromagnética de origen outdoor.

Mediante el empleo del diseño arquitectónico y la aplicación de los materiales adecuados para generar apantallamiento y evitar la afectación por ondas electromagnéticas al interior de la habitación o dormitorio.

En el ejemplo, la habitación que tiene vista a la calle es diseñada con muros en mampostería en ladrillo macizo, con una ventana de dimensiones 0.50×2.00 m. preferiblemente en melamina o metal, permitiendo acceso limitado de las ondas.

Fuente. Autor, 2018

Figura 58. Alternativa arquitectónica para disminución de contaminación electromagnética de origen indoor



Alternativa arquitectónica para disminución de contaminación electromagnética de origen indoor.

Mediante el empleo del diseño arquitectónico y la aplicación de los materiales adecuados para permitir la salida de las ondas disminuyendo la reflexión, la difracción y la dispersión y evitando la afectación por ondas electromagnéticas al interior de la habitación o dormitorio.

En el ejemplo, la habitación que tiene vista a la calle es diseñada con muros en mampostería en ladrillo macizo, con una ventana de dimensiones 2.40×2.00 m. grandes preferiblemente en melamina o metal, permitiendo acceso la disipación de las ondas.

Fuente. Autor, 2018

Las figuras 57 y 58 corresponden a simples aplicaciones de alternativas arquitectónicas y aplicación de materiales de ingeniería, que permitan disminuir la contaminación electromagnética, mediante la instrucción del profesional en la materia, con simples bases acerca del comportamiento de las ondas electromagnéticas y las diferentes aplicaciones de los materiales de ingeniería en la construcción.

CONCLUSIONES

La Estimación de la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en espacios habitables de descanso se encuentra estrechamente ligada al tipo de fuentes de emisión, número de fuentes, distancia a las fuentes, ubicación del espacio en estudio y materiales de construcción que confinan el sitio.

La Discriminación de dispositivos productores de ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en espacios habitables de descanso se debe basar según la fuente y tipo de onda electromagnética no ionizante generada. Los dispositivos de emisión outdoor identificados corresponden a las estaciones base de telefonía móvil (EBTM) y los dispositivos de emisión indoor corresponden a equipo de telefonía móvil (banda ancha móvil) y enrutador wifi (banda ancha fija).

El establecimiento de las magnitudes de los parámetros de ondas electromagnéticas no ionizantes en espacios habitables de descanso está sujeto a una serie de variables que en la mayoría de las ocasiones quien los habita no puede establecer o controlar, pero mediante la implementación de la cultura del correcto uso de los dispositivos de tecnologías inalámbricas y un adecuado diseño arquitectónico y uso de materiales idóneos del espacio habitable, bien sea la fuente outdoor o indoor mediante inspecciones visuales, puede disminuir la contaminación electromagnética. La contaminación electromagnética se establece mediante los parámetros intensidad de campo eléctrico (mV/m), intensidad de campo magnético (mA/m) y densidad de potencia ($\mu\text{W}/\text{m}^2$), siendo esta última la que mayor incremento presenta en un ambiente con alta contaminación.

La comparación de la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas en ambientes outdoor e indoor está estrechamente relacionada con la densidad de edificaciones y los materiales de ingeniería empleados en su construcción. Al comparar en el ambiente outdoor una zona con alta densidad de edificaciones con una zona con baja densidad de edificaciones como un parque al aire libre en los 120 metros circundantes a la EBTM, las mediciones de contaminación ambiental fueron más elevadas en el área de esparcimiento a cielo abierto. Ahora, al realizar la comparación entre el ambiente outdoor y el indoor ubicados a más de 120 metros de la EBTM, fue superior la contaminación hasta en 20 veces en el espacio habitable de descanso (indoor). Al comparar la contaminación presente en la ciudad de Cuenca, Ecuador y Cúcuta, la contaminación outdoor fue mayor en la capital

Nortesantandereana, mientras que la contaminación indoor fue superior en la ciudad ecuatoriana.

