



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

ce centro
editorial

Contaminación electromagnética emitida por estaciones base de telecomunicaciones (3G, 4G y 5G): **propuesta metodológica para la generación de mapas de exposición**

Autores

Vladimir Henao Céspedes
Yeison Alberto Garcés Gómez
Luis Fernando Díaz Cadavid

CATALOGACIÓN EN LA FUENTE

Henao Céspedes, Vladimir

Contaminación electromagnética emitida por estaciones base de telecomunicaciones (3G, 4G y 5G): propuesta metodológica para la generación de mapas de exposición / Vladimir Henao Céspedes, Yeison Alberto Garcés Gómez, Luis Fernando Díaz Cadavid. Manizales : Centro Editorial Universidad Católica de Manizales, 2022.

117 páginas

Incluye: Referencias Bibliografía

Incluye: Anexos

ISBN 978-628-7622-03-6

1. Electromagnetismo -- Efectos fisiológicos. 2. Campos electromagnéticos. 4. Sistema de información geográfico de radiación. I. Garcés Gómez, Yeison Alberto. II. Díaz Cadavid, Luis Fernando.

CDD 537

BIBLIOTECA UCM



Copyright©
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

Compiladores: Vladimir Henao Céspedes · Yeison Alberto Garcés Gómez · Luis Fernando Díaz Cadavid

Editor: Carlos Manuel Varón Castañeda

Corrección de estilo: Centro Editorial UCM

Diseño: Unidad de Marca UCM

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema recuperable o transmitida en ninguna forma por medios electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros, sin la previa autorización por escrito del Centro Editorial Universidad Católica de Manizales y de los autores. Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente corresponden con los de la Universidad Católica de Manizales y da cumplimiento al Depósito Legal según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 del 16 de marzo de 1995, el 2150 de 1995, el 358 de 2000 y la Ley 1379 de 2010.

©Centro Editorial Universidad Católica de Manizales
Carrera 23 No. 60-63
<http://www.ucm.edu.co/centro-editorial/>
centroeditorialucm@ucm.edu.co
Manizales - Caldas

Hecho en Manizales, Caldas · Colombia

CONTENIDO

10 • Prólogo

12 • Presentación

16 • Capítulo 1. Estado del arte y bibliometría

17 • Efectos de la radiación no ionizante sobre la salud

29 • Análisis bibliométrico

68 • Mapas de contaminación electromagnética

74 • Capítulo 2. Normatividad nacional e internacional

74 • Normatividad nacional

75 • Normatividad internacional

76 • Sentencias, fallos y noticias

86 • Capítulo 3. Método para estimación de la contaminación EM

91 • Capítulo 4. Estudio de caso

95 • Mapa de contaminación EM aplicando triangulación de Delaunay

99 • Sistema de información geográfico de radiación EM móvil. Mapa de COEM elaborado mediante IDW

102 • Capítulo 5. Conclusiones

105 • Referencias

113 • Anexos

113 • Cortina de datos bibliométricos

114 • Base de datos de mediciones de RNI

Lista de tablas

- 21 • Tabla 1.** Efectos biológicos con radiación de RF de baja intensidad
- 34 • Tabla 2.** Medidas de colaboración de la base de datos analizada
- 39 • Tabla 3.** Relación de las fuentes más influyentes en el área estudiada
- 45 • Tabla 4.** Principales fuentes por índice, ordenada en forma descendente por índice g
- 48 • Tabla 5.** Número de citas por autor y citas por año de los mismos
- 51 • Tabla 6.** Resumen del impacto de los autores a partir de los índices
- 56 • Tabla 7.** Cantidad de artículos por país e índice de proporción MPC
- 58 • Tabla 8.** Resumen de citas locales y globales para los principales autores
- 67 • Tabla 9.** Frecuencia de publicación por país a partir de colaboración con otros países
- 79 • Tabla 10.** Resumen de sentencias de la Corte Suprema de Justicia colombiana sobre temas relacionados con COEM y sus posibles efectos en la salud humana
- 94 • Tabla 11.** Especificaciones del equipo NBM -550
- 94 • Tabla 12.** Límites máximos de exposición permitidos
- 114 • Tabla 13.** Niveles de S, H, E en puntos estratégicos de la ciudad de Manizales para el estudio de caso

Lista de figuras

- 18 • Figura 1.** Descripción de las ondas: (a) partes de la onda, (b) espectro electromagnético.
- 32 • Figura 2.** Análisis exploratorio de la búsqueda en WoS generado con la herramienta <https://bibliometric.com/>
- 35 • Figura 3.** Producción científica anual
- 36 • Figura 4.** Gráfico Sankey o de tres campos
- 38 • Figura 5.** Diagrama de tres campos con los niveles de países, palabras clave y fuentes
- 40 • Figura 6.** Revistas más relevantes en el campo de estudio
- 41 • Figura 7.** Representación gráfica de la ley de Bradford
- 42 • Figura 8.** Crecimiento de las fuentes bibliográficas
- 44 • Figura 9.** Impacto de las principales fuentes medido por el índice H

- 46 • **Figura 10.** Relevancia de los autores según la cantidad de documentos publicados
- 47 • **Figura 11.** Distribución temporal de la producción de los autores, la cantidad de documentos y la relevancia de citas
- 50 • **Figura 12.** Distribución de frecuencia de productividad científica (Ley de Lotka)
- 53 • **Figura 13.** Producción de las instituciones más representativas sin el proceso de desambiguación
- 54 • **Figura 14.** Documentos publicados por institución luego del proceso de desambiguación de los nombres
- 55 • **Figura 15.** Comparación de la cantidad de documentos por país según el autor corresponsal (MPC: publicación de múltiples países, SCP: publicación de un único país)
- 57 • **Figura 16.** Principales documentos con análisis de citas globales
- 59 • **Figura 17.** Comparación de las palabras clave y las palabras clave de autor
- 59 • **Figura 18.** Análisis de las palabras más relevantes usadas en el resumen de los documentos
- 61 • **Figura 19.** Red de coocurrencias de palabras clave en la base de datos bajo estudio
- 62 • **Figura 20.** Análisis de coocurrencias realizado con el software VOSviewer
- 63 • **Figura 21.** Red de cocitaciones de referencias en el paquete Bibliometrix de R
- 64 • **Figura 22.** Red de cocitaciones de referencias realizado con el software VOSviewer
- 65 • **Figura 23.** Estructura social de las instituciones que publican en el área estudiada
- 66 • **Figura 24.** Mapa de colaboración como estructura social del conocimiento
- 86 • **Figura 25.** Concepto de superposición
- 88 • **Figura 26.** k fuentes incidentes en el punto de medición, cada una con su respectiva frecuencia de emisión
- 90 • **Figura 27.** Diagrama de flujo descriptivo de la metodología de medición
- 92 • **Figura 28.** Campaña de medición en la ciudad de Manizales
- 93 • **Figura 29.** Equipo de medición NARDA NBM-550, con la sonda de 100KHz – 3GHZ y en la parte frontal el GPS GARMIN
- 97 • **Figura 30.** Vista superior del mapa de contaminación generado
- 97 • **Figura 31.** Acercamiento del mapa de contaminación EM generado mostrando la zona con los niveles más elevados
- 98 • **Figura 32.** Mapa generado con curvas de nivel de contaminación en Manizales
- 98 • **Figura 33.** Mapa en 3D de la contaminación EM generado
- 100 • **Figura 34.** Sistema de información geográfico de COEM

Lista de abreviaturas

BTS	<i>Base Transceiver Station</i> (estación base de telefonía móvil)
CAGR	Tasa de crecimiento anual compuesta
CEM	Campos electromagnéticos
COEM	Contaminación electromagnética
FCC	Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones)
GIDTA	Grupo de investigación en desarrollos tecnológicos y ambientales GIDTA
GTT	Grupo de investigación en telemática y telecomunicaciones GTT
IARC	Agencia Internacional para Investigación en Cáncer
ICNIRP	Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i> (ponderación de distancia inversa)
IEEE	Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet de las cosas, IoT)
MCP	<i>Multiple countries publication</i> (publicaciones de múltiples países)
MTCEM	Medición total de campo electromagnético
Ocoem	Onda de contaminación electromagnética
OMS	Organización Mundial de la Salud
RF	Radiofrecuencia
RI	Radiación ionizante
RMS	<i>Root Mean Square</i> (valor cuadrático medio)
RNI	Radiación no ionizante
RSS	<i>Root Sum Square</i> (suma de raíz cuadrada)
SCP	<i>Single country publication</i> (publicación de país único)
SIG	Sistema de información geográfica
UCM	Universidad Católica de Manizales
WoS	Web of Science

Sobre los autores

Vladimir Henao Céspedes

Ingeniero electrónico, magíster y doctor en ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Profesor titular de la Unidad Académica de Formación en Ciencias Naturales y Matemáticas de la Universidad Católica de Manizales (UCM). Sus intereses de investigación incluyen teledetección, internet de las cosas (IoT) aplicado a procesos medioambientales y agricultura de precisión, compatibilidad electromagnética, contaminación electromagnética y desarrollo de soluciones tecnológicas enfocadas a monitoreo remoto. Miembro de los grupos de investigación en Desarrollo Tecnológico y Ambiental (GIDTA) y en Investigación en Telemática y Telecomunicaciones (GTT). Correo electrónico: vhenao@ucm.edu.co. Orcid: 0000-0002-1938-3203.

Yeison Alberto Garcés Gómez

Ingeniero electrónico, magíster en automatización industrial y doctor en ingeniería. Profesor titular de la Unidad Académica de Formación en Ciencias Naturales y Matemáticas de la UCM. Sus intereses de investigación incluyen tecnologías aplicadas a la Educación y la Medicina, y didácticas específicas de las ciencias básicas y ciencias básicas aplicadas. Cuenta con amplia experiencia técnica e investigativa en gestión eficiente de la energía y aplicaciones tecnológicas ambientales, y ha participado en proyectos de investigación avalados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias). Miembro de los grupos GIDTA y Educación y Formación de Educadores (EFE). Correo electrónico: ygarces@ucm.edu.co. Orcid: 0000-0002-9409-3652.

Luis Fernando Díaz Cadavid

Ingeniero en telecomunicaciones y magíster en ciencias de la ingeniería con especialidad en telecomunicación automática de la Universidad Estatal de Telecomunicaciones de San Petersburgo (Rusia), especialista en informática y computación de la Universidad de Cantabria (España) y doctor en ingeniería (línea automática) de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor asociado del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Director del Grupo GTT. Correo electrónico: lfdiazc@unal.edu.co. Orcid: 0000-0001-6073-543

Prólogo

La obra que llega a los lectores es una invitación al reconocimiento de la producción de nuevo conocimiento en el área de las ingenierías, en las cuales, por lo general, la mayoría de escritos corresponden a artículos breves, que presentan resultados de investigaciones con prontitud. Los libros, en cambio, presentan resultados de más largo plazo, pues relacionan investigaciones específicas con mayores profundizaciones teóricas y prácticas, que buscan realizar, por ejemplo, procesos de formación profesional o comunicar a grupos más amplios lo alcanzado en las investigaciones en el área de interés de los autores.

La temática de esta obra es de actualidad y se relaciona con diversas áreas del conocimiento. La preocupación por la contaminación electromagnética (COEM) se ha elevado en proporciones sorprendentes, hasta tal punto que ha sido tema de controversia en el tiempo de la pandemia causada por el virus SARS-CoV-2. En redes sociales se encuentran comentarios sobre la imaginaria relación entre el virus y la instalación de las antenas de las redes 5G en ciudades de Colombia.

Pero, el interés por el tema a nivel investigativo también se evidencia en el estudio que este libro presenta en su segundo capítulo de estado del arte y bibliometría, en el cual se hace notoria la relación con la temática a partir de palabras clave que evidencian las áreas desde las cuales se aborda este tema: salud; radiación; electromagnetismo; teléfonos móviles; y estaciones base. Con ello se muestran las relaciones con la salud humana, el medio ambiente y la ingeniería eléctrica y electrónica.

Sin embargo, es fundamental entender que los autores de esta obra no asumen una posición definitiva sobre si hay, o no, afectaciones en la salud humana, pues, esa no es la pretensión final de la investigación, que busca, más bien, una contribución a la discusión para enriquecerla y conducir a la ciencia a mayores claridades al respecto.

Aunque esta es una obra integral, es bueno descubrir que puede ser leída por capítulos de acuerdo con el interés específico del lector. Así, el capítulo dos será de interés para

quienes buscan una aplicación de la cienciometría al tema central, y para los que se acercan al estado del arte, para descubrir en qué va la investigación a la fecha. El capítulo tres será especialmente interesante para quienes desean tener un conocimiento más profundo y sistemático de la normatividad nacional e internacional al respecto.

En el capítulo cuarto se encuentra la propuesta metodológica desarrollada por los autores para medir los niveles de COEM. En ella se encuentra una manera innovadora de medición que cumple con todos los requisitos científico-técnicos para su implementación.

En secuencia lógica con lo anterior, el capítulo quinto es un estudio de caso en la ciudad de Manizales, en el cual se aplicó el modelo y se visualizaron sus posibilidades al ser empleado. Las figuras y mapas de claridad permitirán entender la importancia del modelo y su aplicación en territorios concretos.

Al final, se encuentran las conclusiones del trabajo, el cual será aun aporte a la formación en diversos pregrados sobre la temática y, al mismo tiempo, dará lugar a un primer acercamiento al nuevo conocimiento sobre el tema. Por último, será un documento de importancia para los investigadores en el área, pues ofrece un modelo de medición de los niveles de COEM.

Después de la lectura de la obra quedarán muchas preguntas por resolver. Por ejemplo, cuestiones sobre la bioética en el contexto de los desarrollos tecnológicos, donde la aplicación de principios como autonomía, no maleficencia, beneficencia y justicia, los cuatro pilares de la bioética, ayudarán a enriquecer el debate y a visibilizar otras áreas del conocimiento frente a la problemática de la COEM. Pero también, darán pie a preguntas de las ciencias ingenieriles, del medio ambiente, de la salud, etc.

No quiero terminar sin felicitar a los autores por su aporte y menos aún sin incentivar a las diversas categorías de lectores a lanzarse en el reconocimiento de esta obra y su aporte al tema de la COEM que es de importancia y actualidad.

Pbro. Luis Guillermo Restrepo Jaramillo.

Líder del grupo de investigación Educación y Formación de Educadores (EFE).

Presentación

A pesar de su surgimiento comercial a mediados de la década de 1980 y de su popularización global hacia el año 2000, al día de hoy se sigue discutiendo si la radiación que emiten los equipos electrónicos de telecomunicaciones, como los teléfonos móviles y su infraestructura de operación, antenas o estaciones base (Base Transceiver Station - BTS), causan o no problemas a la salud humana. Aun una institución tan importante como la Organización Mundial de la Salud (OMS) no se atreve a dar un veredicto y se limita a catalogar las radiaciones de radio frecuencia (frecuencias en las cuales operan las comunicaciones inalámbricas) como posiblemente carcinógenas. Esto abre el espacio para, por parte de quienes estudian el tema, continuar con investigaciones en el área y, por parte de la sociedad en general, especular sobre un tema, por un lado, controversial, y por el otro, completamente necesario en la era actual, en la que la comunicación y la conectividad son primordiales para el desarrollo de todas las actividades humanas.

La comunicación nació con el mismo ser humano, y le ha permitido vivir en sociedad y evolucionar gracias a la posibilidad de transmitir a sus congéneres sus ideas y pensamientos (información). Desde sus orígenes, los mecanismos para realizar esta comunicación han ido cambiando. Las primeras manifestaciones del lenguaje oral fueron configurándose en su versión escrita, que ha ido de los pictogramas hasta la posibilidad de transmitir información a grandes distancias. Esto le permitió al ser humano generar diversos sistemas como los telégrafos de humo y de agua, el telégrafo Morse, el correo, y otras tecnologías, que precedieron a las actuales, y que hacen posible que la humanidad se conecte a la manera de una aldea global. Además de ello, el estado actual de los medios de comunicación ha servido para satisfacer necesidades humanas en épocas de aislamiento social por causa de los propios conflictos humanos y, más recientemente, por la pandemia causada por el Covid-19. Se puede afirmar que la época de pandemia sin sistemas de comunicación como los actuales, que están al alcance de todos los niveles sociales, sería algo mucho más complejo.

Entre las tecnologías actuales se encuentran los sistemas de comunicación electrónica, tales como: internet móvil, telefonía móvil, internet inalámbrico wifi, y radiodifusión en AM y FM, entre otros. Los dispositivos que hacen posibles los procesos de comunicación emiten señales electromagnéticas (señales en frecuencias del orden de los millones de ciclos por segundo) necesarias para su operación. Estas señales se encuentran ordenadas por su frecuencia en lo que es conocido como espectro electromagnético, el cual se divide en: Radiación Ionizante (RI), y Radiación no Ionizante (RNI). Las señales a las que se hace referencia en este libro se encuentran en la región de la RNI, dado que no tienen la suficiente energía para realizar modificaciones moleculares por remoción de electrones, como sí sucede con frecuencias mayores claramente definidas como los rayos gamma o los rayos X (clasificados como RI), que son liberados por los átomos por desintegración espontánea, y cuyos efectos, si bien son conocidos claramente, también son usados en formas útiles para el ser humano, sobre todo en el campo de la imagen médica diagnóstica.

Dado lo anterior, se puede afirmar que existe una gran cantidad de sistemas de comunicación en operación y que, por lo tanto, vivimos en un ambiente con infinidad de emisiones electromagnéticas. Considerando que estas emisiones son generadas por el ser humano y puestas en el medio ambiente y que, en consecuencia, se pueden asociar con un tipo de contaminación: la COEM, surge la siguiente pregunta: ¿las emisiones electromagnéticas asociadas a los sistemas de comunicación son nocivas para la salud y el medio ambiente? La búsqueda de la respuesta a la misma ha movilizó diferentes estudios científicos, algunos de los cuales son abordados en el presente libro desde una investigación bibliométrica, considerando la COEM generada por tecnologías de sistemas de comunicación electrónica tales como 5G, 4G, GSM, LTE y LoRa, entre otras. En lugar de sentar una posición frente a la situación problemática en torno de la cual gira la obra, la revisión bibliométrica tiene el motivo ulterior de brindar al lector elementos de juicio para que elabore su propia respuesta a ella.

Este libro presenta –como resultado de un proceso de investigación– una metodología para la medición de la COEM, por lo que constituye una herramienta importante para analizar la COEM en áreas urbanas. A partir de mediciones de densidad de potencia, dicha metodología permite obtener un valor de COEM que es posteriormente graficado a partir de una metodología de interpolación, con lo cual se puede obtener un mapa de exposición por COEM de una ciudad. Esta forma de medición fue aplicada en un caso de estudio en la

ciudad de Manizales (Depto. de Caldas, Colombia), cuyas mediciones y mapa obtenido se presentarán en las páginas subsiguientes. Algunos avances de la investigación (referidos en el capítulo 4) han sido publicados por los autores en el Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE).

Metodología de investigación y desarrollo

El interés por aportar a la humanidad en su búsqueda de la respuesta a la pregunta planteada llevó a esta investigación, cuyo objetivo principal es desarrollar una metodología de medición de COEM en ambientes urbanos, que permita generar mapas de exposición por COEM de una ciudad. Las universidades Católica de Manizales y Nacional de Colombia (sede Manizales), y sus grupos de investigación en Desarrollos Tecnológicos y Ambientales (GIDTA), Educación y Formación de Educadores (EFE), y Telemática y Telecomunicaciones (GTT), aunaron esfuerzos académicos para alcanzar esta meta.

El sustento teórico y conceptual para el desarrollo de la metodología se obtuvo a través de una investigación bibliométrica que permitió abordar la literatura científica disponible frente al tema estudiado en la base de referenciación internacional WoS (Web of Science). El análisis de la literatura se abordó desde una bibliometría con un enfoque metodológico adaptado por los autores, por lo que se muestran los principales resultados, desde citaciones y cocitaciones hasta coautorías, entre otros, y se resalta la importancia de la estructura social del conocimiento.

El sustento teórico obtenido permitió establecer una expresión matemática para calcular los valores de COEM en sitios de interés de una ciudad. Una vez establecida una expresión matemática para obtener la COEM, fue desarrollada una metodología para realizar mediciones de COEM en diferentes puntos de interés. Esta metodología tuvo en consideración los equipos que habitualmente se utilizan para realizar mediciones de campos electromagnéticos (CEM), y las unidades de medición que entregan, tales como la densidad de potencia. Por otro lado, se consideraron aspectos como tiempos de medición y tipos de fuentes de emisión, ya que existen fuentes que emiten de manera constante, mientras otras

lo hacen de manera esporádica, y esto genera una modificación en el tiempo de medición. Esta metodología fue plasmada de manera gráfica en un diagrama de flujo para un mejor entendimiento al momento de aplicarla.

La metodología de medición permite obtener valores de COEM que son plasmados en un mapa haciendo uso de herramientas computacionales, de manera que sea posible visualizar los sitios que presentan mayor concentración de contaminación en una ciudad. Finalmente, como caso de estudio, la metodología fue aplicada en Manizales para obtener un mapa de COEM.

La obra consta de cinco capítulos. En el primero se presenta el estado del arte: se desarrolla la bibliometría a partir de la cual se resalta el problema de estudio en la investigación; y se presentan los hallazgos principales del análisis de la literatura. El segundo aborda todo lo concerniente a la normatividad nacional e internacional respecto a la radiación EM, y finaliza con una sección en la que se acopia la casuística legal relacionada con lo dispuesto en casos cuyo objeto de análisis han sido las ondas de RNI. Además, se hace un recorrido por los medios de comunicación principales en los ámbitos nacional e internacional con temas relacionados. El tercero plantea una propuesta metodológica desarrollada a partir de la investigación para la medición de los campos electromagnéticos, y está enfocado en la construcción de un modelo de medición de COEM a partir del cual se desarrolla el estudio de caso que se presenta en el capítulo cuarto. Y en el quinto se presentan las conclusiones de la investigación. Con el ánimo de que la metodología planteada sea reproducible, se añaden como anexos dos elementos: 1) la información de acceso a los datos recopilados para el análisis bibliométrico; y 2) los datos obtenidos para el estudio de caso, de manera que toda la metodología de investigación del libro pueda ser reproducible.

Capítulo 1.

Estado del arte y bibliometría

Durante los últimos años, con la masificación de la tecnología, se ha incrementado el número de dispositivos que emiten señales de radiofrecuencia (RF), incorporan sistemas de comunicación electrónica y pueden ser considerados como fuentes de RNI. Ejemplos de estos dispositivos son: Smartphone, Smart TV, Sistema Smart Home, Smart Health, entre otros. El número exacto de dispositivos no es conocido, pero es posible que ya se hayan excedido los cinco mil millones de dispositivos móviles [1], [2], y se estima que esta cantidad alcanzará los 50 mil millones en la próxima década, si se considera la proliferación de los sensores (Cosas, Things) del internet de las cosas (IoT - Internet of Things). Considerando el incremento mencionado, se puede plantear la hipótesis de que posiblemente los niveles de RNI, y por ende de COEM, se han incrementado. En Colombia, las cifras suministradas por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) [3] indican que en el año 2019: la cantidad de líneas de telefonía móvil era de 65,1 millones; los accesos fijos a internet alcanzaron los 7,0 millones; y los accesos a internet móvil llegaron a los 28,9 millones.

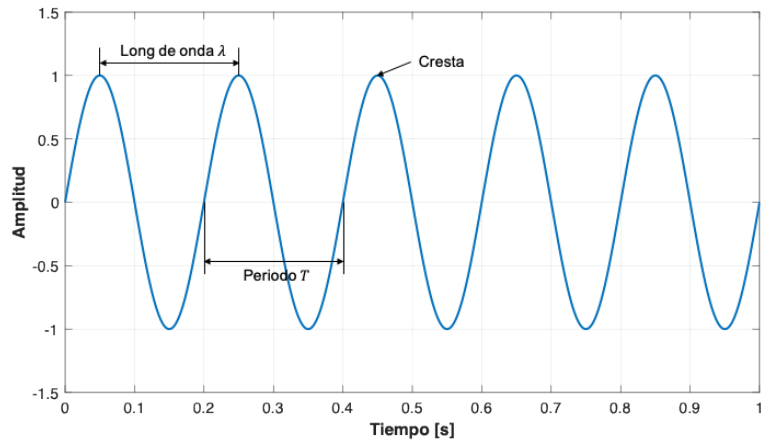
A raíz de estas cifras, que indican incrementos en los dispositivos emisores de RF (fuentes de RNI), se ha identificado la necesidad de conocer los riesgos sobre la salud pública y el ambiente, que se pueden derivar de la exposición a dichas fuentes. Por esta razón, en la literatura científica se encuentran diversos estudios sobre los posibles efectos que la RNI puede tener sobre el ambiente [4] y los seres humanos [5].

Este capítulo presenta una revisión de algunos artículos científicos que abordan los posibles efectos de la RNI sobre el medio ambiente y los seres humanos, así como una revisión de metodologías para determinar los niveles de dicha contaminación y el desarrollo de la bibliometría.

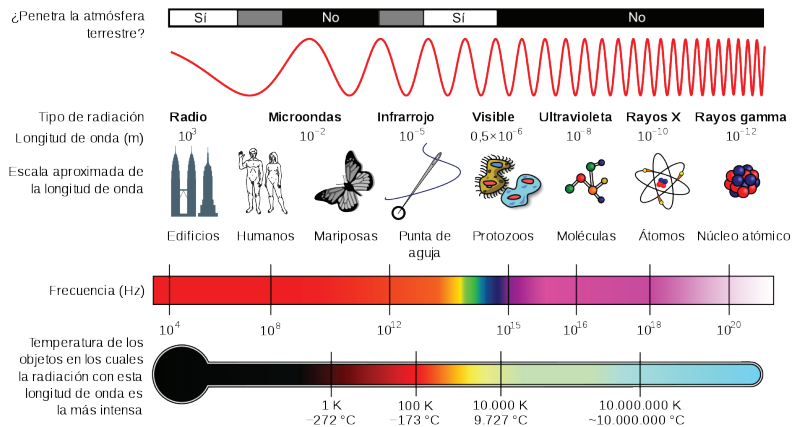
Efectos de la radiación no ionizante sobre la salud

Los sistemas de telecomunicaciones funcionan gracias a la emisión de ondas electromagnéticas que se pueden presentar de una manera ordenada y distribuida de acuerdo con su frecuencia. Esto es lo que se conoce como espectro electromagnético, el cual forma parte de un espectro mucho más grande, conocido como espectro de frecuencias, donde, de la misma manera ordenada y distribuida, se relacionan diferentes fenómenos ondulatorios. El espectro de frecuencias va desde las ondas sonoras, entre los 20 y 20.000 Hz, pasando por la luz visible, del orden de los 10^{14} Hz, hasta los rayos gamma en los 10^{26} Hz (Figura 1).

La frecuencia se mide en Hertz, o hercios en español (Hz), que es una unidad de cantidad de ciclos por segundo, donde un ciclo es un periodo completo de una forma de onda o repetición. Este aspecto se ilustra en la Figura 1(a), donde se pueden apreciar las principales partes de una onda. Por un lado, se encuentra el periodo, normalmente denotado con la letra T , que es el tiempo que tarda la onda en hacer una repetición completa y que se da en segundos, mientras la frecuencia es el inverso del periodo, de forma que $f = 1/T$. Para el caso de dicha figura, la frecuencia es de 5 Hz, que significa que tiene 5 ciclos completos o periodos en un segundo. Otra unidad importante en las ondas periódicas es la longitud de onda denotada por la letra del alfabeto griego λ (lambda), que es la distancia que hay entre cresta y cresta y que se puede encontrar a partir de la formula $\lambda = v/f = vT$, donde v es la velocidad de propagación de la onda, que, para el caso de las ondas electromagnéticas se aproxima a la velocidad de la luz. También se ilustra en la figura la amplitud, que se puede traducir como la potencia de la onda, entre más grande, más potencia.



(a)



(b)

Figura 1. Descripción de las ondas: (a) partes de la onda; (b) espectro electromagnético.
Fuente: (a) elaboración propia, (b) tomado con derechos de uso de [6]

En el caso de las ondas de radio, por ejemplo, en la banda de AM para radio difusión sonora en Colombia, la cual va desde la frecuencia de 535 KHz hasta 1705 KHz [7], la longitud de onda varía entre 560 m y 175,9 m, respectivamente. Mientras, en el caso de la luz infrarroja, que usan comúnmente los mandos a distancia o controles remoto de los televisores modernos, la longitud de onda es del orden de 10^{-5} m, es decir, de 0,00001 m, la centésima parte de un milímetro. El ojo humano no puede captar este tipo de luz, lo cual sí pueden hacer algunas otras especies animales. Como se observa en el espectro electromagnético figura 1(b), este puede ser dividido en grupos de frecuencias:

- Frecuencias extremadamente bajas (ELF)
- Ondas de radio (RF): baja frecuencia (LF); media frecuencia (MF); alta frecuencia (HF); muy alta frecuencia (VHF)
- Microondas (MW): ultraalta frecuencia (UHF); superalta frecuencia (SHF); extremadamente alta frecuencia (EHF)
- Infrarrojo (IR)
- Luz visible
- Ultravioleta (UV)
- Rayos X
- Rayos gamma
- Rayos cósmicos.

Entre las ondas de ELF y una porción de las ondas UV, se encuentra la RNI, que es la abordada en este libro. Esta radiación se encuentra entre los 3 Hz y 3×10^{15} Hz [8] con longitudes de onda que oscilan entre los 1×10^8 m y los 1×10^{-7} m respectivamente. Lo anteriormente descrito se puede ver en la figura 1(b), que representa el espectro electromagnético en el cual se encuentran las ondas electromagnéticas ordenadas por frecuencias.

Los posibles efectos causados por la radiación no ionizante sobre la salud humana son diversos, y han sido documentados a través de diferentes estudios, de los cuales en la presente sección se expondrán algunos.

Dichos efectos pueden ser clasificados en: agudos, cuando son inmediatos y objetivos; crónicos, en caso contrario; y benéficos y nocivos, según Torres [9]. Estos se pueden

producir por efecto de la penetración de las ondas electromagnéticas en los tejidos del cuerpo humano y, según Pérez [10], la RF penetra en el cuerpo humano en una magnitud que aumenta con la frecuencia (a mayor frecuencia, mayor penetración), de forma que la energía que penetra en el cerebro presenta el mismo comportamiento. La profundidad de penetración estará también asociada al contenido de agua de los tejidos. Es así como la profundidad de penetración de ondas cercanas a los 900 MHz, en tejidos con alto contenido de agua, como el músculo, es de 3 cm, y de ondas de 2400 MHz es de unos 1,7 cm. En tejidos con bajo contenido de agua, como el hueso, las profundidades son de 17,7 cm y 11,2 cm, respectivamente. Este fenómeno de penetración de las ondas de RF es expuesto por Subhan et al. [11], y es llamado fenómeno de inmersión de microondas (*algo similar a lo que ocurre al preparar alimentos dentro de un horno de microondas, en el que el contenido líquido en el material alimenticio se calienta inicialmente*), el cual es más evidente en partes del cuerpo humano que se componen de mayor contenido de líquido (sangre, agua, etc...), como el cerebro, que está compuesto por 90 % de agua.

Lo expuesto permite concluir que se pueden generar algunos efectos en el ser humano, dada la capacidad de las ondas de RF de penetrar el cuerpo, y que la profundidad de penetración dependerá del porcentaje de líquidos presentes en el tejido y de la frecuencia de la onda RF. Por otro lado, y considerando que las ondas de RF se generan con una potencia que disminuye conforme se incrementa la distancia entre la fuente y la víctima, los efectos tendrán también relación con dicha distancia. Es así como, según Levitt y Lai [12], existen efectos biológicos que se producen con ondas de intensidades muy bajas, comparables a lo que experimentan quienes habitan dentro de un radio de 60-150 m de una torre de telefonía celular. Los efectos relacionados son: genéticos, de crecimiento y reproductivos; aumentos en la permeabilidad de la barrera hematoencefálica; comportamiento molecular, celular y metabólico; y aumento del riesgo de cáncer. En la tabla 1, tomada y adaptada de [12], se relacionan estudios que reportan efectos biológicos con radiación de radiofrecuencias de baja intensidad.

Tabla 1. Efectos biológicos con radiación de RF de baja intensidad

Referencia	Frecuencia	Fuente	Efectos reportados
Balmori (2010) (in vivo) (eggs and tadpoles of frog)	88.5–1873.6 MHz	Estación base de telefonía móvil	Retraso en el desarrollo.
Belyaev et al. (2005) (in vitro)	915 MHz	GSM	Cambios en los glóbulos blancos humanos.
Belyaev et al. (2009) (in vitro)	915 MHz, 1947 MHz	GSM, UMTS	Afecta el mecanismo de reparación de ADN en glóbulos blancos humanos.
Blackman et al. (1980) (in vitro)	50 MHz	AM	Calcio en el prosencéfalo de pollos.
Boscol et al. (2001) (in vivo) (human whole body)	500 KHz–3 GHz	TV	Sistema inmunológico en la mujer.
Campisi et al. (2010) (in vitro)	900 MHz	CW	Daño de ADN en células gliales humanas.
Capri et al. (2004) (in vitro)	900 MHz	GMS	Una ligera disminución en la proliferación celular cuando las células inmunes humanas fueron estimuladas con mitógeno y un ligero aumento en el número de células con distribución alterada de fosfatidilserina a través de la membrana.
Chiang et al. (1989) (in vivo) (human whole body)		AM	Las personas que vivían y trabajaban cerca de antenas de radio AM e instalaciones de radar mostraron déficits en las pruebas psicológicas y de memoria a corto plazo.
de Pomerai et al. (2003) (in vitro)	1 GHz		Daños en las proteínas.

Referencia	Frecuencia	Fuente	Efectos reportados
D'Inzeo et al. (1988) (in vitro)	10.75 GHz	CW	Operación de los canales iónicos relacionados con la acetilcolina en las células. Estos canales juegan papeles importantes en las funciones fisiológicas y conductuales.
Dutta et al. (1984) (in vitro)	915 MHz	Onda AM sinusoidal en 16 Hz	Aumento del flujo de calcio en las células cancerosas del cerebro.
Fesenko et al. (1999) (in vivo) (mouse- wavelength in mm range)	8.15-18 GHz		Cambio en las funciones inmunológicas.
Forgacs et al. (2006) (in vivo) (mouse whole body)	1800 MHz	GSM	Incremento de la testosterona sérica
Guler et al. (2010) (In vivo) (rabbit whole body)	1800 MHz	AM	Daño oxidativo de lípidos y ADN en el cerebro de conejos hembras preñadas.
Hjollund et al. (1997) (in vivo) (human partial or whole body)	Radares militares		El conteo de esperma del personal militar danés, que operaba unidades móviles de misiles tierra-aire que utilizan varios sistemas de radar emisor de RFR, fue significativamente menor en comparación con las referencias.
Ivaschuk et al. (1997) (in vitro)	836.55 MHz	TDMA	Gen relacionado con el cáncer.
Jech et al. (2001) (in vivo) (human partial body exposure- narcoleptic patients)	900 MHz	GSM	Funciones cognitivas mejoradas.

Referencia	Frecuencia	Fuente	Efectos reportados
Kesari and Behari (2009) (in vivo) (rat whole body)	50 GHz		Roturas de ADN de doble cadena observadas en las células cerebrales.
Kesari and Behari (2010) (in vivo) (rat whole body)	50 GHz y 2450 MHz		Respectivamente: efectos sobre el sistema reproductivo de ratas macho y roturas de ADN de doble cadena observadas en las células cerebrales.
Kwee et al. (2001) (in vitro)	960 MHz	GSM	Aumento de la proteína del estrés en células de amnios epiteliales humanas.
Lebedeva et al. (2000) (in vivo) (human partial body)	902.4 MHz	GSM	Onda cerebral de activación.
Lerchl et al. (2008) (in vivo) (hamster whole body)	383 MHz 900 y 1800 MHz	TETRA GMS	Cambios metabólicos.
Magras and Xenos (1997) (in vivo) (mouse whole body)		TV y FM	Disminución en la función reproductiva.
Mann et al. (1998) (in vivo) (human whole body)	900 MHz	GSM	Aumento transitorio en el cortisol de la sangre.
Marinelli et al. (2004) (in vitro)	900 MHz	CW	Respuestas de autodefensa de la célula desencadenadas por el daño del ADN.
Markova` et al. (2005) (in vitro)	915 y 905 MHz	GSM	Conformación de cromatina en glóbulos blancos humanos.

Referencia	Frecuencia	Fuente	Efectos reportados
Navakatikian and Tomashevs-kaya (1994) (in vivo) (rat whole body)	2450 MHz - 3000 MHz	CW	Cambios de comportamiento y endocrinos, y disminuciones en las concentraciones sanguíneas de testosterona e insulina.
Nittby et al. (2008) (in vivo) (rat whole body)	900 MHz	GSM	Reducción en funciones de la memoria.
Novoselova et al. (2004) (in vivo) (mouse whole body - wavelength in mm range)	8.15-18 GHz		Funciones del sistema inmunológico. Disminución de la tasa de crecimiento tumoral y mejora de la supervivencia.
Panagopoulos et al. (2010) (in vivo) (fly whole body)	900 and 1800 MHz	GSM	Capacidad reproductiva y muerte celular inducida. Efecto "ventana" de la radiación GSM sobre la capacidad reproductiva y la muerte celular. La capacidad reproductiva de la mosca disminuyó linealmente con el aumento de la duración de la exposición.
Pavicic and Trosic (2008) (in vitro)	864 and 935 MHz	CW	Crecimiento afectado en células V79 de hámster chino.
Perez-Castejón et al. (2009) (in vitro)	9.6 GHz	90 % AM	Aumento de la tasa de proliferación en células de cáncer de astrocitoma humano.
Persson et al. (1997) (in vivo) (mouse whole body)	915 MHz	CW	Aumento de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica.
Phillips et al. (1998) (in vitro)	813.5625 MHz 836.55 MHz	iDEN TDMA	Daño en el ADN de las células leucémicas humanas.

Referencia	Frecuencia	Fuente	Efectos reportados
Pologea-Moraru et al. (2002) (in vitro)	2.45 GHz		Cambio en la membrana de las células en la retina.
Pyrpasopoulou et al. (2004) (in vivo) (rat whole body)	9.4 GHz	GSM	La exposición durante la gestación temprana afectó el desarrollo renal.
Roux et al. (2008) (in vivo) (tomato whole body)	900 MHz		Expresión genética y metabolismo energético.
Salford et al. (2003) (in vivo) (rat whole body)	915 MHz	GSM	Daño de las células nerviosas en el cerebro.
Schwartz et al. (1990) (in vitro)	240MHz	CW	Movimiento de calcio en el corazón.
Schwarz et al. (2008) (in vitro)	1950 MHz	UMTS	Genes en fibroblastos humanos.
Somosy et al. (1991) (in vitro)	2.45 GHz	CW	Cambios moleculares y estructurales en células de embriones de ratón.
Stagg et al. (1997) (in vitro)	836.55 MHz	TDMA	Las células de glioma mostraron aumentos significativos en la incorporación de timidina, lo que puede ser una indicación de un aumento en la división celular.
Stankiewicz et al. (2006) (in vitro)	900 MHz	GSM	Actividades inmunes de los glóbulos blancos humanos.
Tattersall et al. (2001) (in vitro)	700 MHz	CW	Función del hipocampo.
Velizarov et al. (1999) (in vitro)	960 MHz	GSM	Disminución de la proliferación de células de amnios epiteliales humanas.

Referencia	Frecuencia	Fuente	Efectos reportados
Veyret et al. (1991) (in vivo) (mouse whole body)	9.4 GHz		Funciones del sistema inmune.
Vian et al. (2006) (in vivo) plant	900 MHz		Expresión genética del estrés.
Wolke et al. (1996) (in vitro)	900, 1300, 1800 MHz	CW	Concentración de calcio en las células del músculo cardíaco de cobaya.
Yurekli et al. (2006) (in vivo) (rat whole body)	945 MHz	GSM	Química de los radicales libres.

Fuente: [12]

Dada la relación que existe entre los efectos y la distancia que hay entre la fuente y la víctima, en el año 2011 Dode et al. [13] presentaron un estudio de correlación espacio temporal, que relaciona las BTS y los casos de muertes por neoplasia en el municipio de Belo Horizonte, en el estado Minas Gerais de Brasil. Para ello, los autores realizaron un análisis de datos de un periodo de 10 años, desde 1996 a 2006, y concluyeron que las tasas de mortalidad y el riesgo relativo fueron mayores para los residentes dentro de un radio de 500 m de la estación base, en comparación con la tasa de mortalidad promedio de toda la ciudad. En relación con estudios que analizan datos obtenidos en una amplia ventana de tiempo, se encuentra el estudio Cosmos, que comenzó en 2010 y planea cubrir una línea de tiempo de 20 a 30 años, para investigar los riesgos de la exposición a largo tiempo [14].

Otros efectos asociados a la distancia son las reacciones psicológicas y psicobiológicas, que fueron documentadas por Shahbazi-Gahrouei et al. [15], quienes afirman que algunas de estas reacciones de las personas que viven cerca de BTS se ven afectadas por los campos emitidos por las estaciones, pero indican que los resultados deben ser confirmados con series de datos y lugares más grandes. Además, indican que las personas que viven a distancias de 200 m a 300 m de las BTS pueden experimentar afectaciones en su salud. En relación con síntomas como náuseas, pérdida de apetito, y trastornos visuales, no se experimentan de manera significativa más allá de los 10 m. Por otro lado, se ha evidenciado una relación entre las estaciones de telefonía móvil y los diagnósticos de ansiedad y depresión en personas que viven a una distancia de entre 100 m y 200 m de las estaciones. Las personas que viven en un radio de 300 m alrededor de las BTS pueden experimentar: irritabilidad, depresión, pérdida de memoria, mareos, disminución de la libido, dolor de cabeza, trastornos del sueño, malestar (200m) y cansancio (300m). Y si las personas permanecen en su hogar de 16,1 a 24 horas al día, puede encontrarse una asociación con el decrecimiento de la libido, según lo exponen da Silva et al. [16].

El riesgo asociado con la distancia no debe ser solo considerado con respecto a las estaciones de telefonía móvil. También se debe tener en cuenta, por ejemplo, que estudios como el de Morgan [17] indican que las personas usan sus equipos móviles muy cerca del cuerpo, ignorando que los límites de exposición son medidos a 20 cm de los dispositivos.

Existe otra manera como las ondas de RF pueden generar efectos biológicos, reportada por Havas [18]. El autor parte de la afirmación, muy conocida por quienes estudian la RNI, según la cual: "La radiación no ionizante no tiene suficiente energía para desalojar electrones y, por lo tanto, no puede causar cáncer". Luego, el autor indica: "Esta afirmación consta de dos partes. La primera parte (la radiación no ionizante no tiene suficiente energía para desalojar electrones) se basa en la energía de los fotones y las fuerzas electromagnéticas. La segunda parte (y, por lo tanto, no puede causar cáncer) es una conclusión basada en el supuesto de que la radiación puede causar cáncer solo al desalojar los electrones y romper los enlaces químicos. Esta suposición es errónea". La manera documentada es llamada estrés oxidativo, el cual puede ser inducido por las ondas de RF en los sistemas biológicos. Por otro lado, la RNI a niveles muy por debajo de las directrices térmicas puede causar daño celular. Asimismo, existen mecanismos que involucran estrés oxidativo y pueden explicar el aumento de tumores documentados en estudios epidemiológicos tanto en exposición electromagnética de baja frecuencia como de radiofrecuencia.

Los posibles efectos han sido investigados también con estudios *in vivo* e *in vitro*. Yang et al. [19] expusieron tres grupos de células del tipo NIH/3T3 a señales de 916 MHz, con intensidades de 10, 50 y 90 W W/m², respectivamente. Las células expuestas tuvieron una transformación maligna e inducción de cáncer. Kuzniar et al. [20] estudiaron células de mamíferos, aplicando análisis bioinformáticos de datos de espectrometría de masas semicuantitativa, cuyos resultados no respaldan la noción de que las exposiciones, a corto plazo, a los CEM asociados a las RNI tienen una influencia biológica significativa en las células de mamíferos en cultivo. Vornoli et al. [21] realizaron una revisión de estudios, *in vivo*, sobre la carcinogenicidad y la toxicidad reproductiva, con el objetivo de resumir la contribución de investigaciones experimentales para la prevención de los efectos adversos de la RNI en la salud humana. Dicha revisión sugiere que las agencias reguladoras y de salud deben promover un enfoque preventivo, especialmente para niños y mujeres embarazadas. También advierte sobre la precaución que debe tener el desarrollo y la difusión de la tecnología 5G,

particularmente a la luz de las frecuencias e intensidades más altas de la señal. Por ello, los estudios a largo plazo son necesarios para verificar los posibles efectos sobre la salud de dicha tecnología.

Morgan et al. [17], considerando la existencia de riesgos significativos de cáncer asociados con la exposición a campos de RF, han propuesto que la clasificación de dichos campos debiera cambiar de 2B a 2A, es decir, de posible a probable carcinógeno. Esto implicaría una revisión de la normatividad y los estándares, y considerar no solo los efectos térmicos (los cuales parecen ser el problema), tal como lo hacen los estándares vigentes, sino también los efectos no térmicos, lo cual expone Havas [18].

En cuanto a la revisión de la normativa y los estándares, el grupo de trabajo de BioInitiative¹ [22] propone una densidad de potencia como referencia en un valor de 30-60 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ para los posibles riesgos para la salud, y considerando también la exposición crónica y la sensibilidad de los niños, el nivel de precaución lo proponen en una décima parte de este, es decir, 3-6 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, o sea, propone disminuir los límites actuales existentes en las normas.

Los estudios mencionados hasta aquí explican los posibles riesgos, pero existen otros trabajos que afirman que no hay criterios unificados acerca de los riesgos y efectos de la RNI y que, por tanto, es prudente apelar a la cautela y tener un conjunto de normas que protejan al sector laboral y al público [9]. Kim et al. [23] afirman que una línea de evidencia epidemiológica sugiere que no existe una asociación concreta entre la radiación de los teléfonos móviles y el cáncer. Por lo tanto, no se han obtenido respuestas definitivas para apoyar o negar firmemente que la energía de RF puede causar cáncer de animales o humanos.

En síntesis, la revisión bibliográfica presentada permite identificar dos posturas frente a los efectos de la RNI, específicamente, la que es emitida por fuentes asociadas con telecomunicaciones. Una de las posturas es que los estudios realizados no cuentan con la capacidad, desde su diseño experimental, para asociar la exposición a RNI con efectos biológicos [20], [23]. Mientras, en la segunda postura varios autores [12], [13], [15]–[19] asocian la RNI con efectos biológicos.

¹BioInitiative es un informe independiente realizado por 29 investigadores y expertos en el área de la salud de 10 países, sobre los posibles riesgos de las tecnologías inalámbricas y los campos electromagnéticos.

Asimismo, es importante resaltar dos puntos que esta revisión de la literatura permitió vislumbrar. Primero, los efectos térmicos no han sido considerados por las normativas vigentes, tal como lo sostiene Pearce [24]. Y segundo, la RNI puede causar efectos biológicos al generar estrés oxidativo en las células [18], lo cual es muy importante, ya que rompe el paradigma que afirma que la RNI no tiene la suficiente energía para realizar modificaciones moleculares.

Finalmente, la revisión presentada permite definir las siguientes palabras clave que serán de utilidad para realizar una bibliometría del tema: health; radiation; electromagnetic; mobile phone, mobile phones; base station, base stations.

Análisis bibliométrico

El análisis de literatura se puede realizar desde varios enfoques definidos, dentro de los que se encuentran: revisión de literatura, revisión tradicional, revisión sistemática y análisis bibliométrico.

La revisión de la literatura permite lograr la síntesis y el análisis de la información recuperada, con enfoque en los hallazgos y no simplemente en citas bibliográficas, lo cual permite resumir la esencia de la literatura y sacar conclusiones de la misma [25]. Por otra parte, la revisión tradicional de literatura adopta un enfoque crítico, que permite definir teorías o hipótesis a partir del examen de los métodos y los resultados de estudios primarios individuales [26]. Finalmente, la revisión sistemática de literatura es un análisis con un propósito claro, una pregunta, un enfoque de búsqueda definido, e implica establecer criterios de inclusión y producir una evaluación cualitativa de los artículos [26].

Por otra parte, la bibliometría es un método que incluye el análisis estadístico de artículos publicados y de citas para medir su impacto. De esta forma, el análisis bibliométrico revela los artículos fundamentales e ilustra objetivamente los vínculos entre los artículos sobre un determinado tema o campo de investigación, y esto implica analizar las veces que han sido citados conjuntamente con otros artículos publicados [27].

Metodológicamente, para el desarrollo del presente análisis bibliométrico, se han planteado las siguientes fases adaptadas de [28]:

- a. Definición del objetivo de la investigación: en esta fase se plantea la pregunta y lo que se espera obtener con la búsqueda.
- b. Diseño de la investigación: se define el tipo de datos que se van a utilizar y el enfoque de manejo de estos.
- c. Determinación de la cortina de datos bibliométricos: se establece la manera como se realiza la búsqueda (ya sea a partir de revistas o de palabras clave, o por medio de búsqueda de documentos), luego se define cuál o cuáles revistas o palabras clave se usarán. Posteriormente, se determina la base de datos que se utilizará y, finalmente, el filtrado de los datos (criterios de inclusión o exclusión).
- d. Escogencia de la estrategia de desarrollo y el software a utilizarse. La finalidad es definir el enfoque de análisis bibliométrico (citaciones, cocitaciones, coautorías, entre otros), el software apropiado para el método escogido y la visualización de los resultados que se buscan.
- e. Realización de análisis y obtención de resultados, tales como: artículos más citados, instituciones influyentes, revistas influyentes, tópicos emergentes, develamiento de estructuras intelectuales de un dominio de investigación, análisis de clusters (grupos), escalas multidimensionales (MDS), análisis de factores, y análisis de redes, entre otros.
- f. Interpretación de hallazgos.

En la bibliometría que se presenta aquí no se realizará análisis de contenido, dado que su enfoque es la revisión del estado del arte en el campo estudiado.

En las siguientes subsecciones se desarrolla la metodología determinada paso a paso.

Objeto de la investigación

A partir del análisis bibliométrico se plantea responder varias preguntas: ¿hace cuánto tiempo se preocupa la comunidad científica por los efectos en la salud de la radiación emitida por antenas de comunicación móvil y dispositivos?, ¿qué autores son los pioneros

en este campo y qué trabajos internacionales son los más influyentes?, ¿cuáles instituciones internacionales se han interesado por el tema?, y ¿cuáles son los principales hallazgos de las investigaciones?, entre otras. De esta forma se podrán definir aspectos importantes para la investigación, tales como las relaciones entre los autores y los temas de investigación, así como los enfoques de la ciencia.