Se demostró que el 82.19% de las personas encuestadas ubican el equipo de telefonía móvil en los espacios habitables de descanso a una distancia igual o menor a 30 centímetros, 6.85% a una distancia superior a 30 centímetros y solo el 10.96% a una distancia superior a 1.5 metros. Al realizar las mediciones a dichas distancias se obtuvo como resultado que la mayor contaminación ambiental por ondas electromagnéticas se presenta a 30 centímetros de distancia y al ubicar el equipo de telefonía móvil a más de 1.5 metros disminuye a un 20% la contaminación evaluada.

Se definió un modelo de simulación que explicó el comportamiento de los materiales de revestimiento de ambientes indoor (o espacios habitables de descanso) con respecto a la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas mediante el uso de cajas de arcilla, icopor, melamina, metal y aluminio. Al evaluar todos los materiales, estos trabajaron de manera diferente considerándose como “normal” la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas registrada en el ambiente “sin material”. Las mediciones revelan que los valores del ambiente “sin caja”, o como se denomina en los gráficos “sin material” y la caja de arcilla son prácticamente iguales; Similar situación acontece con los ambientes simulados por las cajas de icopor y melamina, que presentan en su densidad de potencia valores muy cercanos. Por último, están los ambientes simulados por las cajas de metal y aluminio que muestran una tendencia al aumento de densidad de potencia muy elevado con respecto a sus ambientes en otro material y los valores de los dos ambientes distan uno del otro en magnitudes significativas. Por consiguiente, se puede afirmar que los elementos de arcilla poseen un alto coeficiente de apantallamiento y los elementos de aluminio contribuyen a un ambiente con mayor contaminación electromagnética.

RECOMENDACIONES

Los equipos de telefonía móvil deben ser ubicados en el sitio de descanso a una distancia mínima de 1.5 metros en lo posible fuera de la habitación, pues es la distancia a partir de la cual las ondas disminuyen considerablemente, pero se debe tener presente que los dispositivos cada vez poseen una mayor potencia y los espacios son más pequeños incrementando la contaminación electromagnética. Lo más recomendado es ubicarlo fuera de la habitación.

Los menores de edad deben tener restringido el uso del equipo de telefonía móvil, pese a la falta de consenso, muchos estudios manifiestan el riesgo de afectación de la salud de los menores y mujeres embarazadas antes la continua exposición a ondas electromagnéticas no ionizantes.

En horas de la noche o descanso se debe descontentar el enrutador wifi, con el fin de evitar la contaminación electromagnética en el periodo del día en el que la persona está expuesta de manera constante y a su vez es el periodo en el que no se utiliza el equipo.

El enrutador wifi nunca debe estar ubicado dentro de la habitación, siempre en áreas diferentes a las áreas de descanso y junto a ventanas que permitan la disipación de las ondas al disminuir los mecanismos como la reflexión, la difracción y la dispersión al entrar en contacto con el vidrio, superficie que no está sujeto a la acción de las propiedades físicas ya citadas.

Al adquirir o construir casa el propietario y el profesional a cargo del diseño deben tratar de identificar las posibles fuentes de emisión de ondas electromagnéticas como EBTM, o puntos hot spot, o la ubicación del enrutador wifi en la vivienda con el fin de plantear el diseño pensando en tener un ambiente más sano de la contaminación electromagnética mediante la aplicación de sencillas pautas que mejoraran el espacio habitable y las cuales han sido mencionadas someramente buscando incentivar la investigación al respecto.

Elaborar una cartilla informando a los adolescentes próximos a recibir por parte de sus padres un equipo de telefonía móvil o instalar un enrutador wifi permanente en su casa para su uso, los posibles riesgos por contaminación ambiental por ondas electromagnéticas producto de tecnologías inalámbricas en sus respectivos

colegios, creando conciencia e incentivando al correcto uso de los equipos anteriormente mencionados.