Diseño de la investigación

Para la presente investigación, en la bibliometría se desarrolla el análisis de citas a partir de datos obtenidos de la base de datos Web of Science (WoS) de la empresa Clarivate Analytics, que es una de las más importantes bases de datos bibliográficas con más de 36 millones de registros. Con ello, se proporciona una búsqueda exhaustiva de citas [29], y se da acceso a múltiples bases de datos que hacen referencia a la investigación interdisciplinaria, lo que permite una exploración profunda de subcampos especializados dentro de una disciplina académica o científica. El enfoque bibliométrico se desarrolla en visualización y contexto, interpretando datos gráficos y numéricos descritos por los aspectos más relevantes concernientes a la investigación desarrollada en el libro.

Obtención de los datos

Para obtener los registros bibliográficos de la base de datos WoS, se ha diseñado una ecuación de búsqueda enfocada en las siguientes palabras clave, que fueron determinadas a partir de la revisión bibliográfica desarrollada en la primera parte de este capítulo: health; radiation; electromagnetic; mobile phone, mobile phones; base station, base stations.

A partir de la búsqueda con estas palabras y filtrando los resultados solo para literatura publicada, como es el caso de los artículos (ya que en la base se pueden encontrar pósteres, eventos y otro tipo de publicaciones indexadas), se hace un análisis exploratorio que permite definir otras posibles palabras clave que se deban utilizar en la búsqueda. Los resultados del análisis exploratorio se ilustran en la figura 2, donde se ha usado la ecuación de búsqueda "health" AND "radiation" AND "electromagnetic" AND ("mobile phone" OR "base station").

Luego del análisis exploratorio, se encuentran otras palabras clave importantes o combinaciones de estas que deben ser tenidas en cuenta. Por ejemplo, en la búsqueda se ha incluido "mobile phone", pero no el plural "mobile phones", por lo que se usará el comodín "mobile phone\$", lo mismo pasa con "base station". Por otra parte, en la búsqueda se ha incluido "radiation", pero según las palabras clave encontradas es importante tener en cuenta las diferentes variantes, tales como, "electromagnetic radiation", "radiofrequency radiation", por lo que se puede usar la palabra con comodín "radiation", y se agrega también la palabra "exposure", por ser importante en el análisis exploratorio y permitir acotar el espacio de discusión. A partir de las modificaciones, la ecuación de búsqueda queda de la siguiente manera: "health *" AND ("* radiation") AND "electromagnetic" AND ("mobile phone\$" OR "base station\$") AND "exposure", que luego de refinar para documentos tipo "article", arroja un total de 306 registros de la colección principal de WoS desde el año 2001 hasta el año 2020.

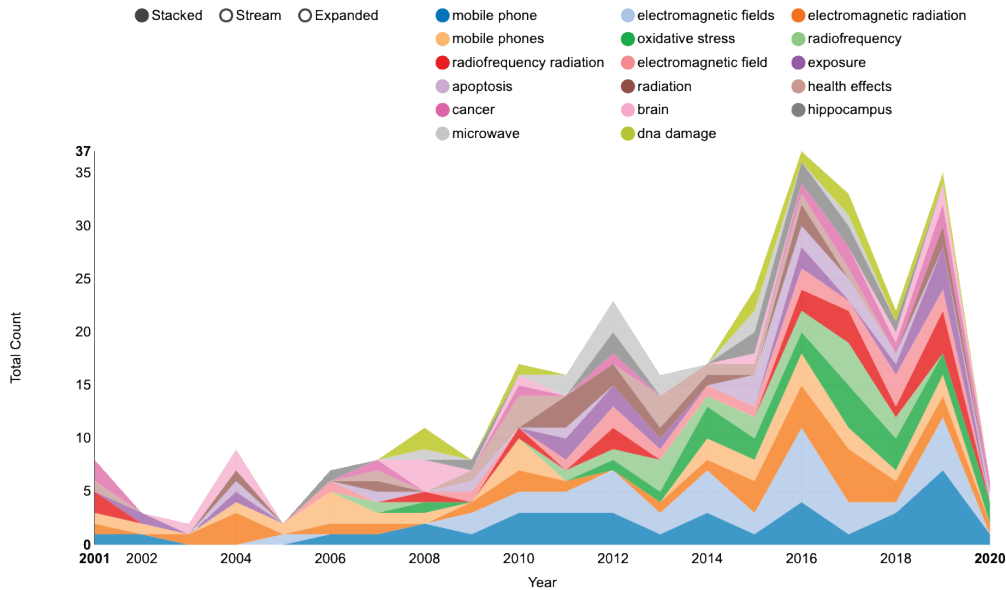


Figura 2. Análisis exploratorio de la búsqueda en WoS generado con la herramienta [https:// bibliometric.com/](https://bibliometric.com/)
Fuente: elaboración propia.

Estrategia de desarrollo y software

El enfoque de análisis se ha definido desde las citas, las cocitas y las autorías, tratando con menos profundidad, aunque sin excluir, los campos de estudio y las instituciones asociadas. Para el enfoque descrito se utiliza el software R con la herramienta Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis [28], en su base web Biblioshiny, que permite tanto el análisis primario como el análisis gráfico. Se alternará con algunos resultados de otros paquetes de software de uso libre para algunos resultados alternos y comparaciones que serán referenciados más adelante.

Resultados y análisis

Medidas de colaboración

Se considera que la colaboración entre investigadores tiene efectos positivos sobre la producción científica, porque mejora la calidad de la producción tanto cualitativa como cuantitativamente y permite la transdisciplinariedad de las ciencias.

Las medidas de colaboración permiten analizar los índices de colaboración entre autores y el tamaño promedio de los grupos de investigación.

En la base analizada en este libro se reconocen las medidas de colaboración (tabla 2).

Tabla 2. Medidas de colaboración de la base de datos analizada

Medida	Resultado
Documentos por autor	0,231
Autores por documento	4,33
Coautorías por documento	5,36
Índice de colaboración	4,6
Documentos con un solo autor	23

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la tabla 2 permiten inferir que la mayoría de las publicaciones científicas de artículos relacionados con el tema tienen un índice de colaboración importante [30] e implican que el equipo de investigación promedio está entre 4 y 5 autores.

Producción científica anual

La tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR por sus siglas en inglés) es un término específico en negocios para la relación de progresión geométrica que proporciona una tasa constante (en este caso, de la producción científica a lo largo del período de tiempo).

A continuación (figura 3) se muestran los puntos de crecimiento importantes en 2010, 2012 y 2017. Esta información permitiría realizar un análisis enfocado en esos años para determinar cuáles fueron las razones del crecimiento en la producción científica en dicho periodo.

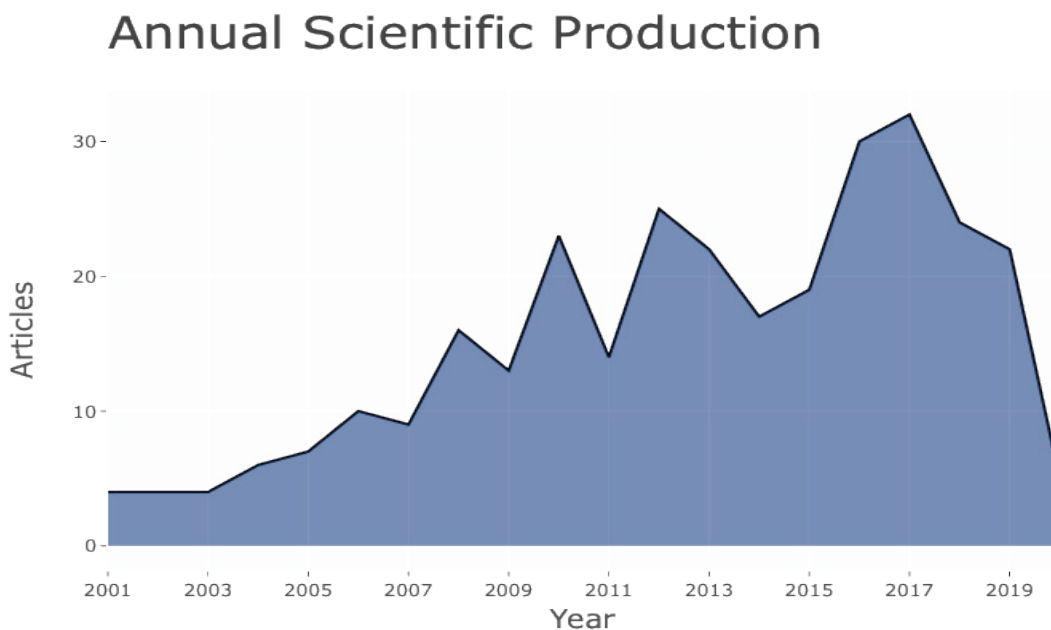


Figura 3. Producción científica anual
Fuente: elaboración propia

Gráfico de tres campos

Los gráficos de tres campos o Sankey diagrams [31] son usados tradicionalmente para visualizar el flujo de energía o materiales entre varias redes o procesos. Permiten ilustrar información cuantitativa sobre flujos, sus interacciones y sus transformaciones. En bibliometría permiten analizar las interacciones entre los diferentes campos bibliométricos que se pueden encontrar en una base de datos determinada. En la figura 4 se presenta un diagrama Sankey donde se han representado los valores "autor", "palabra clave" y "fuente" en ese orden de izquierda a derecha, y se han ordenado cuantitativamente de forma descendente.

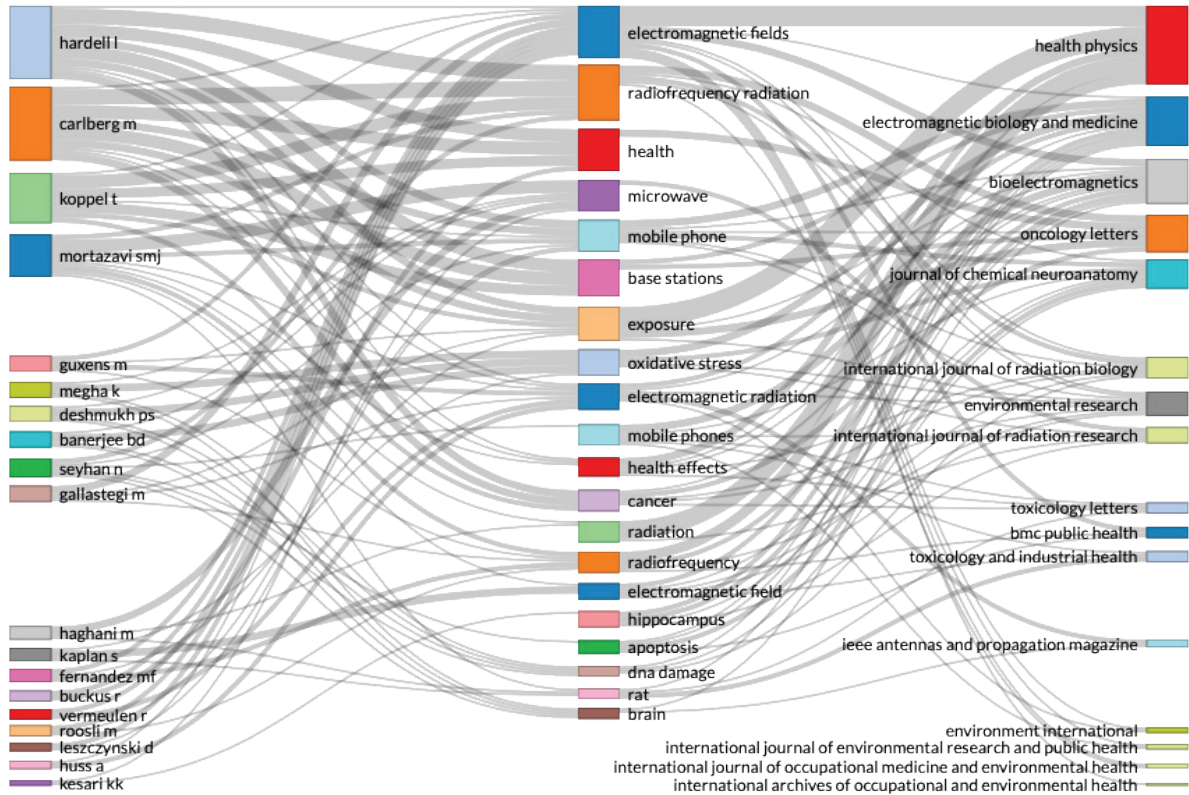


Figura 4. Gráfico Sankey o de tres campos

Fuente: elaboración propia

La forma como se ha organizado el anterior diagrama permite identificar los principales autores, las palabras clave más usadas y las revistas más sobresalientes en el tema desarrollado. Sin embargo, existen muchas formas de organizar un diagrama Sankey con tres campos, y puesto que en la base de datos consultada hay 10 campos independientes, se pueden realizar más de 700 diagramas diferentes desde 1 ítem hasta 50 en cada columna según sean las necesidades. Otra ventaja que se puede encontrar en el software utilizado es

la posibilidad de ordenar, según los requerimientos, los datos de cada columna. En el caso analizado se encuentra que los autores más relevantes en cantidad de documentos, para el área de estudio analizada, son Lennart Hardell, Michael Carlberg, Tarmo Koppel y SMJ Mortazavi, varios de ellos con documentos conjuntos.

En la figura 5 se ha realizado un diagrama con otros campos. En este caso se han graficado países, palabras clave y fuentes, con 10 ítems cada columna, lo cual permite hacer una aproximación a la estructura social del conocimiento, que será abordada más adelante en esta sección. En la gráfica se puede observar que los resultados no se han ordenado de forma ascendente o descendente, sino que se ha permitido que el software lo organice de forma automática para darle una mejor visualización de las conexiones. Sin embargo, el software permite seleccionar uno de los ítems y resaltar sus conexiones con el nivel anterior y el posterior, como se observa con el caso de Turquía, que se puede ver como el país con la mayor producción de documentos en la base de datos analizada, a partir de lo cual se podrán analizar otros datos importantes más adelante.

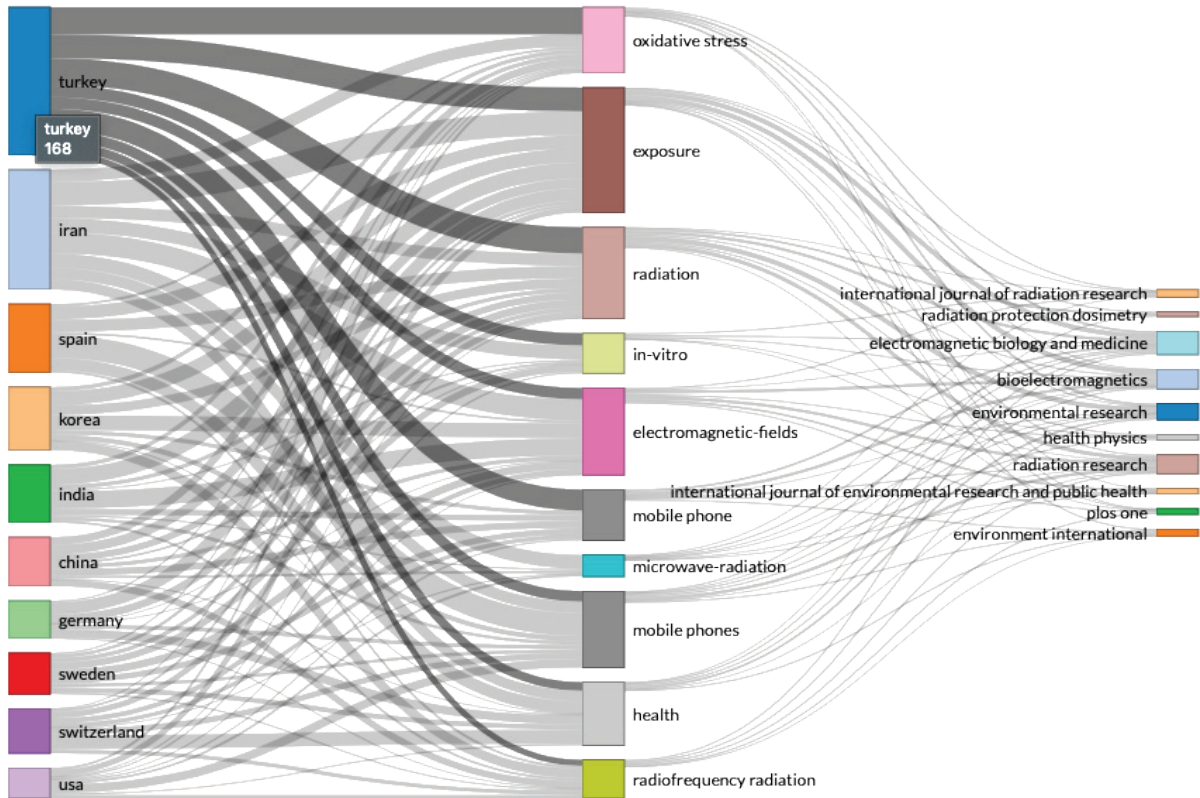


Figura 5. Diagrama de tres campos con los niveles de países, palabras clave y fuentes
Fuente: elaboración propia

Relevancia de las fuentes

Una fuente es una revista, libro, memoria, etc., que publica uno o más de los documentos incluidos en la base de datos o colección bibliográfica. La colección con la que se trabaja en este documento tiene un total de 165 fuentes que han sido filtradas como solo revistas a partir de la metodología, debido a que las revistas garantizan un proceso de pares evaluadores que se enfoca en la calidad y la idoneidad de los documentos publicados. La gráfica de las fuentes permite verlas en orden de relevancia por cantidad de documentos publicados. Los datos también pueden ser observados en formato tabulado (tabla 3).

Tabla 3. Relación de las fuentes más influyentes en el área estudiada

Fuente o revista	Artículos
Electromagnetic Biology And Medicine	16
Environmental Research	14
Bioelectromagnetics	13
Radiation Research	12
Health Physics	10
Environment International	8
Radiation Protection Dosimetry	7
International Journal Of Radiation Research	6
Plos One	6
International Journal Of Environmental Research And Public Health	5
International Journal Of Radiation Biology	5
Bmc Public Health	4
Ieee Antennas And Propagation Magazine	4
Journal Of Chemical Neuroanatomy	4
Toxicology And Industrial Health	4
Toxicology Letters	4
International Archives Of Occupational And Environmental Health	3
International Journal Of Occupational Medicine And Environmental Health	3
Journal Of Radiation Research	3
Oncology Letters	3

Fuente: elaboración propia

Most Relevant Sources

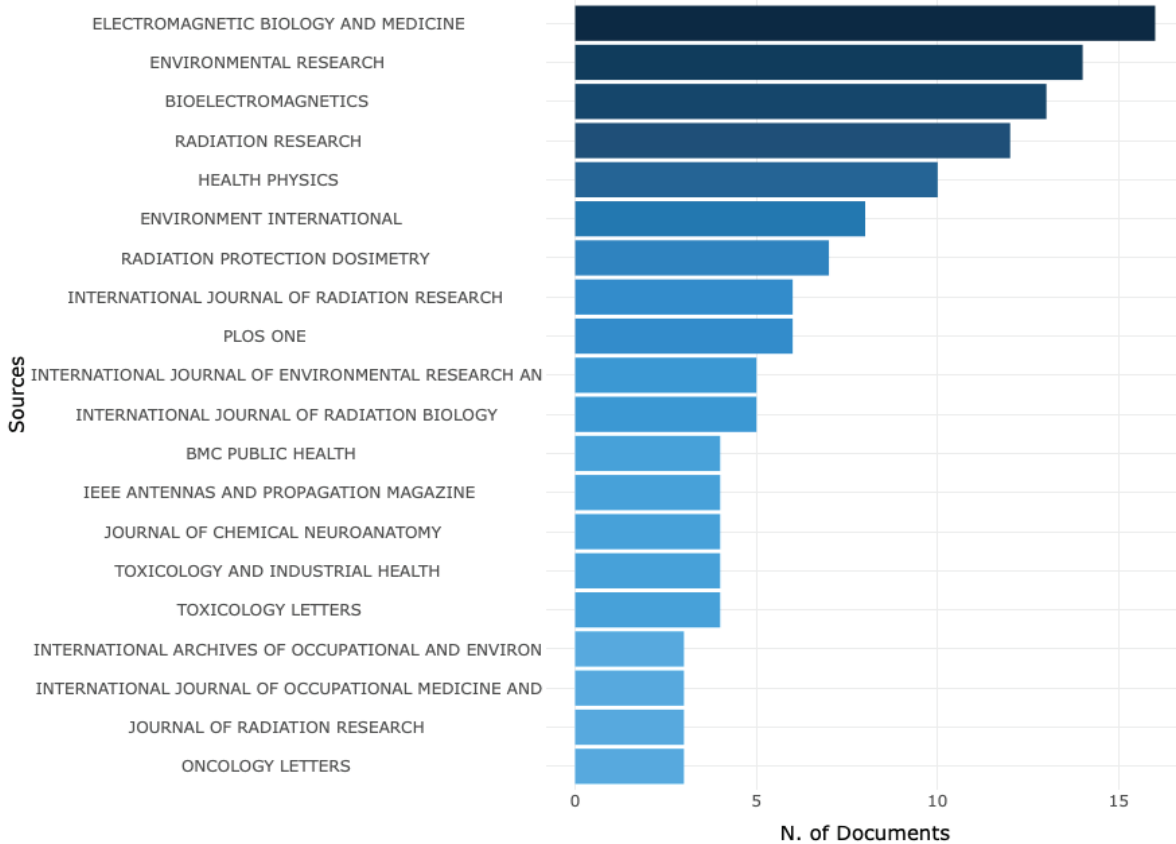


Figura 6. Revistas más relevantes en el campo de estudio
Fuente: elaboración propia.

Leyes bibliométricas

Las leyes bibliométricas son variantes algebraicas o expresiones distintas de un mismo fenómeno desde diferentes puntos de vista. Se agrupan en dos grandes categorías: las que relacionan la literatura científica como la ley de Bradford, y las que relacionan a los autores de las publicaciones como la ley de Lotka o las leyes de Price.

La ley de Bradford establece que, si las revistas están dispuestas en orden descendente del número de artículos sobre el tema, las zonas sucesivas de las publicaciones periódicas que contienen el mismo número de artículos del tema forman una serie geométrica simple. Bradford llamó a la primera zona el núcleo de las revistas particularmente dedicadas al tema tratado.

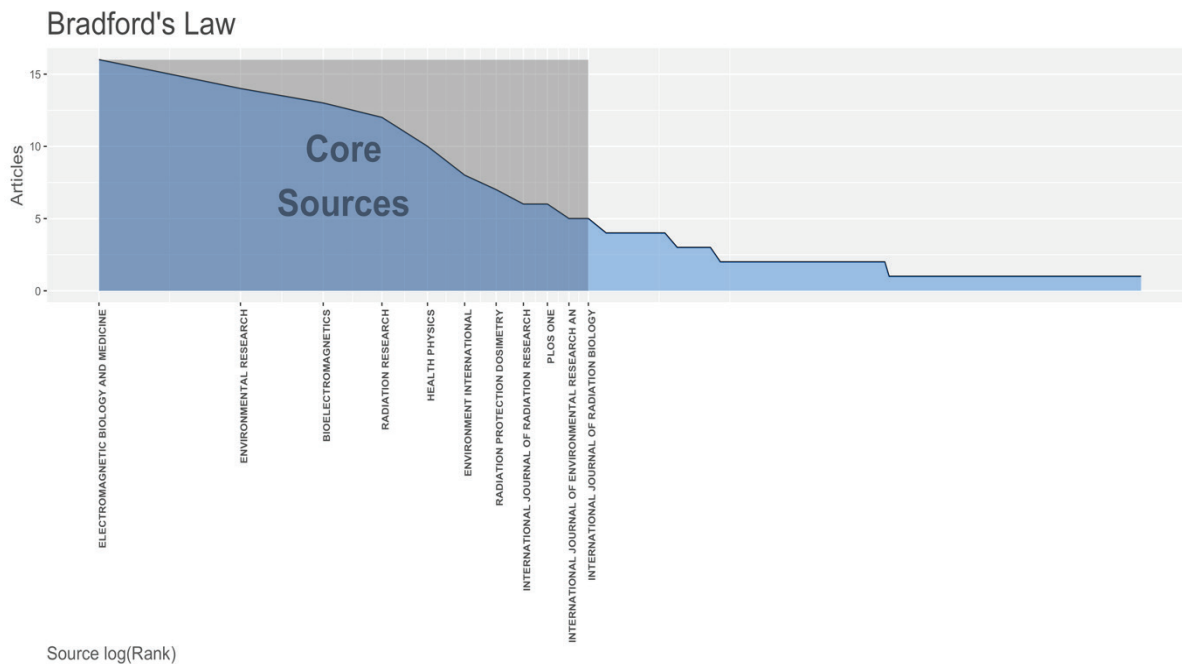


Figura 7. Representación gráfica de la ley de Bradford
Fuente: elaboración propia.

En la figura 7 se pueden apreciar 11 revistas, de un total de 165, que publican alrededor de la tercera parte (33 %) de los artículos publicados en el tema que aborda este libro, sumando 102 artículos, que corresponden al núcleo según la ley de Bradford. 54 revistas (casi 5 veces más que el núcleo) publican el 34 % (104 artículos) y las otras 100 (casi 10 veces más que el núcleo) publican el restante 33 % (100 artículos).

A partir de los datos anteriores se pueden calcular algunos índices de impacto de las revistas, como el índice H (el cual se analizará más adelante), que para la fuente principal del núcleo (core) es de 11, igual que para el cuarto puesto del núcleo Radiation Research, por lo cual es la cabeza de esta medida. Como se puede observar, el estar a la cabeza del núcleo no implica tener el mejor índice de impacto, ya que este último se mide con la cantidad de citas de la revista, lo cual se revisó también por medio del análisis de las fuentes más relevantes por cantidad de artículos.

La ley de Bradford puede ser usada para identificar revistas en una disciplina y para, eventualmente, enfocar la revisión en los documentos del núcleo, pudiendo realizar un análisis más profundo desde el punto de vista bibliométrico. También es importante para apoyar el desarrollo de artículos de revisión de tema.

Crecimiento de la fuente

El gráfico de crecimiento de la fuente permite analizar y comparar cuantitativamente el comportamiento de la revista en una ventana de tiempo.

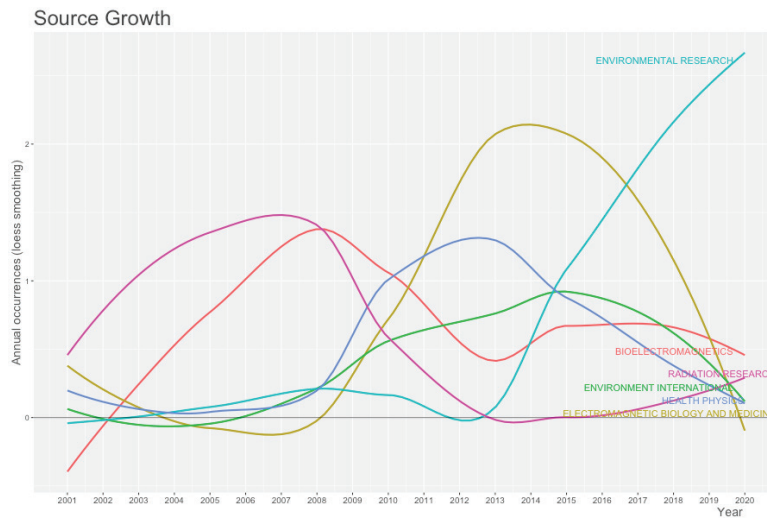


Figura 8. Crecimiento de las fuentes bibliográficas
Fuente: elaboración propia.

En la figura 8 se puede observar que la principal revista del núcleo ha caído en producción en los últimos años, mientras que la segunda ha aumentado, por lo que podría ser una candidata importante para ser la cabeza en la ley de Bradford en años siguientes. Sin embargo, es probable que su impacto no se vea directamente relacionado con este crecimiento debido a que su índice H está por debajo de la mitad de los dos principales. Otro factor a tener en cuenta es el crecimiento acumulado que puede variar de forma importante en los resultados que se identifican en las gráficas de crecimiento. Además es importante analizar la frecuencia de publicación de cada fuente. Finalmente, se debe tener en cuenta que las bases de datos tienen un tiempo muerto entre el momento en que se publica y el momento en que se incluye la referencia en la base, que, dependiendo de la cantidad de números que una fuente saque al año, puede ser de hasta un año.

Impacto de la fuente

La relevancia de las fuentes de publicaciones como las revistas o las editoriales, o de los autores, se mide a partir del índice Hirsch, índice H o H-index [32]. El índice H mide la relevancia a partir de la cantidad de documentos y de sus citas, es decir, un investigador o revista tiene un índice H si H de sus N publicaciones tiene al menos H citas cada una. Las desventajas de este índice radican en que no sirve para comparar investigadores de diferentes disciplinas, no discrimina la calidad de las revistas y perjudica a autores con poca producción bibliográfica, aunque sus artículos sean muy relevantes y citados. Dentro de las ventajas del índice, se destaca, como principal, su simplicidad de cálculo y que tiene en cuenta no solo la cantidad de documentos. En la figura 9 se ilustra el impacto de las principales fuentes, medido con el índice H.

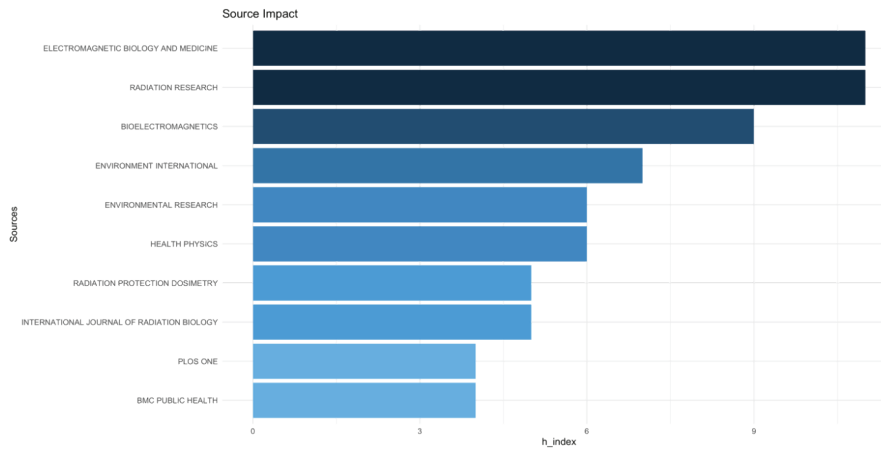


Figura 9. Impacto de las principales fuentes medido por el índice H
Fuente: elaboración propia.

Otros índices, frecuentemente usados para medir el impacto de las fuentes o de los autores, son: el índice m o m-index que se define como H/n , donde H es el índice H y n es la cantidad de años desde la primera publicación del autor o la revista; y el índice g o g-index [33] introducido como una mejora del índice H, ya que mide el rendimiento global de la citación de una serie de artículos. En la tabla 4 se resumen los resultados de las 10 fuentes más importantes con los tres índices definidos:

Tabla 4. Principales fuentes por índice, ordenada en forma descendente por índice g

Fuente	Índice			TC	NP	Año inicio
	H	g	m			
Electromagnetic Biology And Medicine	11	16	0,6111	338	16	2003
Environmental Research	6	14	0,5000	216	14	2009
Bioelectromagnetics	9	13	0,6000	234	13	2006
Radiation Research	11	12	0,5500	345	12	2001
Health Physics	6	10	0,3529	126	10	2004
Environment International	7	8	0,6364	259	8	2010
Radiation Protection Dosimetry	5	7	0,3846	110	7	2008
International Journal Of Radiation Research	3	4	0,3750	23	6	2013
Plos One	4	6	0,3333	270	6	2009

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se demuestra que no hay consistencia entre los tres índices, la cual se encuentra ordenada de forma descendente por índice-g.

Datos de los autores

Una de las herramientas más importantes en el análisis bibliométrico es la correspondiente a los autores. Con esta se puede: determinar cuáles son los autores más relevantes, analizar algunas leyes bibliométricas que afectan a los autores, analizar el impacto, relacionar a los autores con las instituciones que representan, y hacer análisis de producción por países.

En la figura 10 se presentan los autores más relevantes por número de documentos publicados.

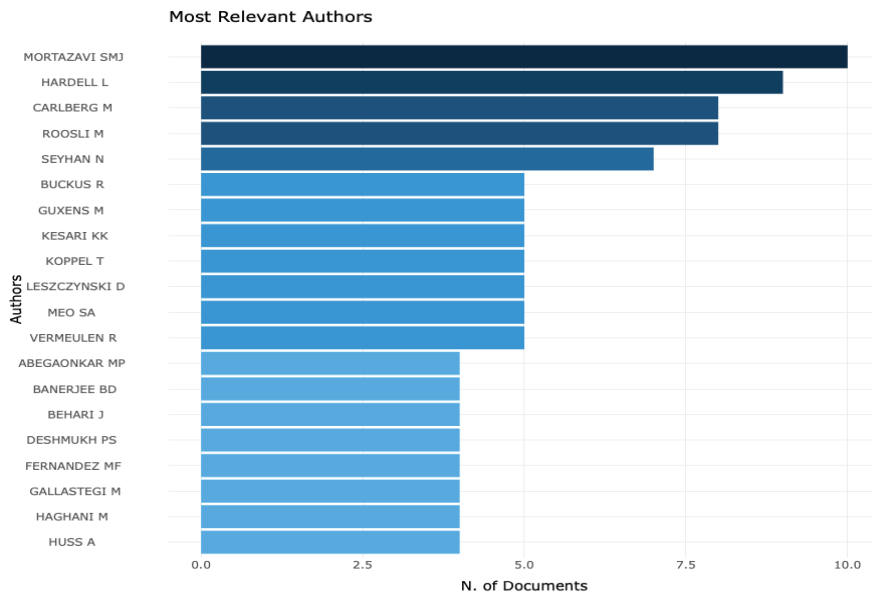


Figura 10. Relevancia de los autores según la cantidad de documentos publicados
Fuente: elaboración propia.

La figura 11 muestra la producción de los autores cada año, y la línea de trabajo más larga, que pertenece al autor Sultan Ayoub Meo. El tamaño de los globos representa la cantidad de artículos publicados cada año, y la intensidad de su color representa la cantidad de citas que ha recibido el documento, donde se puede observar que las mayores citas las tienen los documentos de Lennart Hardell [34] y de Dariusz Leszczynski [35].

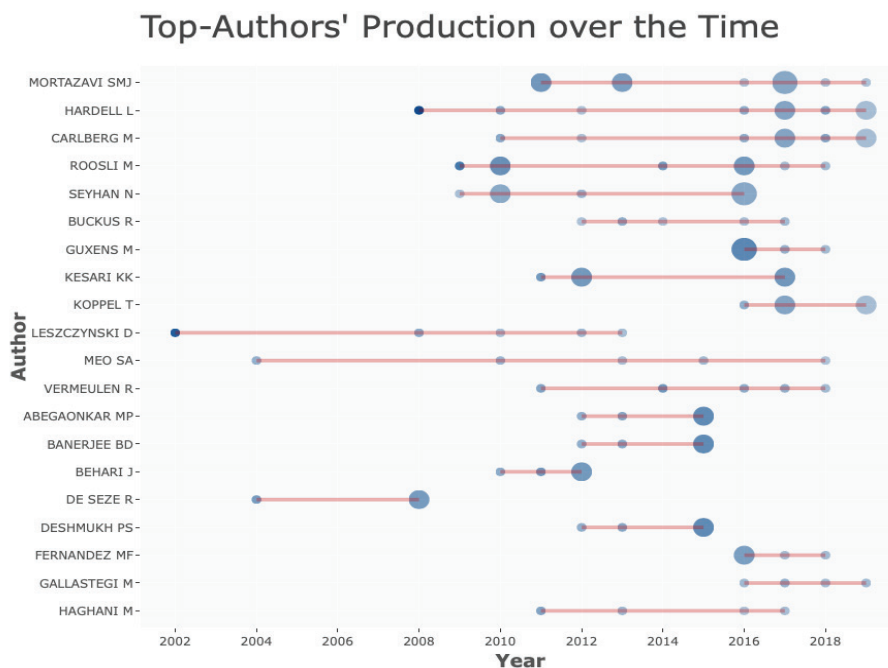


Figura 11. Distribución temporal de la producción de los autores, la cantidad de documentos y la relevancia de citas

Fuente: elaboración propia.

El resumen de producción de los autores se encuentra en la tabla 5, ordenada en citas por año (Ct_Y).

Tabla 5. Número de citas por autor y citas por año de los mismos

Autor	Año	Título	Fuente	Ct	Ct_Y
Hardell L	2008	Biological Effects From Electromagnetic Field Exposure And Public Exposure Standards	Biomedicine & Pharmacotherapy	207	15,92
Leszczynski D	2002	Non-thermal Activation Of The Hsp27/P38mapk Stress Pathway By Mobile Phone Radiation In Human Endothelial Cells: Molecular Mechanism For Cancer- And Blood-brain Barrier-related Effects	Differentiation	253	13,31
Roosli M	2009	Temporal And Spatial Variability Of Personal Exposure To Radio Frequency Electromagnetic Fields	Environmental Research	119	9,917
Roosli M	2014	Radio-frequency Electromagnetic Field (Rf-emf) Exposure Levels In Different European Outdoor Urban Environments In Comparison With Regulatory Limits	Environment International	40	5,714
Vermeulen R	2014	Radio-frequency Electromagnetic Field (Rf-emf) Exposure Levels In Different European Outdoor Urban Environments In Comparison With Regulatory Limits	Environment International	40	5,714
Kesari Kk	2011	900-mhz Microwave Radiation Promotes Oxidation In Rat Brain	Electromagnetic Biology And Medicine	56	5,600

Autor	Año	Título	Fuente	Ct	Ct_Y
Behari J	2011	900-mhz Microwave Radiation Promotes Oxidation In Rat Brain	Electromagnetic Biology And Medicine	56	5,600
De Seze R	2004	Acute Exposure To Gsm 900-mhz Electromagnetic Fields Induces Glial Reactivity And Biochemical Modifications In The Rat Brain	Neurobiology Of Disease	90	5,294
Kesari Kk	2017	Microwave Radiation (2.45 Ghz)-induced Oxidative Stress: Whole-body Exposure Effect On Histopathology Of Wistar Rats	Electromagnetic Biology And Medicine	20	5,000
Abegaonkar Mp	2015	Low Intensity Microwave Radiation Induced Oxidative Stress, Inflammatory Response And Dna Damage In Rat Brain	Neurotoxicology	28	4,667

Fuente: elaboración propia.

Productividad de los autores, ley de Lotka

La ley de Lotka es una medida que describe la frecuencia de publicación de autores en determinado campo. Además, es una ley aproximada de cuadrado inverso, en la que el número de artículos es una relación fija con el número de autores que publican un solo artículo. Esta ley afirma que "a medida que el número de artículos publicados aumenta, los autores que producen muchas publicaciones se vuelven menos frecuentes", lo que se puede traducir así: el mayor número de autores publican el menor número de trabajos, mientras que el menor número de autores publica un mayor número de trabajos.

The Frequency Distribution of Scientific Productivity

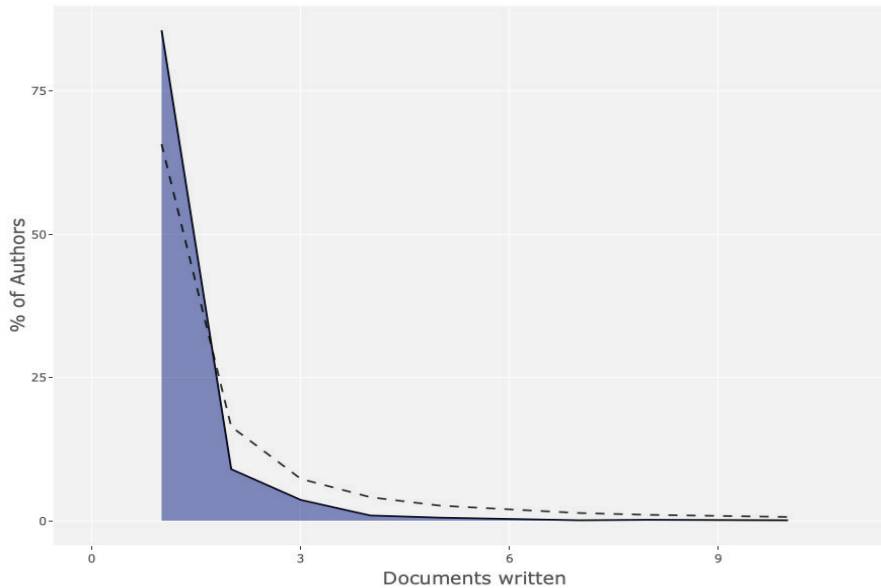


Figura 12. Distribución de frecuencia de productividad científica (Ley de Lotka)

Fuente: elaboración propia.

En la figura 12 se puede observar que un porcentaje muy bajo de autores producen la mayoría de los documentos (cuatro o más), mientras que los autores ocasionales han producido un solo artículo.

Impacto de los autores

Como se mencionó anteriormente, las leyes bibliométricas pueden ser aplicadas a los autores para medir su impacto en un área específica de la ciencia. En la tabla 6 se han resumido los primeros 20 autores con sus diferentes índices de impacto ordenados de forma descendente por índice g.

Tabla 6. Resumen del impacto de los autores a partir de los índices

Autor	Índice			TC	NP	Año inicio
	H	g	m			
Mortazavi Smj	5	10	0,500	115	10	2011
Hardell L	6	9	0,462	297	9	2008
Carlberg M	5	8	0,455	90	8	2010
Roosli M	6	8	0,500	269	8	2009
Seyhan N	5	7	0,417	85	7	2009
Buckus R	4	5	0,444	40	5	2012
Guxens M	4	5	0,800	53	5	2016
Kesari Kk	4	5	0,400	129	5	2011
Koppel T	3	5	0,600	33	5	2016
Leszczynski D	5	5	0,263	331	5	2002
Meo Sa	4	5	0,235	84	5	2004
Vermeulen R	4	5	0,400	109	5	2011
Abegaonkar Mp	4	4	0,444	98	4	2012
Banerjee Bd	4	4	0,444	98	4	2012
Behari J	4	4	0,364	142	4	2010
Deshmukh Ps	4	4	0,444	98	4	2012
Fernandez Mf	4	4	0,800	32	4	2016
Gallastegi M	3	4	0,600	25	4	2016
Haghani M	3	4	0,300	59	4	2011

Autor	Índice			TC	NP	Año inicio
	H	g	m			
Huss A	4	4	0,571	69	4	2014
Kaplan S	4	4	0,333	83	4	2009
Megha K	4	4	0,444	98	4	2012
Miyakoshi J	4	4	0,286	73	4	2007
Tripathi Ak	4	4	0,444	98	4	2012
De Seze R	3	3	0,176	159	3	2004

Fuente: elaboración propia.

Instituciones con mayor producción

Para el análisis de las instituciones más prolíficas en publicaciones en un área específica de la ciencia analizada por medio de bibliometría, se debe tener en cuenta que uno de los problemas del análisis de nombres institucionales es la diversidad de formas como se puede aparecer en la literatura, problema que también ha afectado a los autores, pero que se ha ido solucionando con el uso de bases como Orcid². Incluso, se deben tener en cuenta las dificultades causadas por la traducción de los nombres de las instituciones de procedencia que algunos autores, por desconocimiento, realizan al momento de publicar un documento. Con la masificación de las bases de datos, esto se ha ido superando en los últimos años, pero cuando se trabaja con búsquedas de varios años hacia atrás, es importante realizar la desambiguación de los nombres antes de realizar el reporte. Afortunadamente la mayoría de los software actuales permiten realizar de forma automática dicho proceso.

En la figura 13 se muestra el cálculo de las instituciones más productivas sin realizar la desambiguación, en el cual se resalta que varios de los resultados pertenecen a la misma institución a pesar de encontrarse separados. Se debe tener en cuenta que las instituciones aparecen varias veces con los conteos independientes, lo que no permite realizar el estudio de su impacto de forma clara.

²Orcid es un proyecto abierto, sin ánimo de lucro, comunitario, que ofrece un sistema para crear y mantener un registro único de investigadores.

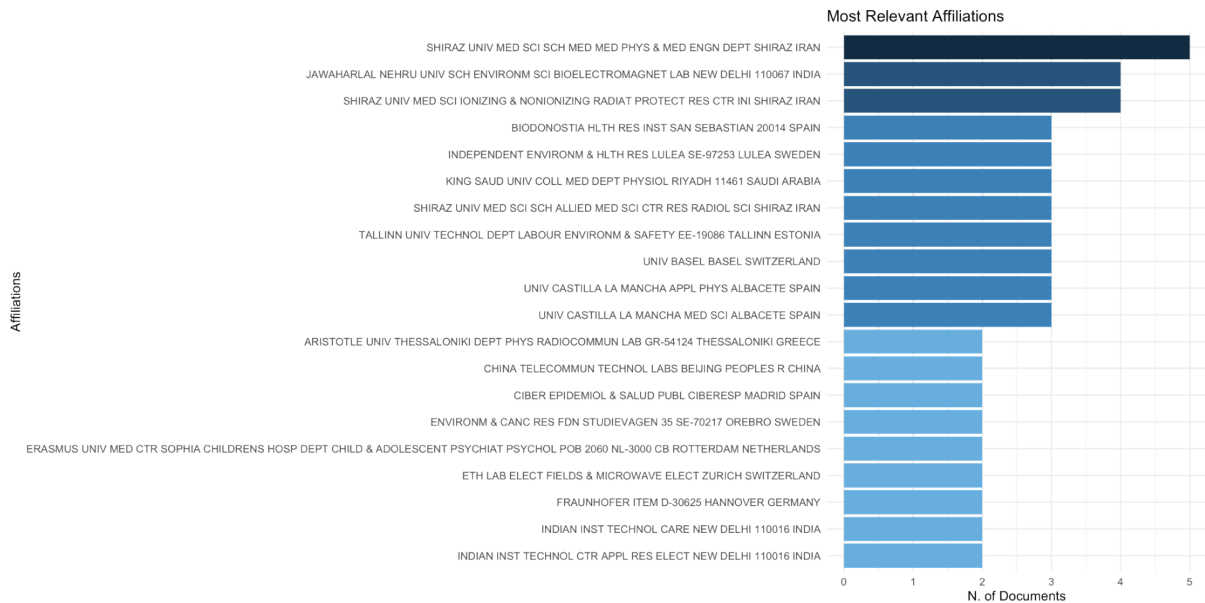


Figura 13. Producción de las instituciones más representativas sin el proceso de desambiguación
 Fuente: elaboración propia.

Luego de realizar el proceso de desambiguación se pueden analizar los resultados de la figura 14. El proceso de desambiguación permite mostrar que la institución más prominente en publicaciones para el área de estudio es la Shiraz University of Medical Sciences. Dicha institución, sin el proceso de desambiguación, aparece en los primeros lugares con un total de 15 documentos publicados. Sin embargo, luego de realizada la desambiguación, se identificó que cuenta con más de 40 documentos publicados (figura 14). Esta institución se encuentra en Irán, segundo país en producción de artículos, según los datos obtenidos en la figura 5.

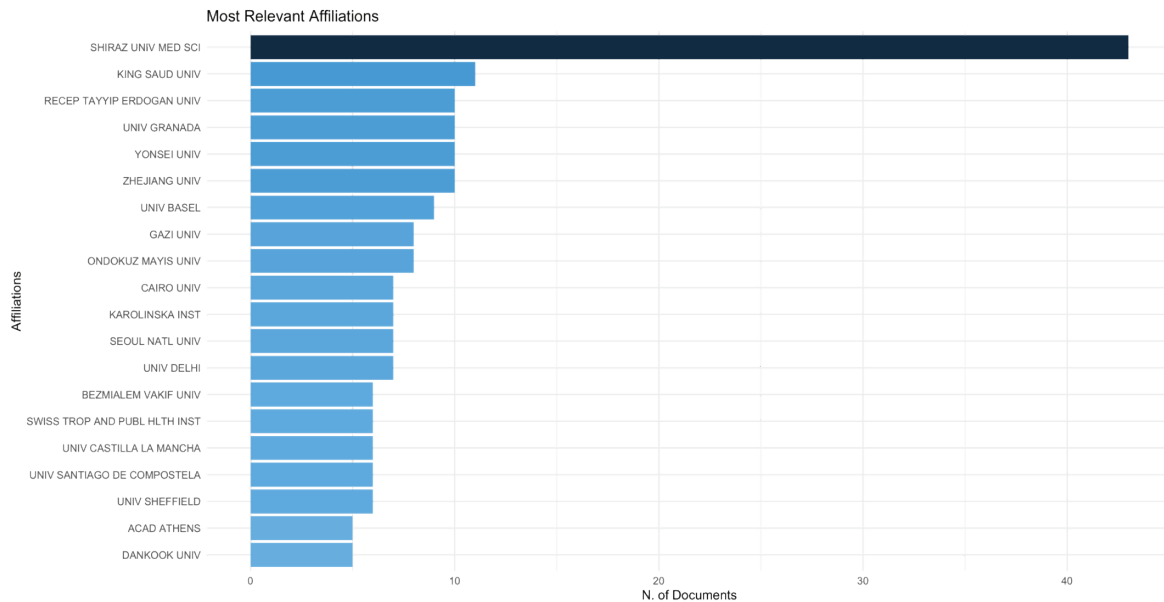


Figura 14. Documentos publicados por institución luego del proceso de desambiguación de los nombres

Fuente: elaboración propia.

Análisis de países

El análisis del país de origen del autor corresponsal (autor encargado de recibir las comunicaciones referentes al artículo), si bien no es garantía de que el documento ha sido producido en el país del mismo, sí permite hacer una revisión importante de los índices de colaboración en producción científica del país. En la figura 15 el índice Multiple Countries Publication (MCP) indica, para cada país, el número de documentos en los cuales hay al menos un coautor de un país diferente, midiendo la intensidad de colaboración internacional de un país.

El índice Single Country Publication (SCP) muestra el número de documentos con autores de un solo país, en este caso, el que corresponde al autor corresponsal registrado en el documento o en la base de datos de la revista con Turquía e Irán como principales.

Suecia cuenta con el índice MCP más alto con 8 artículos producidos en colaboración con otros países y solo 4 donde se reportan autores únicamente de Suecia.