Continuar con la investigación a nivel de proyectos de grado de maestría o doctorado respecto a la contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas y su reducción mediante la implementación de diseños arquitectónicos y uso de materiales de ingeniería adecuados para viviendas y edificaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). (2013). *Monografías sobre la evaluación de los riesgos carcinogénicos para humanos*, 112.
- Agencia Nacional del espectro – ANE. (2011). *Foro Despliegue de infraestructura, salud y medio Ambiente*. 5
- Agencia Nacional del Espectro (ANE). (2018). GeoPortal ANE. <http://medicionantenas.ane.gov.co:82/#>.
- Álvarez-Ovallos, A., Amado-González, E. y Quijano-Parra, A. (2014). *Estudio del efecto de los campos electromagnéticos sobre la producción de biomasa en Saccharomyces cerevisiae variedad Rhône*. Bistua:Revista de la Facultad de Ciencias Básicas.2014.12(2):14-23.
- 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*. 30.
- Aponte, G., Escobar, A., Pineda, C.R. et Arizabaleta, G. (2007). *Medición de campos electromagnéticos en la ciudad de Cali, Colombia*. Información tecnológica, Vol 18(3), 39-47.
- Arte France et Mosaïque Films, Ribot, J.C. (2011). *sous le feu des ondes*. Francia: Arte France et Mosaïque Films.
- Ayuntamiento de Alcobendas. (2005). Revisión y adaptación del Plan General de Alcobendas. *Estudio de contaminación electromagnética*. 27-55.
- Banco Mundial. (2010). *Science, Technology and Innovation Capacity Building Partnerships for Sustainable Development*.
- Banco Mundial. SIR-AFI. DataBank. (2016). <https://datos.bancomundial.org/indicador/IT.NET.BBND.P2?end=2016&start=2016&view=map>.

- Betts, Kellyn. (2010). *El primer análisis combinado INTERPHONE no es concluyente*. Environmental Health Perspectives, Volumen 118, numero 7. A290 – A 291.
- Carril, Henry. (2013). *Taller UIT sobre “Exposición Humana a los Campos Electromagnéticos (CEMs)”*. 25-41.
- Castellanos Díaz, E., Talero Niño, J.B. (2005). *Análisis de propagación electromagnética en espacios cerrados: Herramienta software en Matlab para predicción y simulación*. 17-71.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL. (2013). *Economía digital para el cambio estructural y la igualdad CEPAL*. 16.
- 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)*. 28.
- Comisión Internacional para la Protección Contra la Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP). (2018). www.icnirp.org.
- Congreso de Colombia (1993). *Ley 99 del 22 de diciembre de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones*. 1.
- Cruz Ornetta, V. (2013). *ITU Workshop on “Human Exposure to Electromagnetic Fields (EMFs)”*. 5.
- Febles Santana, V. M. (2015). *Efectos radiaciones no ionizantes en el cuerpo humano*. 25.
- Federación española de Municipios y Provincias. (2012). *Informe SATI. “Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia*. 6-7.
- 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*. 17.

- 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*. 123.
- Hernández, L. J., Quiroga, F., Medina, K. y Guerrero, L. M. (2008). *Proyecto Ondas Electromagnéticas*. Hospital Fontibón Empresa Social del Estado. 6.
- Herrera Rubio, J.E., Pérez García, N.A. (2008). *Modelo de propagación en ambientes exteriores para sistemas inalámbricos operando en la banda de frecuencias de 2.4 GHz*. Revista Colombiana de tecnologías de avanzada Vol 2(12), 114-124.
- Hernández, L. J., Quiroga, F., Medina, K. et Guerrero, L. M. (2008). *Proyecto Ondas Electromagnéticas*. Hospital Fontibón Empresa Social del Estado. 3.
- Hernandez Sampierini, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta Edición. Editorial Mc Graw Hill Education. 540.
- Katz Esquivel, E. M., Larroca Ponzoni, F., Martino Vaeza, M. X. (2006). *Software de Análisis de Propagación Outdoor*. 23.
- Mendioroz, F. y Rendón, A. (2014). *Presentación Sistemas de conmutación telefonía móvil celular*. 24-28.
- Méndez, N. R., Méndez, R. M. y Cobiça, G. (2008). *Contaminación Electromagnética Salud e Internet*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). 2.
- Méndez, J. D., Pardo, A. y Díaz, J.L. (2007). Estudio y análisis de las emisiones electromagnéticas. Pamplona: Universidad de Pamplona. ISSN 1692-7257.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (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*. 11.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2005). *Resolución 1645 del 29 de julio de 2005 "por la cual se reglamenta el Decreto 195 de 2005*. 6-8.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2017). *Boletín trimestral de las TIC Cifras primer trimestre 2017*. 29.

- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2018). <http://colombiatic.mintic.gov.co/estadisticas/stats.php?&pres=content&jer=1&cod=&id=89#TTC>.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial, (2011). *Serie guías de asistencia técnica para viviendas de interés social*. 49.
- Morales Peralta, O. M. (2011). *Estudio actualizado de normas y procedimientos para la medición de Campos de Radiofrecuencias*. 52.
- Mosquera, J. (2006). *Arquitectura y desarrollo*. Revista científica UNET, Vol 18(2). 47-56.
- Organización Internacional del Trabajo. (2001). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. 49.21.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). Campos Electromagnéticos (CEM) Extraído el 5 de Junio de 2015 de <http://www.who.int/peh-emf/about/whatisEMF/es/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). <http://www.who.int/es/>.
- Pérez García, N.A., Herrera Rubio, J.E., Uscategui, J.R., Bernardo Peña, J. (2011). *Modelo de propagación en las Ciudades de Mérida (Venezuela) y Cúcuta (Colombia) para redes WLAN, operando en 2.4 GHz, en ambientes exteriores*. Revista Universidad, Ciencia y Tecnología Vol 16(62), 54-64.
- Quintana, A., Sepulveda, O. (2013). *Niveles de radiación de campo electromagnético presentes en las antenas WIFI Omnidireccionales*. 40.
- Ramón Valencia, J. A. (2014). *Seminario de Investigación I Maestría en ingeniería ambiental*. Universidad de Pamplona. 7.
- Rojas, K. (2009). *Radiación Electromagnética*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. 22.
- Rojas Monsalvo, K. (2009). *Radiación electromagnéticos*, 33.
- Romero K. y Walter R. (2012). *Redes inalámbricas y simulación de WLAN mediante OPNET*, 5.

- Rugeles Uribe, J.J., Jaimes Oviedo, A., Sánchez Barón, V.H., Mantilla Prada, O.A., Sastoque Galvez, E. (2006). *Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga*. Revista Ingeniería e Investigación Vol 27(3), 149-158.
- Staiano, M.A., Szymanowsky, A., Staiano, A.S., Aldasoro, R., Cordero, M. C. y Rapallini, J. A. (2012). *Contaminación Electromagnética: Medición de RNI. VII Congreso de Medio Ambiente. La Plata: Universidad Nacional de La Plata*. 19.
- Solano, M. A., Sáiz, J. (2015). *Conceptos Básicos de Campos Electromagnéticos de Baja Frecuencia. Universidad de Cantabria, Grupo de electromagnetismo*. 7.
- Telecom Argentina. (2018). *¿Cómo funciona un sistema de telefonía móvil?* https://institucional.telecom.com.ar/antenas/images/triptico_antenas_como_funciona.pdf.
- Tomitsch, J., Dechant, E. (2015). *Exposure to Electromagnetic Fields in Households Trends From 2006 to 2012*. Bioelectromagnetics 36:77-85.
- Tutivén, P. G. (2004). *Numero 7 Colección artículos: Los Efectos de la Radiaciones Electromagnéticas de Radiofrecuencia en la Salud Humana. Fundació Càtedra Iberoamericana, Universitat de les Illes Balears*. 5.
- Unión internacional de telecomunicaciones (UIT). (2015). *Base de datos de la UIT sobre indicadores mundiales de las telecomunicaciones/TIC*. <https://itunews.itu.int/es/3780-Telefonos-moviles-ya-son-casi-7000-millones-br-Tenemos-casi-todos-un-telefono.note.aspx>.
- Unión internacional de telecomunicaciones (UIT). (2016). www.itu.int/es/mediacentre/Pages/2016-PR30.aspx.
- Unión internacional de telecomunicaciones (UIT). (2018). *IUT-T K.52 “Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos”*. 10-14.
- 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”*. 9-15.

Unión internacional de telecomunicaciones (UIT). (2018). www.itu.int/es.