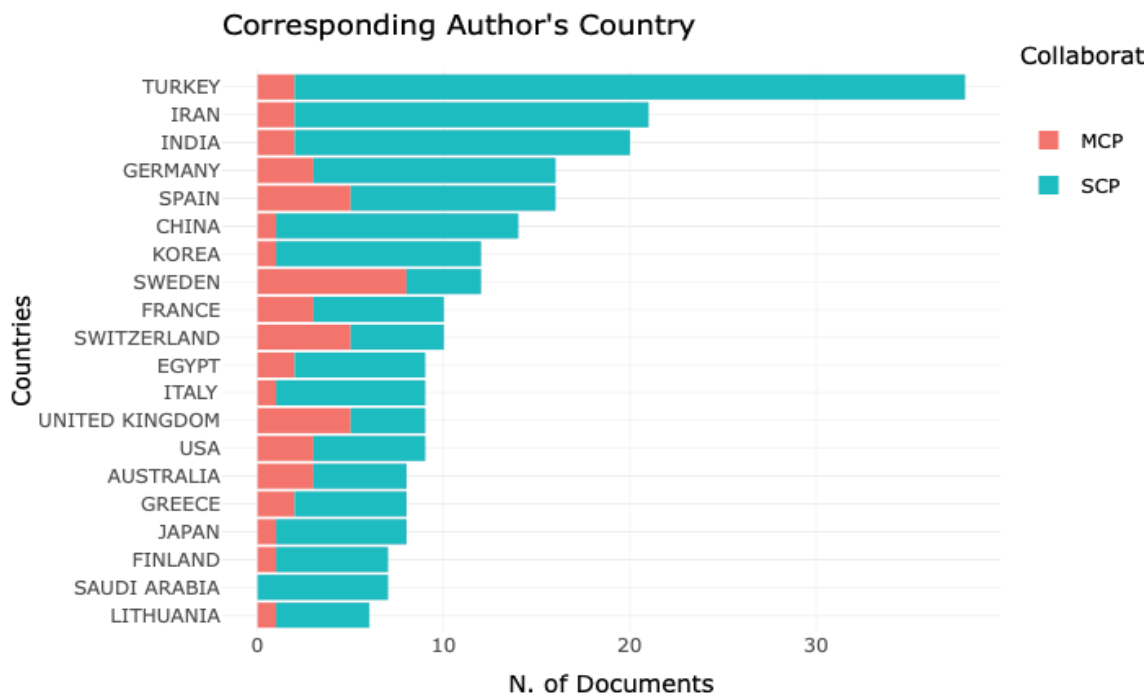


Figura 15. Comparación de la cantidad de documentos por país según el autor correspondiente (MCP: publicación de múltiples países, SCP: publicación de un único país)

Fuente: elaboración propia.

La proporción de colaboración entre países determina el nivel colaborativo de un país en un área de la ciencia. Sin embargo, no es un valor que tenga que ver con la cantidad de artículos publicados, ya que, como se puede observar en la tabla 7, donde se muestran los 10 principales países ordenados por proporción de colaboración, Chile el país más colaborativo y solo tiene un documento publicado en el área.

Tabla 7. Cantidad de artículos por país e índice de proporción MPC

País	Número de Artículos	Frecuencia	SCP	MCP	Proporción MCP
Chile	1	0,00328	0	1	1
Jordan	1	0,00328	0	1	1
Pakistan	1	0,00328	0	1	1
Sweden	12	0,03934	4	8	0,6667
Denmark	3	0,00984	1	2	0,6667
United Kingdom	9	0,02951	4	5	0,5556
Switzerland	10	0,03279	5	5	0,5
Austria	4	0,01311	2	2	0,5
Netherlands	4	0,01311	2	2	0,5
Brazil	5	0,01639	3	2	0,4

Fuente: elaboración propia.

Análisis de los documentos

En el caso del presente análisis, se han trabajado únicamente 306 artículos de revistas del 2001 al 2020. Se tiene un promedio de 18,42 citas por documento, que indica más de 5600 citas o referencias en toda la colección. Además, se tienen 265 documentos citados globalmente. Los documentos citados son aquellos que se encuentran tanto en la colección (en este caso WoS) como en las citas o referencias en otros textos. Es decir, si un documento que se encuentra en la colección no es citado por otro, no se cataloga como un documento citado. De la misma forma, si un documento es citado en uno o más artículos de la colección y no forma parte de la colección, tampoco se catalogaría como un documento citado.

Otra forma de analizar los datos es por medio de las citaciones locales, que se relacionan con aquellos documentos que se encuentran en la colección revisada (306 documentos) y que han sido citados en al menos uno de los otros documentos en la colección local.

En la figura 16 se pueden encontrar los 10 documentos más citados de forma global en la colección estudiada.

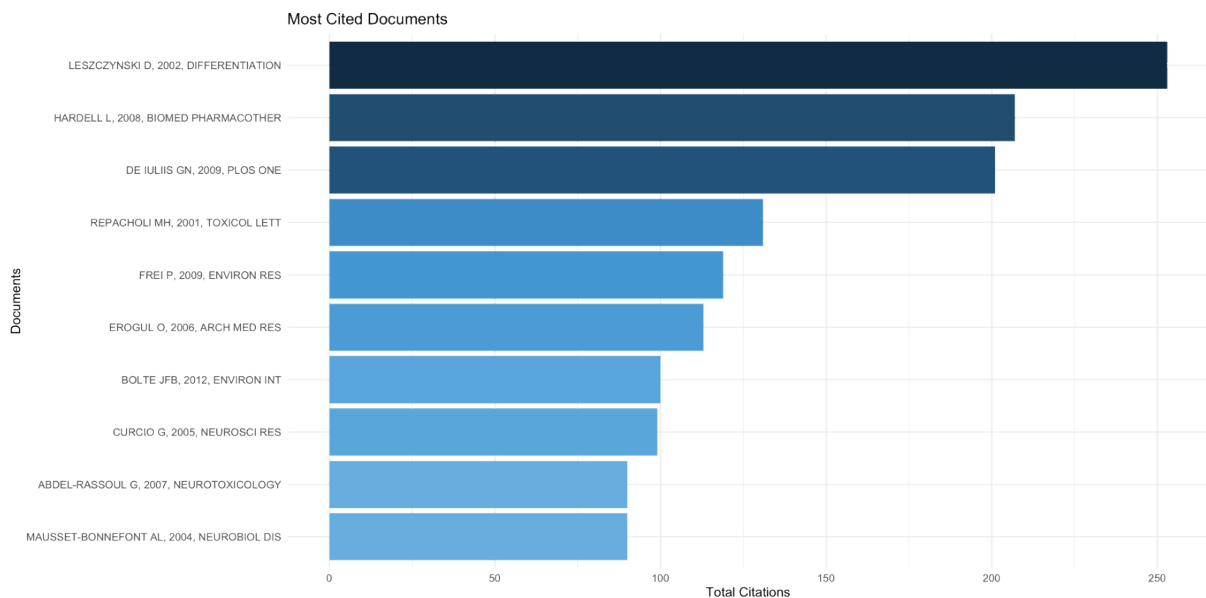


Figura 16. Principales documentos con análisis de citas globales
 Fuente: elaboración propia.

Los datos de la Figura 16 se organizan con comas usadas como separadores. El primer campo es el nombre del autor principal, el segundo es el año de publicación, y el tercero es el nombre de la revista donde fue publicado. En la siguiente tabla se resumen algunos datos de la figura, así como las citas locales más importantes.

Tabla 8. Resumen de citas locales y globales para los principales autores

Document	Local.Citations	Global.Citations
Leszczynski D, 2002, Differentiation [35]	30	253
De Iuliis Gn, 2009, Plos One [36]	27	201
Hardell L, 2008, Biomed Pharmacother [37]	23	207
Frei P, 2009, Environ Res [38]	19	119
Abdel-rassoul G, 2007, Neurotoxicology [39]	17	90
Navarro Ea, 2003, Electromagn Biol Med [40]	15	76
Repacholi Mh, 2001, Toxicol Lett [41]	14	131
Erogul O, 2006, Arch Med Res [42]	14	113
Khurana Vg, 2010, Int J Occup Env Heal [43]	13	40
Bolte Jfb, 2012, Environ Int [44]	13	100

Fuente: elaboración propia

Otra medida importante en el análisis de los documentos son las palabras usadas. Las palabras clave (keywords plus) y las palabras clave de autor (author keywords) son seleccionadas comúnmente como unidades de análisis [45] (figura 17). Las bases de datos han realizado esfuerzos para la estandarización de las palabras clave, keywords plus, a nivel mundial, lo cual presenta dificultades, principalmente, por la cantidad de áreas de la ciencia en las que se encuentran diferentes publicaciones.

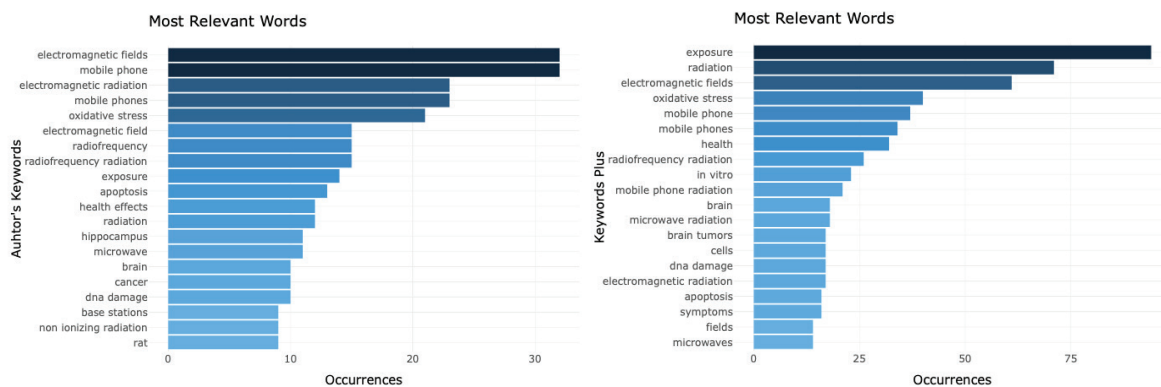


Figura 17. Comparación de las palabras clave y las palabras clave de autor
Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la aparición de palabras, si se analizan los resúmenes de cada documento, se pueden identificar las que tienen relevancia en el estudio. En la figura 18 se puede analizar que la palabra que más veces aparece en el resumen de los documentos analizados es *exposición*, más de 900 veces, seguida por las palabras *móvil*, *teléfono* y *radiación* con 726, 454 y 447 apariciones, respectivamente.

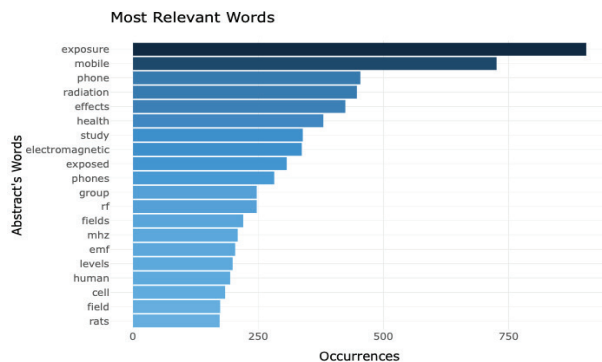


Figura 18. Análisis de las palabras más relevantes usadas en el resumen de los documentos
Fuente: elaboración propia.

El análisis de texto, teniendo en cuenta las palabras clave, las palabras de autor, los títulos, y los resúmenes de los documentos, permite definir la lista de palabras más comúnmente utilizadas para profundizar el análisis bibliométrico. También se puede usar para dar visibilidad a los documentos que se desean publicar en un área específica de investigación.

Estructuras del conocimiento

El mapeo o cartografía científica permite determinar las representaciones de las conexiones intelectuales en un sistema de conocimiento científico dinámico que es cambiante en todo momento. En otras palabras, la cartografía científica tiene como objetivo mostrar los aspectos estructurales y dinámicos de la investigación científica usando principalmente las estructuras del conocimiento, lo que permite investigar el conocimiento científico desde un punto de vista estadístico [46]. Existen tres estructuras del conocimiento: la estructura conceptual, que estudia de qué habla la ciencia, los temas principales y las tendencias (representando relaciones entre conceptos o palabras en un conjunto de publicaciones); la estructura conceptual, que muestra cómo el trabajo de los autores influye en una comunidad científica dada; y la estructura social, que analiza cómo los autores, las instituciones y los países o regiones interactúan entre ellos.

La red de coocurrencias es una de las técnicas de la estructura conceptual en enfoque de red, el cual se realiza mediante la teoría de grafos, que, como estructuras matemáticas, permiten modelar relaciones de pareja entre objetos. Los grafos de la red de coocurrencias están compuestos por nodos y conexiones. La figura 19 muestra la red de coocurrencias de nuestra base bibliográfica, donde se evidencian los nodos más importantes (relacionados por tamaño teniendo en cuenta las palabras clave).

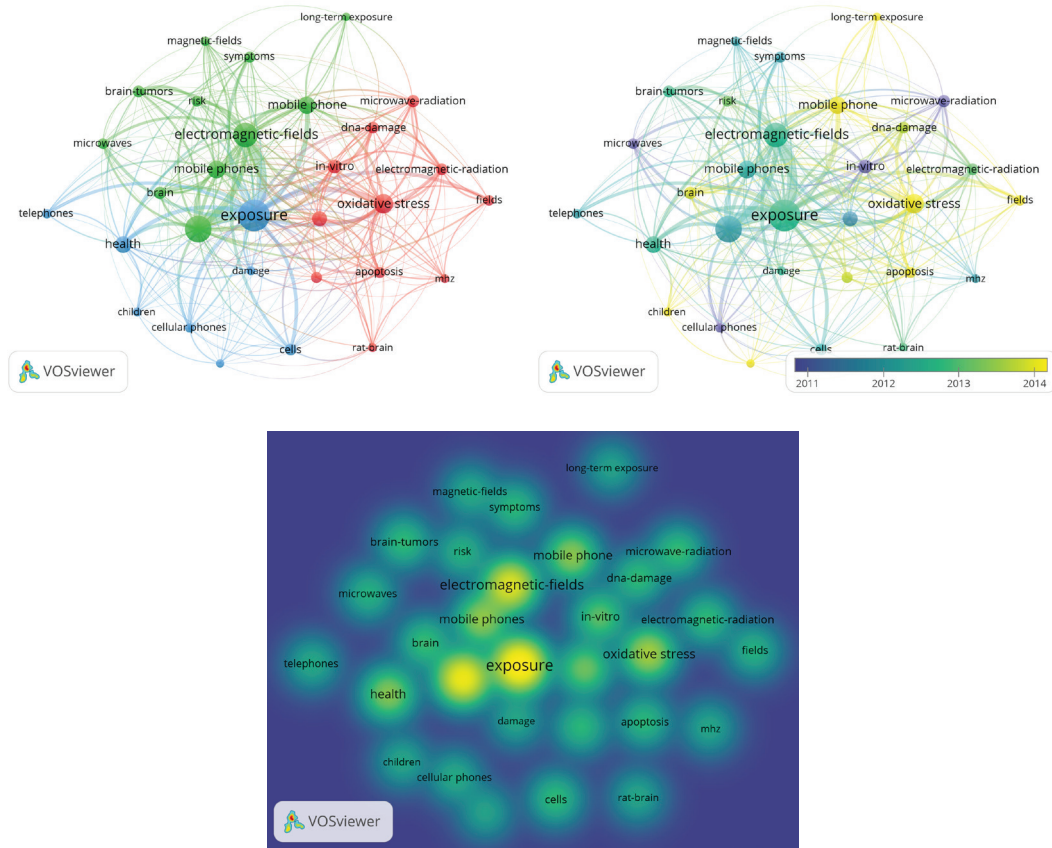


Figura 20. Análisis de coocurrencias realizado con el software VOSviewer
Fuente: elaboración propia.

La red de citas (figura 21) pertenece a la estructura intelectual del conocimiento, y muestra las relaciones entre nodos que representan referencias. En la gráfica generada se tienen tres clústeres o agrupaciones principales (indicadas en colores azul, rojo y verde), con una referencia principal del año 1998 por el autor Anders Ahlbom [48].

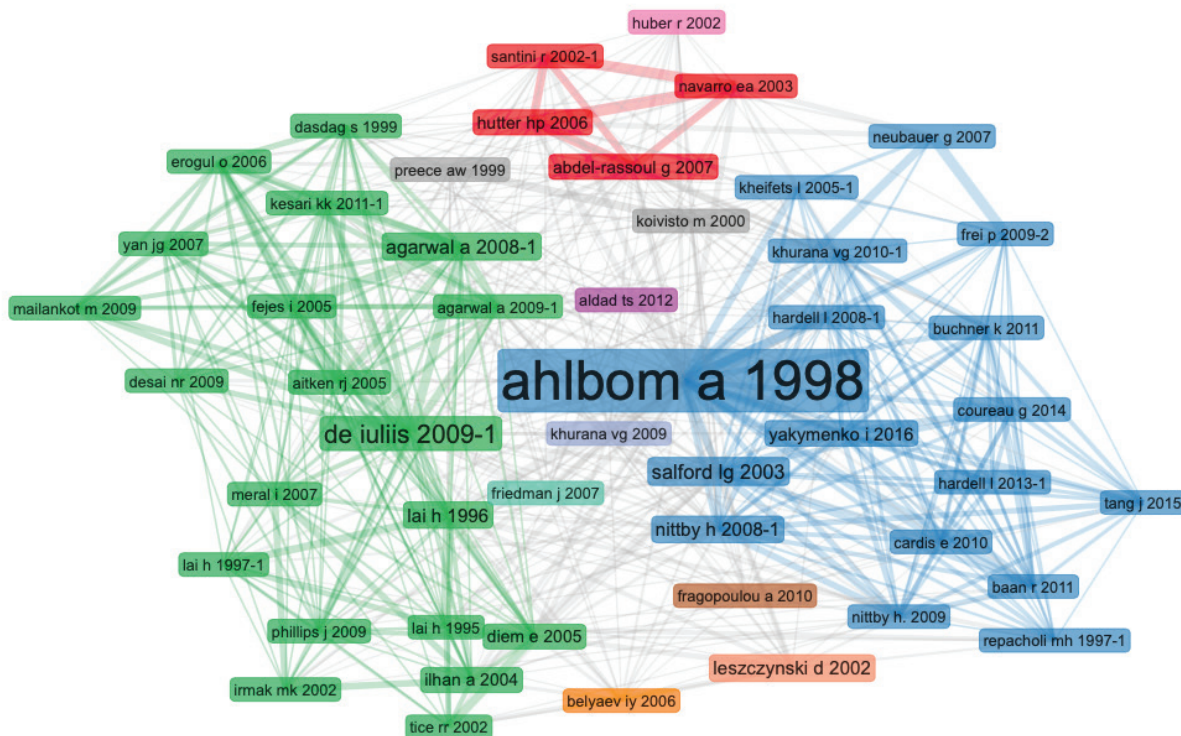


Figura 21. Red de cocitaciones de referencias en el paquete Bibliometrix de R
Fuente: elaboración propia.

El mismo análisis realizado con VOSviewer permite encontrar cuatro clústeres, pero no es posible diferenciar claramente cada una de las referencias en el grafo, ya que algunas etiquetas quedan superpuestas sobre las otras y no es posible manipular su ubicación (figura 22).

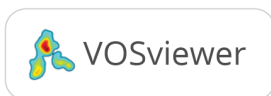
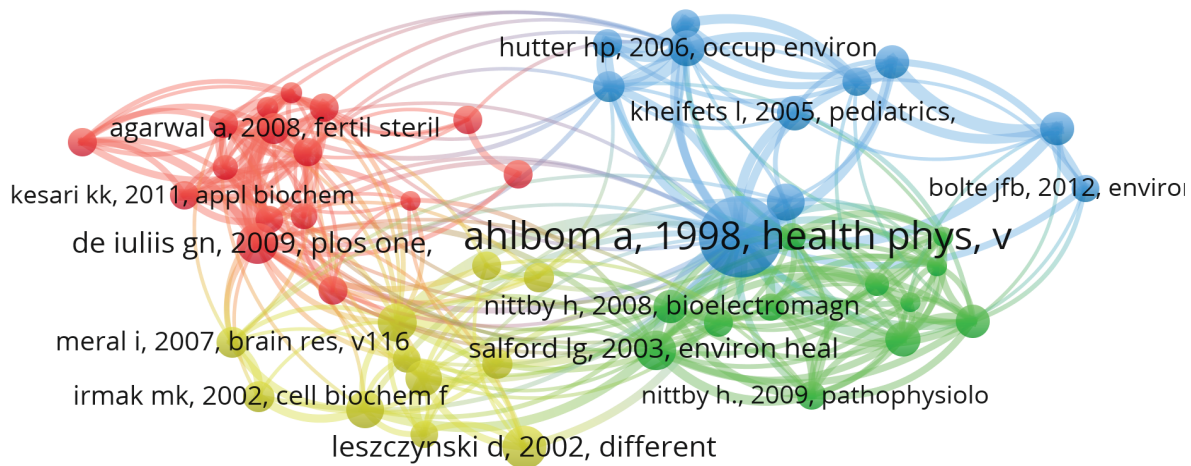


Figura 22. Red de cocitaciones de referencias realizado con el software VOSviewer
Fuente: elaboración propia.

La estructura social, tercera y última clasificación de las estructuras del conocimiento, muestra cómo se relacionan los autores, las instituciones o los países en el campo de la investigación científica. La forma más común de estructura social que se encuentra en la literatura es la red de coautorías, con la cual se pueden descubrir, entre otros, grupos de autores regulares, autores influenciadores, instituciones relevantes en un campo específico de investigación, etc.

En la figura 23 se analizan las instituciones más relevantes en el campo estudiado en este libro. Al analizar los datos se puede observar que, a pesar de que la Shiraz University of Medical Sciences publica mucho en cuanto a cantidad de documentos, no colabora lo suficiente en la producción.



Figura 23. Estructura social de las instituciones que publican en el área estudiada
Fuente: elaboración propia.

El mapa de colaboración (figura 24) permite identificar de forma gráfica la estructura social del conocimiento desde el punto de vista de la ubicación geográfica. Los datos pueden ser listados en tablas con frecuencias determinadas. En la tabla 9 se resumen las estructuras sociales del conocimiento teniendo en cuenta tres o más documentos producidos por países diferentes. El máximo de documentos producidos entre dos países diferentes en nuestra base de datos es de 5.

Country Collaboration Map

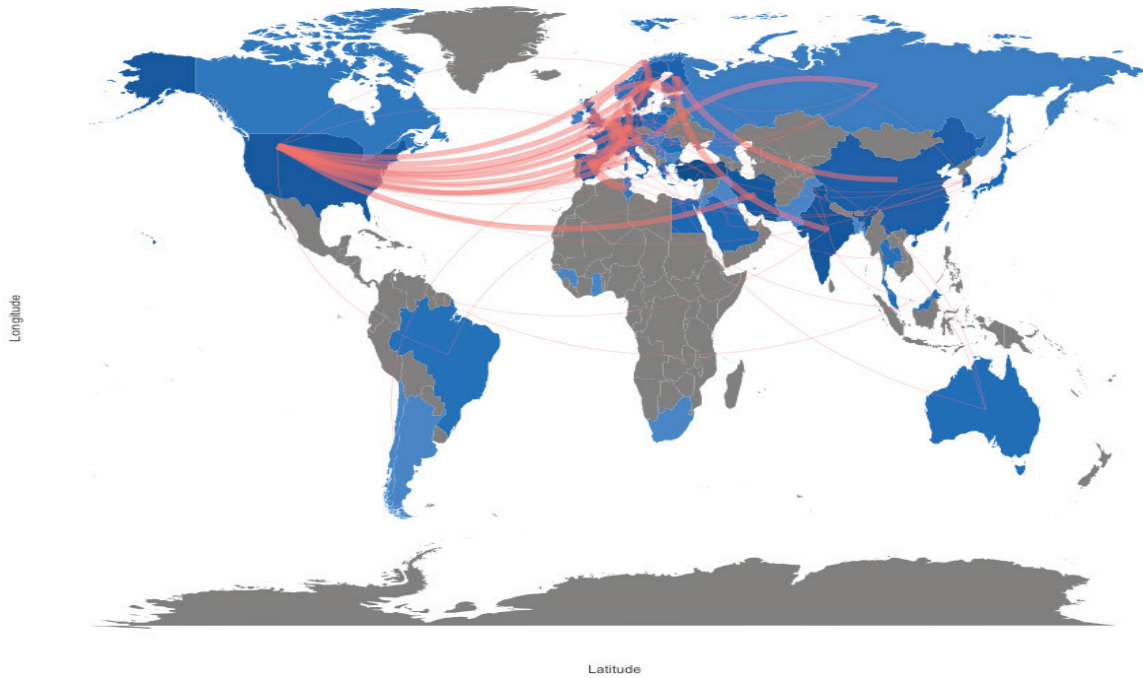


Figura 24. Mapa de colaboración como estructura social del conocimiento
Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Frecuencia de publicación por país a partir de colaboración con otros países

Desde	Hacia	Frecuencia
Denmark	Netherlands	3
Estonia	Sweden	5
France	Tunisia	3
Netherlands	Switzerland	5
Spain	Netherlands	4
Spain	Switzerland	4
Switzerland	Austria	3
United Kingdom	Netherlands	3
Usa	Denmark	3

Fuente: elaboración propia.

Comentarios finales de la bibliometría

A partir de los resultados analizados en la bibliometría se pueden encontrar muchos datos interesantes que pueden servir para abordar un área de estudio determinada. Por ejemplo, se pueden determinar los autores que abordan el problema de la contaminación electromagnética desde el punto de vista del cáncer, o los autores que han publicado más en el tema, la institución a la que están asociados o el país de origen, para tratar de iniciar un intercambio académico o científico. Además, se pueden encaminar estudios de revisión de tema o verificar si se está abordando efectivamente un marco teórico. Por último, pero no menos importante, la herramienta es muy efectiva al momento de enfocar una publicación científica. Respecto a la facilidad, se resalta que actualmente existe una variedad de software de acceso gratuito que permite realizar una bibliometría muy completa desde la generación de resultados como los que se han presentado en esta sección. Sin embargo, siempre existe el inconveniente del acceso a las bases de datos que normalmente no son gratuitas.

Mapas de contaminación electromagnética

Los mapas COEM, o mapas de exposición a CEM emitidos por fuentes de RF, pueden ser instrumentos importantes para los entes gubernamentales al momento de autorizar la instalación de nuevas BTS, toda vez que el incremento de estas puede conllevar un aumento en los valores de COEM. En relación con la elaboración de este tipo de mapas, son diversos los autores que han realizado sus aportes. En las siguientes líneas se abordarán algunos textos científicos (con una antigüedad máxima de 10 años, al momento de escribir este libro) y se presentan las metodologías utilizadas para la generación de los mapas.

Para elaborar un mapa de exposición por COEM se debe contar con los valores de dicha contaminación, los cuales son obtenidos a partir de mediciones de CEM, las cuales se clasifican en: mediciones indoor (al interior de sitios como viviendas, edificios, entre otros) y mediciones outdoor (en exteriores, ambientes no confinados).

En el año 2013, Aerts et al. [49] desarrollaron un algoritmo de medición para mapear la exposición a la radiación generada por una estación de telefonía GSM9003 en un ambiente outdoor. El algoritmo aprende la exposición a CEM sobre la marcha, basándose en el conocimiento que está disponible a partir de las mediciones anteriores, y con este aprendizaje propone secuencialmente nuevas ubicaciones óptimas para futuras mediciones.

El procedimiento de medición propuesto por Aerts et al. [49] consiste en: primero, caracterizar el área; segundo, el algoritmo calcula las ubicaciones de puntos de medición en una configuración de hipercubo latino, que es un diseño que llena el espacio y elige las ubicaciones de medición iniciales, de manera que el área de interés esté cubierta de la manera más uniforme posible; tercero, realizar mediciones de campo eléctrico en las ubicaciones seleccionadas, y obtener la desviación media entre la intensidad de campo E medida actualmente y la anterior, aplicando la siguiente expresión:

³También conocido como 2G, sus siglas hacen referencia a Sistema Global de Comunicaciones Móviles (del inglés *Global System for Mobile Communications*), opera en las frecuencias de 900 y 1800 MHz, por lo tanto, GSM900 se refiere a la banda de los 900 MHz.

$$\Delta(M_i, M_{i-1})(\%) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^N \left| \frac{E_{M_i}(j) - E_{M_{i-1}}(j)}{E_{M_{i-1}}(j)} \right| \times 100 \% \quad (1)$$

Donde:

i: número de la iteración

M: modelo sustituto

$E_{M_i}(j)$: campo eléctrico del modelo M_i en todos los N puntos de la malla trazada sobre la superficie, con resolución de $1 \times 1 \text{ m}^2$;

y cuarto, definir el nuevo lote de ubicaciones de las muestras. Los autores realizaron 100 mediciones con cada lote compuesto por 10 ubicaciones, de esta forma se obtienen 10 modelos (M_0 a M_9).

Ese mismo año, Baltre y Buckus [50] realizaron un estudio de mediciones de la intensidad del campo eléctrico y magnético emitida por una antena de comunicación móvil ubicada en la terraza de un edificio. Fueron dos los escenarios de medición ejecutados por los investigadores. El primer escenario fue una terraza de un edificio, con mediciones a una altura de 3 m sobre el techo del edificio. La medición de las intensidades del campo eléctrico y magnético fueron iniciadas a 1 m de distancia de la antena. El segundo punto fue ubicado a 2 m de distancia, el tercero a 3 m de distancia y así sucesivamente hasta llegar a una distancia de 37 m. Las mediciones continuaron hasta que la relación de intensidad de campo eléctrico a magnético de la antena dejara de cambiar y fuera igual a 377.

El segundo escenario tuvo lugar a la altura de la calle. Se ubicó el equipo de medición a una altura de 1,7 m respecto al suelo. Las distancias entre el equipo de medición y el edificio fueron de 1 m, 2 m, 3 m, y así sucesivamente, hasta llegar a 200 m. Para obtener el valor de la medición en cada uno de los puntos, los autores realizaron el promedio aritmético de 3 mediciones, cada una ejecutada con un tiempo de medición de 1 minuto. Finalmente, Baltre y Buckus concluyeron, a partir de los datos obtenidos, que a una distancia de 15 m de la antena se presenta una disminución significativa de la intensidad del campo eléctrico,

y la distribución de la densidad de flujo de energía del CEM de la antena de la red móvil depende del patrón direccional de la antena en el plano vertical. Por lo tanto, los valores de la densidad del flujo de energía del CEM son más altos en los sitios que se encuentran en el área de cobertura principal de la antena.

Por otro lado, en 2013 Wu et al. [51] realizaron mediciones de CEM en la banda de GSM en la cercanía de 827 estaciones base, con un total de 6207 puntos de medición. Los puntos de medición fueron ubicados a distancias en un rango de entre 10 a 70 m de la antena. El tiempo promedio de medición fue de 3 minutos. Los puntos de medición se desplegaron a lo largo de los lóbulos principales de radiación de la antena. Para cada punto de medición se registraron las densidades de potencia de las señales en las bandas de 900 y 1800 MHz, así como en la banda de frecuencia amplia (10 MHz – 3 GHz). Aplicando la siguiente expresión, se verificó que las mediciones obtenidas cumplieran con las normas vigentes para el estudio:

$$\sum_1^n \frac{S_i^{meas}}{S_i^{ref}} = \frac{S_1^{meas}}{S_1^{ref}} + \frac{S_2^{meas}}{S_2^{ref}} + \dots + \frac{S_n^{meas}}{S_n^{ref}} < 1 \quad (2)$$

Donde:

S_i^{meas} : es la medida de la densidad de potencia

S_i^{ref} : es la densidad de potencia de referencia

i : es la banda de frecuencia específica.

En 2014, Urbinello et al. [52] realizaron mediciones durante un año en lo que denominaron microambientes, tales como áreas residenciales, barrios, suburbios y transporte público. Las mediciones fueron realizadas cada 4 s durante 10–50 min por ambiente y día de medición. El objetivo de dicho estudio fue definir la tendencia de la variabilidad de los niveles de exposición de manera temporal. Todos los cálculos fueron realizados con niveles de densidad de flujo de potencia (mW/m^2) y luego los convirtieron a intensidad de campo eléctrico (V/m). Otro estudio sobre variabilidad en el tiempo fue realizado por Bienkowski y Zubrzak [53] en 2015, el cual describe el carácter

En 2016, Joseph et al. [54] desarrollaron un sistema de medición de exposición a CEM de RF con múltiples antenas colocadas sobre un dron. El sistema de medición consiste en un único dron que transporta tres nodos idénticos, que llevan electrónica liviana y tres monopolos livianos ortogonales, o alternativamente, tres antenas de parche planas polarizadas linealmente calibradas en una cámara anecoica. La frecuencia de muestreo fue de 1 Hz, y el valor cuadrático medio (RMS) del campo eléctrico fue medido durante cada periodo de muestreo. Las mediciones se realizaron en función de la altura y cada 3 m se calcularon valores medios durante periodos de 30 s. Los autores comprobaron que los valores de CEM se incrementan conforme aumenta la altura de medición, lo cual se explica con la ubicación de las antenas típicamente instaladas a una altura de 30 m.

La literatura científica relacionada anteriormente propone diversos protocolos de medición de CEM emitidos por antenas de telefonía móvil, lo cual, como fue mencionado al inicio de este apartado, es necesario para elaborar los mapas. En las siguientes líneas se exponen estudios que, como resultado, presentan un mapa de exposición a CEM.

En 2016, Tuysuz y Mahmutoglu [55] realizaron mediciones de niveles de CEM en una hora cuyo tráfico en la red de comunicaciones es más intenso, entre las 10:00 y las 16:00. La altura de medición es 1,75 m sobre el nivel del suelo, y el tiempo de medición de 6 minutos. El resultado del estudio es un mapa de interpolación que muestra las mediciones de campo eléctrico. Esta información fue proyectada sobre el mapa, y se obtuvo una visión general de la contaminación electromagnética generada por estaciones GSM.

Ese mismo año, Cansiz et al. [56] hicieron la medición todos los días de la semana entre las 17:00 y las 18:20 h, porque según ellos la hora pico de los operadores de redes móviles era las 17:00. La hora local y la hora pico de los operadores de redes móviles pueden variar según la temporada. Las mediciones las realizaron en la zona de campo lejano⁴ de las estaciones base. El equipo de medición fue montado sobre un vehículo y quedó a una altura de 1,7 m

⁴ La zona circundante a una antena, o en este caso, la fuente de emisión de RNI, se divide en tres regiones medidas en función de la longitud de onda de la emisión de la fuente: región reactiva cercana (si la distancia donde se analizan los campos es muy reducida, menor que $\lambda/6$); región intermedia (si la región donde se analizan los campos es mayor a $\lambda/6$); y región de campo lejano (si la distancia donde se analizan los campos se hace mucho mayor que $\lambda/6$) [97].

sobre el suelo; la velocidad promedio del vehículo fue de 40 Km/h. En dicha investigación se realizó, además, medición de E en diferentes frecuencias, y el valor E_{total} se obtuvo como:

$$E_{total} = \sqrt{E_{FM}^2 + E_{TV}^2 + E_{TV4-5}^2 + E_{G900}^2 + E_{G1800}^2 + E_{UMTS}^2} \quad (3)$$

Donde:

E_{total}	es el valor máximo instantáneo de exposición
E_{FM}	es el valor máximo instantáneo en la banda FM
E_{TV}	es el valor máximo instantáneo en la banda TV
$E_{(TV4-5)}$	es el valor máximo instantáneo en la banda TV4-5
E_{G900}	es el valor máximo instantáneo en la banda G900
E_{G1800}	es el valor máximo instantáneo en la banda G1800
E_{UMTS}	es el valor máximo instantáneo en la banda UMTSS.

Finalmente, Cansiz et al. [56] obtuvieron un mapa de exposición a RF en el centro de la ciudad, y concluyeron que los niveles registrados fueron inferiores a los niveles recomendados por la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante) para las zonas de público en general.

En 2017 Sánchez-Montero et al. [57] aplicaron dos tipos de mediciones, una con monitoreo fijo y la otra móvil, durante las cuales los autores asumieron que la potencia de emisión de estaciones de radio y de TV no varían de manera considerable en el tiempo, contrario a lo que ocurre con las BTS. Por lo tanto, los límites son expresados como valores RMS de una onda continua promediados durante un tiempo de 6 minutos. Los autores definieron también diferentes alturas de medición entre 1,1 m y 1,7 m y el mayor valor obtenido lo utilizaron para comparar con el límite de exposición. Finalmente, presentaron en su estudio un mapa que permite visualizar la variación espacio temporal del campo eléctrico en los años 2006, 2010 y 2015.

En el año 2018, Boz y Denli [58] generaron un mapa de intensidad de CEM asociado a frecuencias de 900 y 1800 MHz, para encontrar áreas de riesgo potencial respecto a la salud. Para generar el mapa, utilizaron interpolaciones como: error cuadrático medio, Base Radial y Kriging. Utilizando ArcGIS5 establecieron unas áreas de efecto para las estaciones base, con radios de 50 m y 300 m. Las áreas de 300 m fueron divididas en 29 ubicaciones, en las cuales realizaron mediciones de intensidad de CEM durante 15 minutos en cada una. Los resultados los analizaron geográficamente y las mediciones las expresaron como mapas de calor que cubren el área de estudio. Usando estos mapas, los valores medidos los compararon con los estándares de exposición de CEM emitidos por ICNIRP. Los resultados mostraron que los niveles de exposición a CEM estaban dentro de los límites de ICNIRP.

Finalmente, en 2019 Liu et al. [59] realizaron mediciones en campo lejano de intensidad de campo eléctrico E , sobre un vehículo a una altura de 1,8 m sobre el piso, con una velocidad promedio de 30 Km/h. Los valores instantáneos de E fueron clasificados en 5 grupos, que son utilizados para generar una escala de colores para el mapa. Dado que las mediciones no logran cubrir toda la región, Liu et al. aplicaron interpolación de Kriging para predecir el valor E en una ubicación no observada.

En 2020, Henao-Céspedes et al. [60] propusieron una metodología para medición de COEM en áreas urbanas. Los resultados de dicha investigación son ampliados en los capítulos 4 y 5 del presente libro.

⁵Software de sistemas de información geográfica desarrollado por el Environmental Systems Research Institute (ESRI).

Capítulo 2.

Normatividad nacional e internacional

En el presente capítulo se realiza un abordaje sistemático de la normatividad nacional e internacional que regula la exposición a campos electromagnéticos. Inicialmente se aborda el ámbito nacional, donde se analizan las normas aplicables a Colombia y los entes encargados de su manejo. En la normatividad internacional se estudian las organizaciones que se han pronunciado respecto a la contaminación y exposición EM y los estándares que se han generado por los mismos. En la parte final del capítulo se analiza el desarrollo legal que se ha estudiado en los ámbitos local e internacional, así como el abordaje noticioso que se le ha dado a algunos temas relevantes.

Normatividad nacional

Actualmente en Colombia se encuentra vigente el Decreto 1370 [60], Por el cual se dictan disposiciones relacionadas con los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos generados por estaciones de radiocomunicaciones. En este se atienden recomendaciones de organismos internacionales y se considera la demanda creciente de servicios de telecomunicaciones que lleva a un crecimiento sin precedentes en la construcción de estaciones radioeléctricas para la emisión de ondas electromagnéticas (EM). Además, se resalta que la OMS ha realizado investigaciones en el campo de exposición a radiaciones entre las frecuencias 9 kHz a 300 GHz.

Es importante resaltar que los resultados de las investigaciones de la OMS indican que la exposición a ondas EM por debajo de los límites recomendados por la ICNIRP no producen, a corto plazo, efectos perjudiciales conocidos para la salud.

Que (...) en relación con lo anterior, diversos estudios internacionales, como el Study on the Feasibility of Epidemiological Studies on Health Effect of Mobile Telephone Base Stations, ARC-IT-0124, Neubauer, G. y otros, auspiciado entre otros por la Swiss Federal Office of Public Health (Marzo de 2005, página 41), establecen que las mediciones de exposición a CEM realizadas a diferentes fuentes de telefonía móvil y a una misma distancia presentan variaciones de más de 1000 veces entre ellas, las cuales se acentúan aún más en mediciones de otras fuentes radioeléctricas como es el caso de radiodifusión. Por tanto, las restricciones normativas para protección de las personas a los CEM generados por la infraestructura de telecomunicaciones inalámbricas solo pueden ser definidas en términos de niveles de exposición y no en distancias mínimas. [61]

Finalmente, los niveles máximos de exposición de CEM en Colombia se encuentran regulados por el Decreto 1078 del 26 de mayo de 2015 [62], el cual deroga al Decreto 195 de 2005, en cuyo capítulo 5 se "(...) adoptan los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos producidos por estaciones radioeléctricas en la gama de frecuencias de 9 KHz a 300 GHz y establece lineamientos y requisitos únicos en los procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas en telecomunicaciones". El decreto en mención atiende los niveles propuestos en la Recomendación UIT-T, K.52 [63].

Normatividad internacional

En cuanto a la normatividad internacional, la OMS es el organismo que más ha trabajado en la generación de contenido relacionado con RNI a partir del proyecto CEM y la información de las notas descriptivas relacionadas con las estaciones base de telefonía móvil [64]. En este sentido, la OMS describe los niveles de exposición y menciona los efectos o consecuencias que a corto y largo plazo tiene la interacción de la radiofrecuencia con el cuerpo humano, resaltando que el principal efecto es el calentamiento de los tejidos. También se dictan algunas directrices respecto a los límites de exposición.

Por otro lado, la organización encargada de definir internacionalmente los límites de exposición es la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP.

Mientras que el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) reglamenta los límites definidos por la ICNIRP con el estándar IEEE Std C95.1 [65].

Por su lado, la International Agency for Research in Cancer (IARC) ha clasificado los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como posibles carcinogénicos para los humanos (Grupo 2B) desde el 31 de mayo del 2011, y argumenta que un grupo de trabajo ha encontrado que estas exposiciones pueden inducir efectos en la salud a largo plazo, en particular un incremento en el riesgo de cáncer [5].

Sentencias, fallos y noticias

Sentencias y fallos

En este apartado se realiza un análisis de aspectos legales en torno a la COEM que se han establecido en Colombia. En una revisión histórica se encuentran asuntos que la Corte Constitucional, o algunos juzgados, han tratado respecto a la COEM, los cuales permiten formar un punto de vista en el tema de la jurisdicción, teniendo en cuenta que la mayoría de los casos son desestimados desde el punto de vista legal o solo son fallados a favor de los afectados si tienen en cuenta el principio de precaución. Para el ámbito internacional, se analizará un caso reciente de demanda en el contexto de COEM y sus efectos en la salud.

La mayoría de los antecedentes que se van a analizar pertenecen a casos llevados a segunda y tercera instancia, en los que no existe una implicación directa de reconocimiento de que los campos electromagnéticos son nocivos para la salud. Los nombres de los implicados serán obviados de la revisión.

En el 2010, la Sala Sexta de Revisión de la Corte Constitucional se pronunció sobre un caso en el cual una ciudadana, adulta mayor, demandó en contra de una empresa de telefonía móvil por la instalación de una torre de telecomunicaciones a menos de 100 m de su residencia en un barrio de la ciudad de Neiva. La ciudadana presentó la demanda luego de dos años de

ser instalada la antena; argumentó que la alta radiación de la torre fue culpable de que un dispositivo cardiodesfibrilador que le fue instalado en una cirugía fallara a los pocos días de llevarlo en su cuerpo y que por tal razón el médico tratante (cardiólogo y electrofisiólogo) le había recomendado vivir lejos de torres de comunicaciones por los peligros de descargas o desconfiguración del dispositivo [66]. La demanda se sustenta en los derechos fundamentales a la vida y a la salud, y fue fallada a favor de la demandante en primera instancia por un juez local. La empresa de telecomunicaciones impugnó el fallo argumentando que la antena no implica un peligro para la vida o la salud de las personas y que el interés general de la comunidad prima sobre el interés particular de la demandante. La sentencia del juzgado es sustentada en estudios citados en la relatoría sobre las consecuencias de exposición de hombres ante los campos electromagnéticos y cita (cursivas por los autores de este documento):

La telefonía móvil produce no solamente los efectos térmicos y otros no térmicos, no tan visibles y difíciles de cuantificar, que también pueden estar provocando graves problemas de salud, cáncer incluido. Efectos no térmicos que se deben a que buena parte de las ondas que emite un teléfono móvil están en el mismo rango de frecuencias en el que funcionan las células del cuerpo y por un simple efecto de biorresonancia pueden alterar su normal funcionamiento eléctrico [66]

Además, el juzgado apela al principio de precaución frente al principio de certeza científica.

Luego de una impugnación del demandado, un juzgado en segunda instancia revocó el fallo inicial, desestimando la declaración del médico tratante al no existir la certeza y presentar una mera probabilidad, según el fabricante del equipo, de que la falla de este se presentó por efecto de la antena. El segundo juzgado, además, presentó como argumento lo indicado por la OMS en cuanto a que las radiofrecuencias emitidas por antenas no son nocivas para la salud humana.

Finalmente, la Corte Constitucional ratificó el fallo de segunda instancia y no ordenó al demandado a retirar la torre de comunicaciones. Sin embargo, se hicieron algunas recomendaciones en cuanto a la aplicación del principio de precaución al momento de diseñar proyectos de este tipo estableciendo distancias prudentes de las antenas con

lugares donde hay alta concentración de niños y adultos mayores, reconociendo que esta población puede presentar mayor sensibilidad a la radiación de ondas electromagnéticas.

El fallo en sí es interesante, debido a que la Corte consulta a varios entes, entre los que se encuentran facultades de salud, grupos de investigación en comunicaciones, Ministerio de Tecnologías de la Información y el mismo médico tratante, sobre los efectos en la salud, y todos los aspectos técnicos referentes al caso.

En el 2014, la Sala Segunda de Revisión se pronunció sobre una demanda de una ciudadana de 20 años, quien, por principio de precaución, solicitó a una empresa de telefonía móvil la desinstalación de una antena de comunicación celular que se encontraba a 10 m de su lugar de residencia [67]. En este caso, en primera instancia, el Tribunal Superior del Distrito Judicial y en segunda instancia, la Civil Especializada en Restitución de Tierras, negaron el amparo solicitado por la demandante en contra de: la empresa prestadora del servicio, la Agencia Nacional de Espectro de Colombia, y la propiedad horizontal donde se encontraba instalada la antena.

En el caso objeto de la Sentencia T-701, la joven demandante, con hábitos de vida saludables y deportista, fue diagnosticada con un cáncer denominado linfoma no hodkin tipo B de célula grande. Los médicos tratantes indicaron que entre las posibles causas de la enfermedad se encuentra la exposición a las ondas de radiofrecuencia que emite la antena de telefonía móvil.

En este caso, la Corte Constitucional planteó el problema de si se vulnera el derecho fundamental a la salud de una persona que padece de cáncer, al tener en las inmediaciones de su lugar de residencia una antena de telefonía móvil, y cita varias sentencias anteriores, entre ellas, la Sentencia T-360/10 analizada anteriormente [66]. Finalmente, la Corte no aplicó el principio de precaución y reiteró los fallos de primera y segunda instancia.

A partir de lo anterior, se resumen algunos casos (tabla 10), en los cuales la Corte Suprema se ha pronunciado con ocasión de demandas en contra de prestadores de servicios de telefonía móvil, en los que se ha planteado la afectación a la salud.

Tabla 10. Resumen de sentencias de la Corte Suprema de Justicia colombiana sobre temas relacionados con COEM y sus posibles efectos en la salud humana

Sentencia	Demandado	Demandante y bases de la demanda	Consideraciones	Fallo
T-1062 de 2001 [68]	Propiedad horizontal	Señora que padecía un problema neurológico y que se agravó cuando en el conjunto donde vivía celebró un contrato de arrendamiento para la instalación de una torre de telefonía móvil; se pedía retirar la torre instalada	Certificaciones médicas que indicaban que no era recomendable que la demandante estuviera cerca de fuentes de contaminación electromagnética	Se concedió el amparo transitorio a la demandante por relación de causalidad. El argumento se basó en que si bien no existían estudios o se encontraban en trámite respecto a los efectos en la salud de las "partículas de radio", existía evidencia de que no se podían descartar dichos efectos
T-299 de 2008 [69]	Empresa prestadora del servicio de electricidad	Familia de padres y tres menores	El hecho fue superado	La Corte aprovechó esta oportunidad para hacer referencia y desarrollar el principio de precaución
T-332 de 2011 [70]	Empresa de comunicaciones móviles	Señor que alegaba la amenaza, sus derechos a la vida, integridad personal y salud por la construcción de una base de telecomunicaciones frente a su residencia. Se solicitó el retiro de la instalación	La Corte consideró que no se puede argumentar sobre suposiciones o eventuales situaciones que pudiesen ocurrir	Se negó el amparo solicitado
T-517 de 2011 [71]	Empresa de comunicaciones móviles	Vecinos demandan por la instalación de una antena en su sector residencial por considerarla peligrosa para su salud	La Corte estudia el nexo causal entre la radiación de las antenas y la afectación de la salud	La sala estableció de acuerdo con el Decreto 195 de 2005 que las radiaciones son de muy baja potencia y que no existe concepto científico para determinar la incidencia de la radiación en la salud, por lo que se niega la solicitud de los demandantes

T-1077 de 2012 [72]	Empresa de comunicaciones móviles	Menor de 15 años diagnosticado con histiocitosis de células Langerhans y representado por su madre	La accionante con certificación de médico tratante argumenta que se debe evitar al máximo la exposición a radiofrecuencia pese a que no hay estudios concluyentes, pero que se prevé que los estudios en desarrollo pueden asociar la exposición con el cáncer	Se reitera que de acuerdo con la normatividad vigente las antenas de telefonía móvil no representan un peligro para el estado de salud de las personas. Se referencia un estudio de IARC en el que se señala que estas han sido catalogadas como posiblemente carcinógenas. Se falla a favor del demandante
T-397 de 2014 [73]	Empresa de comunicaciones móviles	Administradora y representante legal de un edificio que argumenta el derecho a la vida y la salud de los residentes y especialmente de los niños por la instalación de una antena monopolo	En la demanda fue incluido un menor, representado por sus padres, quienes indicaron que desde que se instaló la antena a menos de 25 metros de su lugar de residencia, ha presentado reacciones adversas	La Corte ordenó el retiro de la antena invocando el principio de precaución y con el agravante de que la empresa prestadora no pudo demostrar tener los permisos legales para la instalación. Por otra parte, reiteró que se debe tener especial consideración si se trata de menores de edad y mucho más cuando están en etapa de desarrollo de su sistema nervioso

Fuente: elaboración propia.

En los casos anteriores, se observa que el principio fundamental que fue aplicado o invocado es el de precaución. En todos ellos se ha estudiado el problema de la instalación de antenas o bases de telecomunicaciones que emiten RNI o de radiofrecuencia. Los fallos no se han dado ante una relación de peligro demostrada, sino más bien, por la posibilidad, en los casos en que se ha fallado a favor del demandante. Cuando no se han amparado los intereses del demandante se ha tenido en cuenta el no encontrar una relación de causalidad entre las emisiones de las antenas y las afectaciones de la salud. En numerosos casos se han citado estudios internacionales, conceptos de entidades nacionales, o de la OMS, donde se clasifican las radiaciones no ionizantes como posiblemente carcinogénicas. A pesar de que no se puede indicar una tendencia entre amparar las pretensiones de los accionantes o demandantes, siempre hay discusión en torno al problema del interés particular y el interés colectivo, incluso el interés gubernamental y del derecho social de acceso a la comunicación de calidad.

En 2020, la Alianza de la ciudad de Santa Fe, Nuevo México, con sus apoderados (Santa Fe Alliance For Public Health And Safety) demandaron a la ciudad de Santa Fe, al Fiscal General de Nuevo México y a los Estados Unidos de América, alegando haber padecido afectaciones en su salud a causa de las ondas de radiofrecuencia emitidas por las instalaciones de telecomunicaciones inalámbricas, las cuales conllevaron a

(...) aumento del cáncer, de los trastornos neurológicos e inmunológicos y de otras enfermedades y síntomas (...) [además de dañar] el medio ambiente, causando cambios en el comportamiento de los animales, disminución de la reproducción, aumento de la mortalidad e impactos negativos en la salud tanto de los animales como de las plantas. [74]

Al solicitar la reclamación y reparación, el tribunal considera la desestimación de la demanda al no existir una evidencia clara de daño. Para ello se citaron otras demandas desestimadas sistemáticamente en el mismo aspecto y se ordenó ejercer jurisdicción suplementaria en contra de las demandas de los litigantes por perjuicio al estado. Esta sentencia es muy importante ya que plantea un punto de vista del recorrido histórico de la problemática, y analiza temas similares en la jurisdicción de los Estados Unidos.

Noticias nacionales e internacionales

En cuanto a las noticias internacionales, se pueden encontrar algunos aspectos significativos que se han publicado en páginas importantes y de difusión masiva que se resumen en esta sección.

Por otra parte, algunas noticias nacionales muestran los aspectos relevantes de las medidas de la Corte Constitucional concernientes a las demandas que esta ha analizado. El periódico El Espectador, en el año 2015, dio a conocer a la opinión pública el desmonte de una antena de telefonía móvil celular por estar cerca de la casa de un paciente con cáncer [75]. Un antecedente de ello se dio en el 2013, con un fallo trascendental de la Corte que limitaba los lugares donde las estaciones podían ser ubicadas, indicando claramente que las mismas "(...) no pueden estar ubicadas en inmediaciones de sectores residenciales, hospitales, clínicas, jardines infantiles, instituciones educativas y hogares geriátricos [76].

A mediados de febrero del 2020, el periódico El Espectador dio a conocer las preocupaciones y las acciones que se emprendieron en un barrio de la ciudad de Bogotá y se menciona:

La primera alerta la lanzó una de las familias que vive justo al frente de la antena. Aseguran que, en las noches, al levantar las cobijas, es tal la estática que se ven formarse pequeños rayos. “Estamos en el sexto piso, al frente de la antena y, además, tenemos unos ventanales grandes. Todo el día nos pasamos corrientazos, nos da insomnio y otros síntomas que compartimos con vecinos del mismo piso”, dice Maritza, habitante del edificio. [77]

Es importante mencionar que para este momento ya la Procuraduría había ordenado suspender la instalación de antenas de telecomunicaciones en algunos barrios aledaños por el rechazo y las acciones emprendidas por los vecinos del lugar en contra de que la ubicación de estas fuera en un parque. Se debe tener en cuenta que hay varias razones para que el cuerpo humano se cargue de energía estática, como la presencia de aparatos electrónicos, el material de los zapatos o la misma predisposición natural a la estática que se relaciona con la impedancia de los tejidos superficiales del ser humano, y que incluso puede variar con el estado de ánimo. Sin embargo, las personas van a presentar cierta preocupación al tener cerca dispositivos como antenas, lo cual genera situaciones de estrés, que ya es considerado un problema de salud pública.

En noticias internacionales, son varios los aspectos que se pueden analizar cuando se tiene en cuenta el tema de salud pública en relación con los procesos de instalación de antenas o dispositivos de comunicaciones, ya que las opiniones son encontradas y contradictorias en algunos aspectos, como se analiza en los párrafos siguientes.

La Defensoría del Pueblo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires emitió una noticia masiva en enero del 2016, titulada: Las antenas de telefonía celular y los posibles riesgos que sus radiaciones conllevan para la salud humana: informe de la Defensoría [78]. En este informe se tratan aspectos como el tipo de radiación que emiten las antenas de comunicación celular, las implicaciones en la salud de dichas radiaciones, la reglamentación local sobre la instalación de antenas, y los métodos de denuncia que pueden usar los ciudadanos ante la vulneración de sus derechos con ocasión de la instalación de antenas. Es importante resaltar que el informe menciona que las radiaciones no ionizantes de bajo nivel pueden causar

molestias en las personas de formas muy diversas, pero que no suelen provocar por sí solas enfermedades. Sin embargo, se indica que la exposición prolongada en el tiempo convierte a las RNI en un carcinógeno Clase B, es decir, un posible agente causante de cáncer.

Si bien, existen diferentes posturas respecto a la exposición a la RNI de las antenas y sus efectos en la salud de las personas, es importante analizar también la exposición a la radiación de los dispositivos de comunicación, especialmente los teléfonos móviles celulares. En este sentido, se debe tener en cuenta que, aunque la radiación emitida por el dispositivo móvil está cientos de veces por debajo de la potencia que maneja una antena, permanece mucho más cerca de los tejidos del cuerpo, en especial en la cabeza, por lo que las posibles afectaciones en células de los tejidos de la piel o del cerebro también se han estudiado ampliamente.

Por eso, se encuentran muchos ejercicios que se han realizado en diferentes partes del mundo donde se testean dispositivos de comunicación móvil, especialmente teléfonos inteligentes.

El conocido periódico Chicago Tribune, en agosto de 2019 asistió a un experimento en el que se sometieron a prueba diferentes marcas de los dispositivos móviles inteligentes más comunes y usados por el público en general en cuanto a radiación EM, y los resultados obtenidos encendieron las alarmas de la Federal Communications Commission (FCC), que tomó la decisión de realizar una investigación más profunda al respecto [79]. En la mayoría de los dispositivos bajo prueba, se encontró que se supera el límite establecido por la FCC, de $1,6 \text{ W/kg}^2$ promediado sobre un gramo de tejido, en algunos casos por niveles alarmantes de más del 500%. En este sentido, a pesar de que las compañías que venden dispositivos móviles están obligadas a testear sus dispositivos para cumplir con los límites, solo tienen que hacerlo con uno de los miles de dispositivos vendidos con un laboratorio que se elige voluntariamente por la empresa, además de tener en cuenta que el estándar fue adoptado en 1990, cuando llevar un dispositivo móvil pegado al cuerpo no era tan usual como ahora. A partir del estudio anterior, un colectivo de personas decidió demandar a dos de las empresas internacionales más icónicas por violar los límites permitidos y poner en riesgo la salud de los usuarios [80].

La controversia se agudiza en un momento en el cual se está lanzando al mundo la tecnología 5G, que corresponde a la quinta generación de la tecnología móvil celular, que promete mayor velocidad de navegación, streaming y descargas, al mismo tiempo que mejor conectividad, y presenta frecuencias mayores a las utilizadas actualmente en las comunicaciones móviles. Desde el 2017 se han lanzado voces de alarma respecto a los posibles efectos que puede llegar a tener la masificación de la tecnología 5G, como lo muestra el periódico electrónico Piensa Chile en una nota del año 2019, donde más de 230 científicos y médicos de 36 países recomiendan "(...) una moratoria para el despliegue de la quinta generación de telecomunicaciones, 5G, hasta que los peligros potenciales para la salud humana y el medio ambiente hayan sido investigados por científicos independientes de la industria" [81].

Por otro lado, el diario internacional Medical News Today, en 2019, planteó también la discusión sobre los posibles efectos en la salud con la masificación de las tecnologías 5G. En el planteamiento de Medical News Today se resalta que muchas agencias gubernamentales y organizaciones indican que no hay razón para alarmarse por los efectos de las ondas de radiofrecuencia sobre la salud humana, pero algunos expertos no están de acuerdo con esta afirmación [82].

El problema principal, según Medical News Today, es quién o quiénes defienden la tesis de que no hay efectos adversos para la salud, ya que, a pesar de que la OMS no ha catalogado la RNI como posiblemente cancerígena, la IARC [83], que forma parte de la OMS, sí ha dado esta catalogación. La cuestión es que, según un reporte de 2017 en la International Journal of Oncology, de casi 30 médicos y científicos expertos, muchos miembros del proyecto internacional EMF [84] son también miembros del ICNIRP, organización que ellos describen como una ONG leal a la industria, lo que implicaría un conflicto de intereses al investigar los efectos de las EMF sobre la salud, tarea dada al proyecto internacional del mismo nombre. Además, el BioInitiative report [22] de los mismos investigadores, indica que los bioefectos están claramente establecidos y ocurren a niveles muy bajos de exposición a EMF y radiación de radiofrecuencia. El anterior aspecto es resaltado por Agostino Di Ciaula [85], quien indica:

Las pruebas sobre las propiedades biológicas de los CEM de alta frecuencia se están acumulando progresivamente y, aunque en algunos casos todavía son preliminares o controvertidas, apuntan claramente a la existencia de interacciones en múltiples niveles entre los CEM de alta

frecuencia y los sistemas biológicos y a la posibilidad de efectos oncológicos y no oncológicos (principalmente reproductivos, metabólicos, neurológicos, microbiológicos).

Capítulo 3.

Método para estimación de la contaminación EM

En el presente capítulo se presenta la propuesta metodológica desarrollada para medir los niveles de COEM.

La metodología desarrollada considera que en un sitio de medición pueden coexistir diferentes fuentes RNI, las cuales realizarán múltiples aportes a los niveles de contaminación electromagnética (figura 25). Dado lo anterior, es necesario aplicar el concepto de superposición a los múltiples aportes, realizando mediciones de los CEM emitidos por diferentes fuentes, asumiendo que el ambiente se comporta como un sistema lineal (es decir, múltiples frecuencias ingresan al ambiente y este no las modifica).

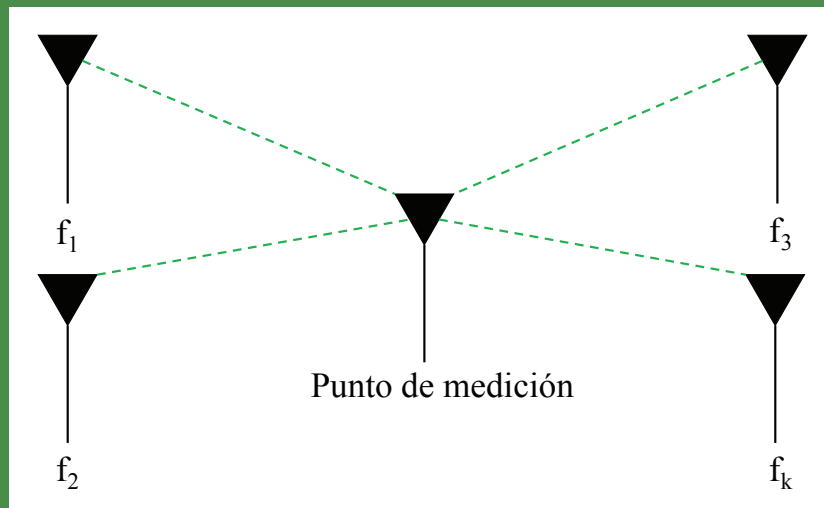


Figura 25. Concepto de superposición

Fuente: elaboración propia.

La metodología desarrollada considera que en un sitio de medición se van a presentar múltiples emisiones de COEM de k fuentes diferentes de RNI, asociando así cada una de estas emisiones a un vector de intensidad de CEM. De tal manera, y considerando que cada una de las k fuentes están ubicadas en una coordenada (x_i, y_i, z_i) , es posible definir el valor de la medición total de campo electromagnético (denotado como: MTCEM), en el punto de medición $P(x_d, y_d, z_d)$, a partir de la sumatoria de los aportes que realiza cada una de las fuentes, con la siguiente expresión:

$$MTCEM(x_d, y_d, z_d) = \sum_{i=0}^k F_i(x_i, y_i, z_i) \quad (4)$$

Donde:

F_i aporte de la fuente bajo análisis.

Se asume que el conjunto de las k fuentes genera una OCOEM. Dicho conjunto es representado por un vector así:

$$K = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_k\} \quad (5)$$

A partir de la teoría de onda plana, es posible definir que en la región de campo lejano de la fuente RNI, basta con medir, para la k -ésima, algunos de los siguientes parámetros: E (intensidad de campo eléctrico), H (intensidad de campo magnético) o S (densidad de potencia), y a partir del parámetro medido obtener los restantes, de manera que cada k -fuente realiza una emisión, la cual tiene asociados los parámetros mencionados que pueden ser representados por el vector:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_k\} \quad (6)$$

Donde:

a_k es bien sea E, H o S

Los anteriores vectores permiten definir una expresión matemática para la OCOEM en un punto de medición:

$$OCOEM(t) = \sum_{i=0}^k a_k e^{j\omega_i t} \quad (7)$$

Donde:

k es el número de fuentes RNI

ω_i es la frecuencia de operación de la i -ésima fuente RNI.

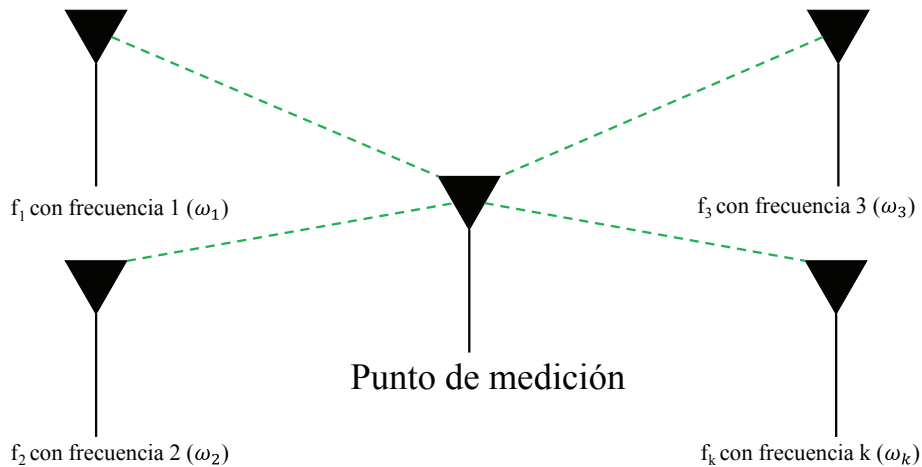


Figura 26. k fuentes incidentes en el punto de medición, cada una con su respectiva frecuencia de emisión

Fuente: elaboración propia.

La expresión propuesta demuestra que la OCOEM es una onda compleja, al estar compuesta por el aporte de las k fuentes de RNI, con diferentes frecuencias, circundantes al punto de medición. Siendo así, todos los dispositivos ubicados en el punto de medición son

susceptibles a la OCOEM, pero cuentan con sistemas de filtrado (blindaje electromagnético en algunos casos) que rechazan las componentes espectrales que no requieren para su funcionamiento. Por otro lado, el cuerpo humano no cuenta con este tipo de sistemas, pero es susceptible de recibir todas las componentes espectrales de la OCOEM.

Considerando que la OCOEM está compuesta por la contribución de k fuentes de RNI, tal como lo indica la expresión (7), es necesario que la metodología de medición considere la existencia de fuentes del tipo intermitentes, es decir, aquellas que realizan emisiones durante intervalos temporales cortos de manera aleatoria. Estas deben ser incluidas en el vector representado por la expresión (5).

Para cada elemento del vector de fuentes (5), en cada sitio de medición se debe establecer un tiempo de muestreo. Este tiempo es definido de 6 minutos, en concordancia con [86]–[89], y tal como lo contempla la ICNIRP en [90]. Si la fuente que se encuentra en análisis es intermitente, se propone ampliar la ventana de tiempo de muestreo a un valor de 20 minutos.

Cada sitio de medición debe ser dividido en una malla que permita generar N puntos de medición. Dicha malla deberá ser de una dimensión $j*m$, y de allí se procede a realizar una medición en modo discreto, es decir, punto a punto. Una vez se han finalizado las mediciones en los N puntos, para una de las k fuentes del vector (5), se realiza un promedio espacial de los valores obtenidos de las mediciones realizadas en la malla, aplicando la expresión (8):

$$prom = \frac{\sum_{j=0}^N \sum_{m=0}^N valor(j, m)}{N} \quad (8)$$

Finalmente, una vez se han obtenido los valores de las mediciones de k fuentes identificadas en el sitio de interés, es posible aplicar la expresión (7), para calcular el aporte total de las k fuentes RNI.

En el siguiente diagrama de flujo (figura 25) es posible visualizar, de forma general, el procedimiento de medición para una zona.

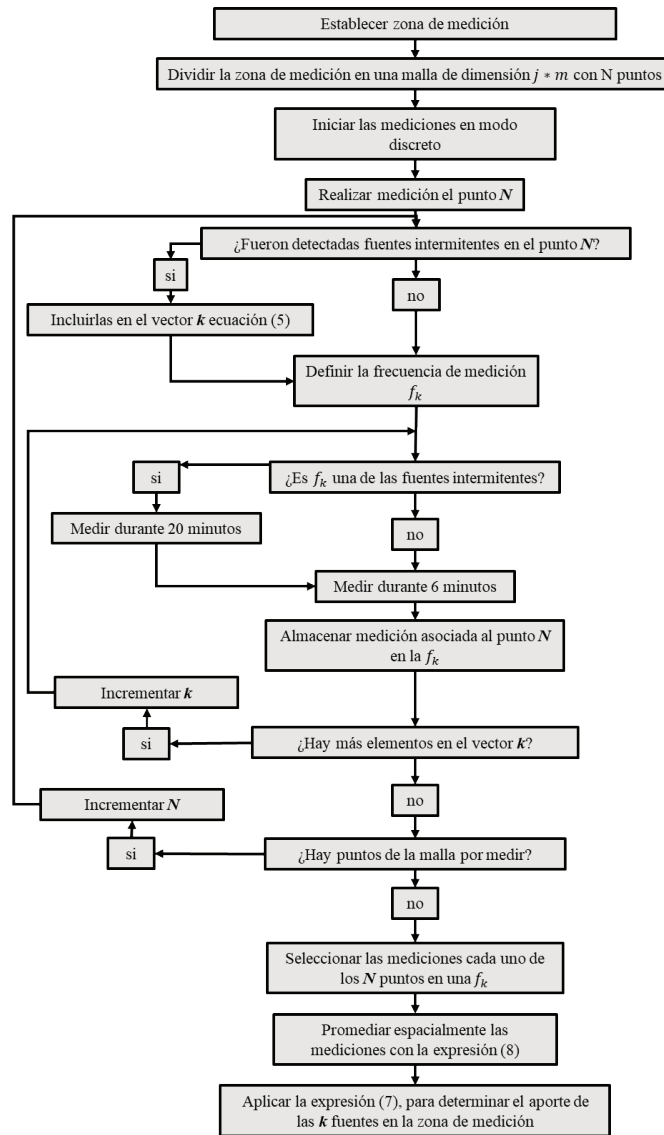


Figura 27. Diagrama de flujo descriptivo de la metodología de medición
Fuente: elaboración propia.

Capítulo 4. Estudio de caso

En este capítulo se presenta el estudio de caso en la ciudad de Manizales, ubicada en el departamento de Caldas, Colombia. La ciudad, de acuerdo con las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), y el Centro de Información Estadística de la Secretaría de Planeación Municipal [91], cuenta con aproximadamente 400.000 habitantes. Está ubicada en la zona centro del país, sobre la cordillera Central, la cual es una ramificación de los Andes. Manizales presenta una topografía de montaña bastante accidentada, por lo que debe instalar estaciones emisoras para telecomunicaciones móviles en diversos puntos de la ciudad, para cubrir los requerimientos de la población en la zona urbana en cuanto a comunicaciones. Lo anterior conlleva a tener un importante número de BTS en la ciudad. Por esta razón, Manizales es un escenario propicio para realizar un mapa de COEM, que permite evaluar cómo se encuentra distribuido espacialmente este tipo de contaminación. Para la elaboración del mapa de COEM de la ciudad, fue aplicada la metodología de medición propuesta anteriormente.

Haciendo uso de la metodología de medición, se realizó una campaña de medición en la ciudad de Manizales (figura 26).



Figura 28. Campaña de medición en la ciudad de Manizales
Fuente: elaboración propia.

El equipo de medición utilizado fue el NARDA NBM-550 (figura 27) (tabla 11), un equipo de banda ancha al cual se le configura un valor de frecuencia. Cuenta con sonda de medición isotrópica, lo cual permite medir E , H o S en las tres componentes espaciales x , y y z . El valor medido es el RSS (Root Sum Square), expresado en la siguiente ecuación:

$$RSS = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (9)$$



Figura 29. Equipo de medición NARDA NBM-550, con la sonda de 100KHz – 3GHz y en la parte frontal el GPS GARMIN
Fuente: elaboración propia.

Las mediciones fueron realizadas en diversos sectores de la zona urbana, tales como el centro de la ciudad y vías con mayor tráfico vehicular y peatonal. Se inició con la hipótesis de que se pueden presentar mayores niveles de Ocoem en estos sectores, debido a la mayor concentración de BTS. Por otro lado, las zonas fueron definidas considerando también la cantidad de personas que pueden frecuentar dichos sectores.

Las frecuencias de medición del vector de fuentes (5) para esta campaña de medición son las de los operadores de telefonía móvil en Colombia: 850 MHz, 1900 MHz. Otras fuentes RNI consideradas operan en las bandas de 900 MHz (telefonía inalámbrica y redes LPWAN Low Power Wide Area Network como LoRaWAN y Sigfox) y 2,4 GHz (Wi-Fi), relacionadas con tecnologías IoT. Asimismo, se incluyeron las fuentes intermitentes definidas en la metodología de medición.

Tabla 11. Especificaciones del equipo NBM -550

Unidad de medición	mW/m ² , W/m ² , V/m, A/m
Tipos de resultados	Actual, máximo, mínimo, promedio, promedio máximo
Tiempo de promediado	4 segundos a 30 minutos (saltos de 2 segundos)
Promedio espacial	Discreto o continuo
Capacidad de almacenamiento	Hasta 5000 resultados
Memoria	12 MB
Tipo de receptor GPS	Garmin, 12 canales de seguimiento satelital, con corrección DGPS

Fuente: [92].

En relación con las frecuencias seleccionadas para realizar la campaña de medición, los límites máximos de exposición permitidos de E y S , en la zona de público en general, según el Decreto 195 de 2005 de Colombia [93], el cual está fundamentado en la normativa de la ICNIRP [90], son:

Tabla 12. Límites máximos de exposición permitidos

Frecuencia (MHz)			
850	33,06	87	0,38
1900	23,09	63	0,38
2400	10	61	0,16

Fuente: [93].

Observando los valores obtenidos con la metodología de medición propuesta, y consignados en la tabla del anexo 2, se evidencia que los valores de S son inferiores a los niveles máximos de exposición permitidos por el Decreto 195 de 2005 [93].

Una vez obtenidos los datos y consignados en dicha tabla (anexo 2), se aplica la expresión (7) para cada uno de los sitios de medición, con la finalidad de obtener el valor de contaminación EM en dicho sitio. Posteriormente, es posible elaborar el mapa de contaminación electromagnética, aplicando técnicas de interpolación a los datos. En este caso se utilizaron dos técnicas de interpolación, triangulación de Delaunay y distancia inversa, con dos software diferentes, para obtener, por medio de cada técnica, mapas con los que fuera posible realizar una comparación.

En las siguientes subsecciones se describen los mapas obtenidos.

Mapa de contaminación EM aplicando triangulación de Delaunay

Según Tortosa y Vicent [94], la técnica de interpolación de Delaunay establece una triangulación sobre una nube de puntos, en la que los puntos más próximos entre sí están conectados por una arista o, dicho de otra forma, en la que los triángulos resultantes sean los más regulares posibles.

Los valores de contaminación EM registrados, con sus respectivas coordenadas, crean un vector $[x,y,z]$ donde (x, y) son las coordenadas del punto de medición sobre el terreno de la ciudad, y la variable z representa el valor de contaminación en dicho punto. Con el conjunto de los datos de medición que cubren el terreno de la ciudad de Manizales, es posible generar una nube de puntos. De esta manera, si cada punto tiene un vector de geo-referenciación asociado $P=[x,y,z]$, la nube total de puntos será:

$$\begin{bmatrix} [x_1, y_1, z_1] \\ [x_2, y_2, z_2] \\ \vdots \\ [x_n, y_n, z_n] \end{bmatrix} \quad (10)$$

Los puntos de medición conforman los triángulos para cubrir el dominio del terreno, y cada punto es elevado a un valor z asociado al valor de contaminación, logrando la triangulación 3-D.

Los puntos de medición son los vértices de los triángulos, y a partir de estos vértices se traza una circunferencia. Si esta es vacía (lo que ocurre cuando no contiene vértices distintos a los que la definen), se obtiene la triangulación de Delaunay. El valor del siguiente determinante permite validar la existencia de la triangulación de Delaunay:

$$\begin{vmatrix} A_x & A_y & A_x^2 + A_y^2 & 1 \\ B_x & B_y & B_x^2 + B_y^2 & 1 \\ C_x & C_y & C_x^2 + C_y^2 & 1 \\ D_x & D_y & D_x^2 + D_y^2 & 1 \end{vmatrix} > 0 \quad (11)$$

Donde:

A, B, C son los vértices en el plano xy

D es un punto que puede existir al interior de la circunferencia

Si D existe, el determinante de la matriz será mayor a cero, así que no existe la triangulación de Delaunay.

Finalmente, con el uso de un software matemático y aplicando la triangulación de Delaunay se genera el mapa de COEM. El mapa fue obtenido generando en la coordenada (x,y) una elevación en z correspondiente al valor calculado para Ocoem en dicho punto. En las figuras 29, 30 y 31 es posible observar el mapa generado.

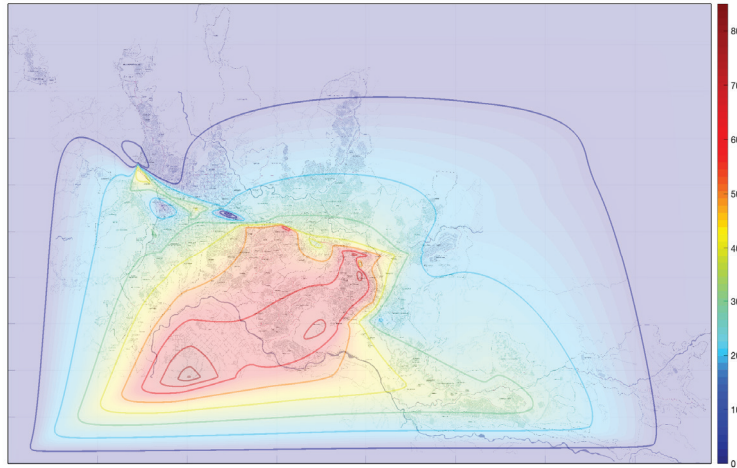


Figura 30. Vista superior del mapa de contaminación generado
Fuente: elaboración propia.

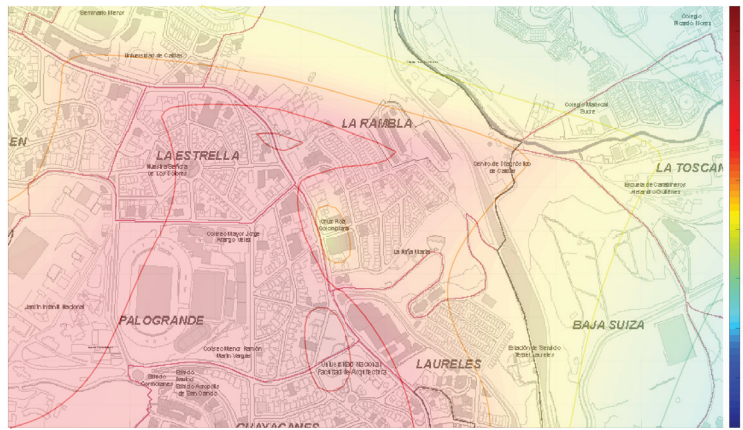


Figura 31. Acercamiento del mapa de contaminación EM generado mostrando la zona con los niveles más elevados
Fuente: elaboración propia.

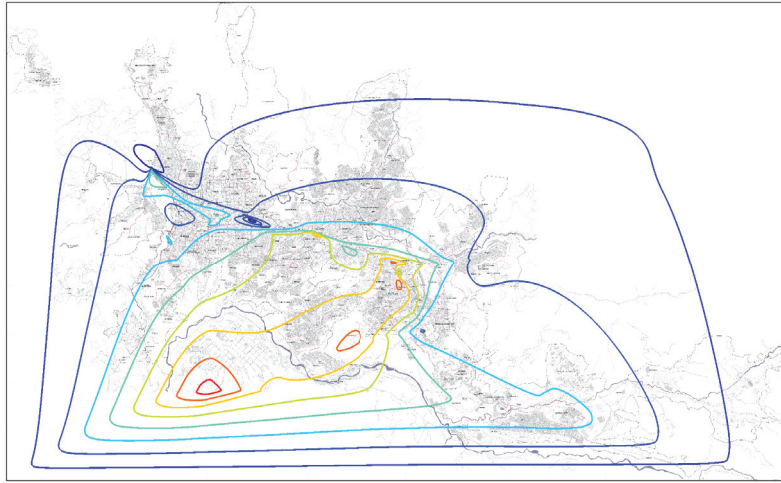


Figura 32. Mapa generado con curvas de nivel de contaminación en Manizales
Fuente: elaboración propia.

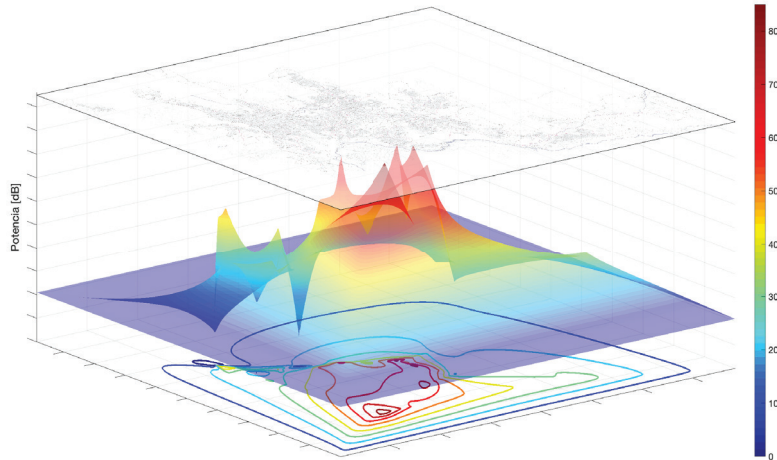


Figura 33. Mapa en 3D de la contaminación EM generado
Fuente: elaboración propia.

Con el software utilizado fue posible generar una vista en 3D de los niveles de COEM en la ciudad, con sus respectivas curvas de nivel. Esto se convierte en un importante resultado de todo este proceso de investigación, ya que este tipo de mapas permite obtener una interpretación visual más rápida sobre el comportamiento de la contaminación EM en la ciudad (figura 32).

Sistema de información geográfico de radiación EM móvil. Mapa de COEM elaborado mediante IDW

Con la metodología de medición propuesta es posible desarrollar un sistema de información geográfico (SIG), que permita visualizar en tiempo real los niveles de contaminación electromagnética en una ciudad. Para ello, el mapa debería ser generado con alguna herramienta SIG. En este caso de estudio, haciendo uso de QGIS⁶ se generó la capa COEM para la ciudad de Manizales.

Para generar la capa se aplicó el método Inverse Distance Weighting (IDW). En este, según el QGIS [95], los puntos de muestra se ponderan durante la interpolación, de modo que la influencia de un punto en relación con otro disminuye con la distancia desde el punto desconocido que desea crear. IDW es una técnica que utiliza la lógica de ponderación para crear datos de la superficie y el peso con una distancia, lo que significa que más distancia disminuye el valor del peso como la función entre los puntos [96].

Aplicando está técnica de interpolación con QGIS, fue posible obtener el siguiente mapa.

⁶ QGIS es un sistema de información geográfica libre y de código abierto. <https://www.qgis.org/es/site/>

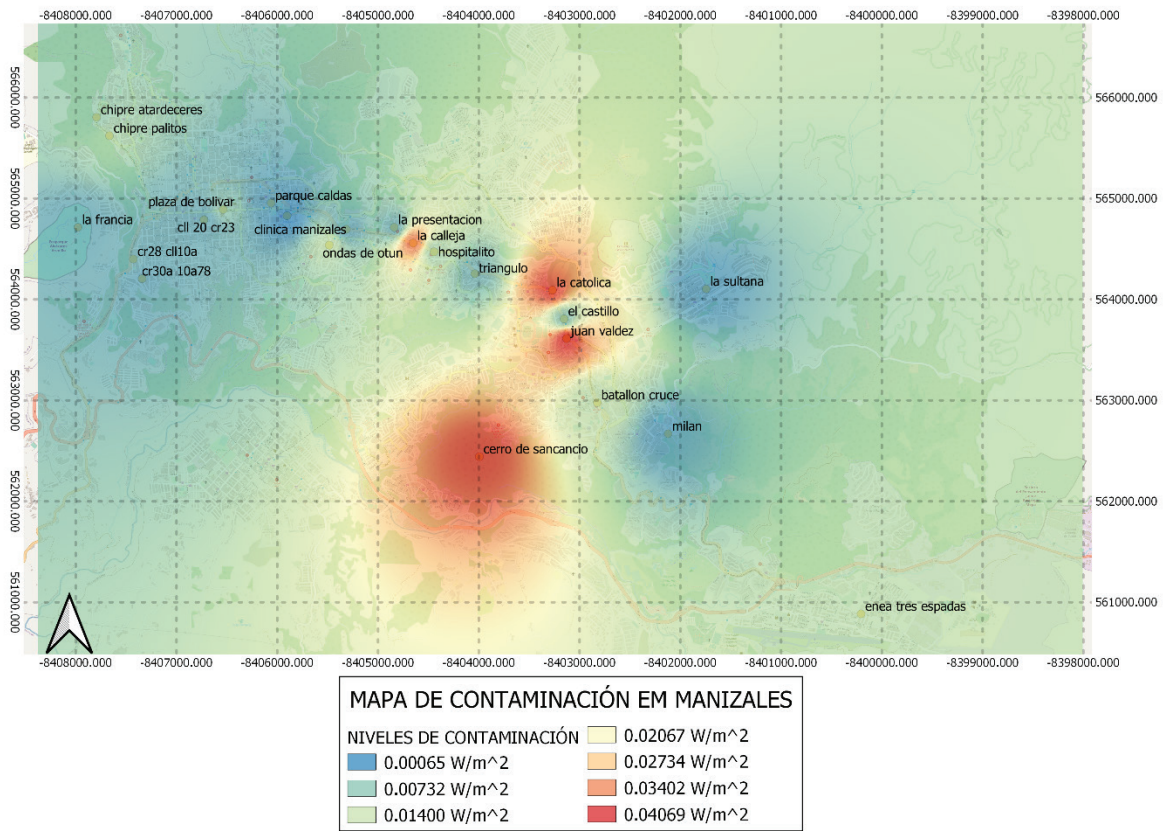


Figura 34. Sistema de información geográfico de COEM

Fuente: elaboración propia.

Realizando una inspección visual, es posible apreciar que los niveles de COEM en la ciudad no son iguales, debido a que las fuentes RNI que existen en Manizales se encuentran dispersas. En el mapa es posible apreciar en rojo los puntos de la ciudad donde el nivel de COEM es alto, y en azul los puntos de menor nivel. Los lugares con menor nivel de COEM, en color verde, se encuentran en las afueras de la ciudad.

Por otro lado, realizando la comparación visual entre los resultados obtenidos con el software matemático y QGIS, se evidencia que los resultados son similares. Lo anterior permite que, en un futuro, toda esta investigación pueda ser implementada en un SIG con un módulo de visualización 3D realizado en el software matemático, lo cual sería de gran utilidad para monitorear los picos de COEM.

Capítulo 5. Conclusiones

¿Las emisiones electromagnéticas asociadas a los sistemas de comunicación son nocivas para la salud humana y el medio ambiente? Para aportar elementos de juicio en torno a la respuesta a este cuestionamiento —pregunta fundamental sobre los sistemas de telecomunicaciones (3G, 4G y 5G) que orientó la investigación que dio lugar a esta obra— fue adaptado un método de desarrollo de un estudio bibliométrico con un ejercicio aplicado. Esto ayuda a la comprensión de cada parte del proceso y permite una trazabilidad completa de la revisión bibliográfica por medio de herramientas de uso libre y con bajo consumo de recursos de cómputo. Asimismo, la bibliometría permite determinar los aspectos más importantes desarrollados en la ciencia respecto a la COEM y los posibles efectos en la salud humana.

La revisión bibliográfica realizada sobre los artículos científicos que desarrollan la relación entre las RNI emitidas por BTS y los equipos de telecomunicaciones y sus posibles efectos sobre la salud, deja ver dos posturas. Una afirma que los estudios realizados no cuentan con la capacidad, desde su diseño experimental, para asociar la exposición a RNI con efectos biológicos. La otra postura indica que la evidencia es suficiente para asociar la RNI con efectos biológicos y, a la vez, afirma que la RNI puede causar efectos biológicos al generar estrés oxidativo en las células, sin que dicha radiación deba tener la suficiente energía para generar modificaciones moleculares.

En el presente libro se propuso, como un aporte en la búsqueda de la respuesta a la pregunta planteada, una metodología para la elaboración de mapas de exposición a COEM que se fundamenta en una propuesta realizada en el mismo libro, que sugiere considerar la OCOEM, no como la contribución de una única fuente, sino, como la sumatoria de las emisiones de múltiples fuentes de RNI presentes en un punto de medición. Actualmente, la legislación exige a los operadores de servicios de telecomunicaciones realizar mediciones que no superen los límites establecidos por la normativa, únicamente en la frecuencia del espectro que le ha sido adjudicada. Sin embargo, la legislación no establece si se están violando los límites de exposición por la acción de todas las frecuencias que se pueden encontrar en un punto determinado.

Por otro lado, se llevó a cabo una investigación, en el campo legal, en bases de datos sobre legislación nacional e internacional. Esto ha permitido realizar una trazabilidad de las consecuencias legales que ha tenido el desarrollo de las redes de comunicación, y revisar las formas en que las cortes han obrado en los casos en los que ha existido una duda razonable respecto a los efectos de la COEM en la salud física y mental del ser humano, de modo que se han podido desarrollar conceptos tan importantes como el principio de precaución, aplicado en varios casos.

Posteriormente, a partir de la metodología de elaboración de mapas de exposición, se desarrolló un estudio de caso en la ciudad de Manizales, en el cual se implementó el proceso para obtener el mapa de exposición y se propuso el desarrollo de un sistema de información geográfico en tiempo real de COEM. Como resultado del estudio de caso, en el mapa de exposición obtenido se observa que los mayores niveles de COEM en Manizales se encuentran en el centro de la ciudad. Lo anterior valida la hipótesis de que debido a la alta concentración de estaciones base, los niveles de COEM son superiores por acción de las múltiples fuentes de emisión en frecuencias distintas. Es así como se espera que el mapa obtenido y la metodología planteada puedan ser útiles para el desarrollo de los planes de ordenamiento territorial de la ciudad de Manizales, en aras de la definición de la instalación de nuevas estaciones base de telefonía y demás tecnologías inalámbricas de comunicación.

En el desarrollo de la investigación se evidenció que, para fortalecer la metodología de elaboración de mapas de exposición se podría considerar, en un futuro, analizar la

variabilidad espacio temporal de la COEM. Esto sería posible si se incursiona en el diseño de dispositivos de bajo costo que permitan realizar mediciones constantes y automáticas, ampliando la cobertura espacial, para lograr así implementar un sistema de información en tiempo real, que evidencie la variabilidad en cuestión. Por otro lado, el despliegue del sistema de información en tiempo real podría permitir la realización de investigaciones más profundas en el campo de la COEM relacionadas con afectaciones a la salud pública, que permitan analizar correlaciones de los mapas de exposición con bases de datos clínicas de las instituciones territoriales de salud.

Referencias

- [1] Cisco, "Cisco Annual Internet Report (2018–2023)," 2020.
- [2] Ericsson Inc, "More than 50 Billion Connected Devices - Taking connected devices to mass market and profitability," 2011. doi: 284 23-3149 Uen.
- [3] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, "Boletín Trimestral de las TIC," 2020.
- [4] Commite on the environment Agriculture and Local and Regional Affairs, "The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment," Luxembourg, 2011.
- [5] International Agency for Research on Cancer (IARC), "Classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans." World Health Organization - International Agency for Research on Cancer, Lyon, pp. 1–6, 2011.
- [6] Wikipedia Commons, "Espectro Electromagnético." https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b3/EM_Spectrum_Properties_es.svg/1280px-EM_Spectrum_Properties_es.svg.png.
- [7] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, "Plan técnico nacional de radiodifusión sonora amplitud modulada (A.M)," Bogotá, 2016.
- [8] N. Kwan-Hong, "Non-Ionizing Radiations - Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures," in Proceedings of the International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN, 2003, no. October, pp. 1–16.
- [9] J. Torres O and L. Alzate A, "Efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en sistemas biológicos," Rev. Médica Risaralda, vol. 12, no. 2, p. 5, 2006, doi: 10.22517/25395203.985.
- [10] R. Pérez Alfonso, "Los teléfonos celulares y la salud," Umbral Científico, vol. 1, pp. 17–23, 2002.
- [11] F. Subhan, A. Khan, S. Ahmed, M. N. Malik, S. T. Bakshah, and S. Tahir, "Mobile Antenna's and Its Impact on Human Health," J. Med. Imaging Heal. Informatics, vol. 8, no. 6, pp. 1266–1273, 2018, doi: 10.1166/jmihi.2018.2296.
- [12] B. B. Levitt and H. Lai, "Biological effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays," Environ. Rev., vol. 18, no. 1, pp. 369–395, 2010, doi: 10.1139/A10-O18.

- [13] A. C. Dode et al., "Mortality by neoplasia and cellular telephone base stations in the Belo Horizonte municipality, Minas Gerais state, Brazil," *Sci. Total Environ.*, vol. 409, no. 19, pp. 3649–3665, 2011, doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.05.051.
- [14] Imperial College London, "COSMOS." .
- [15] D. Shahbazi-Gahrouei, M. Karbalae, H. A. Moradi, and M. Baradaran-Ghahfarokhi, "Health effects of living near mobile phone base transceiver station (BTS) antennae: A report from Isfahan, Iran," *Electromagn. Biol. Med.*, vol. 33, no. 3, pp. 206–210, 2014, doi: 10.3109/15368378.2013.801352.
- [16] D. F. da Silva, W. R. Barros, M. da C. C. de Almeida, and M. A. V. Rêgo, "Exposure to non-ionizing electromagnetic radiation from mobile telephony and the association with psychiatric symptoms," *Cad. Saude Publica*, vol. 31, no. 10, pp. 2110–2126, 2015, doi: 10.1590/0102-311X00104114.
- [17] L. L. Morgan, A. B. Miller, A. Sasco, and D. L. Davis, "Mobile phone radiation causes brain tumors and should be classified as a probable human carcinogen (2A) (Review)," *Int. J. Oncol.*, vol. 46, no. 5, pp. 1865–1871, 2015, doi: 10.3892/ijo.2015.2908.
- [18] M. Havas, "When theory and observation collide: Can non-ionizing radiation cause cancer?," *Environ. Pollut.*, vol. 221, pp. 501–505, 2017, doi: 10.1016/j.envpol.2016.10.018.
- [19] L. Yang, D. Hao, M. Wang, Y. Zeng, S. Wu, and Y. Zeng, "Cellular neoplastic transformation induced by 916 MHz microwave radiation," *Cell. Mol. Neurobiol.*, vol. 32, no. 6, pp. 1039–1046, 2012, doi: 10.1007/s10571-012-9821-7.
- [20] A. Kuzniar et al., "Semi-quantitative proteomics of mammalian cells upon short-term exposure to nonionizing electromagnetic fields," *PLoS One*, vol. 12, no. 2, pp. 1–25, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0170762.
- [21] A. Vornoli, L. Falcioni, D. Mandrioli, L. Bua, and F. Belpoggi, "The contribution of in vivo mammalian studies to the knowledge of adverse effects of radiofrequency radiation on human health," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 18, pp. 1–27, 2019, doi: 10.3390/ijerph16183379.
- [22] Biolnitiative Working Group, "A Rationale for Biologically-based Exposure Standards for Low-Intensity Electromagnetic Radiation," 2012.
- [23] K. H. Kim, E. Kabir, and S. A. Jahan, "The use of cell phone and insight into its potential human health impacts," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 188, no. 4, pp. 1–11, 2016, doi: 10.1007/s10661-016-5227-1.

- [24] J. M. Pearce, "Limiting liability with positioning to minimize negative health effects of cellular phone towers," *Environ. Res.*, vol. 181, p. 108845, 2020, doi: 10.1016/j.envres.2019.108845.
- [25] H. M. Cooper, "A taxonomy of literature reviews," in *Annual meeting of the American Educational Research Association*, 1985, pp. 1–46.
- [26] J. Jesson, L. Matheson, and F. M. Lacey, *Doing your literature review: Traditional and systematic techniques*. Sage, 2011.
- [27] [27] M. Fetscherin and J.-C. Usunier, "Corporate branding: An interdisciplinary literature review," *Eur. J. Mark.*, vol. 46, no. 5, pp. 733–753, 2012, doi: 10.1108/O3090561211212494.
- [28] M. Aria and C. Cuccurullo, "bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis," *J. Informetr.*, vol. 11, no. 4, pp. 959–975, 2017, doi: 10.1016/j.joi.2017.08.007.
- [29] S. Tabacaru, "Web of Science versus Scopus: Journal Coverage Overlap Analysis 1 Texas A&M University Libraries," pp. 1–7, 2019.
- [30] B. Elango and P. Rajendran, "Authorship trends and collaboration pattern in the marine sciences literature: a scientometric study," *Int. J. Inf. Dissem. Technol.*, no. May 2014, 2012.
- [31] P. Riehmman, M. Hanfler, and B. Froehlich, "Interactive sankey diagrams," *Proc. - IEEE Symp. Inf. Vis.*, no. November 2005, pp. 233–240, 2005, doi: 10.1109/INFVIS.2005.1532152.
- [32] J. E. Hirsch, "An index to quantify an individual's scientific research output," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 102, no. 46, pp. 16569–16572, 2005, doi: 10.1073/pnas.0507655102.
- [33] L. Egghe, "Theory and practise of the g-index," *Scientometrics*, vol. 69, no. 1, pp. 131–152, 2006, doi: 10.1007/s11192-006-0144-7.
- [34] L. Hardell, M. Carlberg, and L. K. Hedendahl, "Radiofrequency radiation from nearby base stations gives high levels in an apartment in Stockholm, Sweden: A case report," *Oncol. Lett.*, vol. 15, no. 5, pp. 7871–7883, 2018, doi: 10.3892/ol.2018.8285.
- [35] D. Leszczynski, S. Joenväärä, J. Reivinen, and R. Kuokka, "Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects," *Differentiation*, vol. 70, no. 2–3, pp. 120–129, 2002, doi: 10.1046/j.1432-0436.2002.700207.x.

- [36] G. N. De luliis, R. J. Newey, B. V. King, and R. J. Aitken, "Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro," *PLoS One*, vol. 4, no. 7, 2009, doi: 10.1371/journal.pone.0006446.
- [37] L. Hardell and C. Sage, "Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards," *Biomed. Pharmacother.*, vol. 62, no. 2, pp. 104–109, 2008, doi: 10.1016/j.biopha.2007.12.004.
- [38] P. Frei et al., "A prediction model for personal radio frequency electromagnetic field exposure," *Sci. Total Environ.*, vol. 408, no. 1, pp. 102–108, 2009, doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.09.023.
- [39] G. Abdel-Rassoul et al., "Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations," *Neurotoxicology*, vol. 28, no. 2, pp. 434–440, 2007, doi: 10.1016/j.neuro.2006.07.012.
- [40] E. A. Navarro, J. Segura, M. Portolés, and C. Gómez-Perretta, "The Microwave Syndrome: A Preliminary Study in Spain," *Electromagn. Biol. Med.*, vol. 22, no. 2–3, pp. 161–169, 2003, doi: 10.1081/JBC-120024625.
- [41] M. H. Repacholi, "Health risks from the use of mobile phones," *Toxicol. Lett.*, vol. 120, no. 1–3, pp. 323–331, 2001, doi: 10.1016/S0378-4274(01)00285-5.
- [42] O. Erogul et al., "Effects of Electromagnetic Radiation from a Cellular Phone on Human Sperm Motility: An In Vitro Study," *Arch. Med. Res.*, vol. 37, no. 7, pp. 840–843, 2006, doi: 10.1016/j.arcmed.2006.05.003.
- [43] V. G. Khurana, L. Hardell, J. Everaert, A. Bortkiewicz, M. Carlberg, and M. Ahonen, "Epidemiological evidence for a health risk from mobile phone base stations," *Int. J. Occup. Environ. Health*, vol. 16, no. 3, pp. 263–267, 2010, doi: 10.1179/oeht.2010.16.3.263.
- [44] J. F. B. Bolte and T. Eikelboom, "Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in the Netherlands: Exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area," *Environ. Int.*, vol. 48, pp. 133–142, 2012, doi: 10.1016/j.envint.2012.07.006.
- [45] J. Zhang, Q. Yu, F. Zheng, C. Long, Z. Lu, and Z. Duan, "Comparing keywords plus of WOS and author keywords: A case study of patient adherence research," *J. Assoc. Inf. Sci. Technol.*, vol. 67, no. 4, pp. 967–972, 2016, doi: 10.1002/asi.23437.
- [46] S. A. Morris and B. Van Der Veer Martens, "Mapping research specialties," *Annu. Rev. Inf. Sci. Technol.*, vol. 42, pp. 213–295, 2008, doi: 10.1002/aris.2008.1440420113.

- [47] N. J. Van Eck and L. Waltman, "VOSviewer Manual: Manual for VOSviewer version 1.6.7," Univeriteit Leiden, no. February, p. 51, 2018.
- [48] I. C. on N.-I. R. Protection, "ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic," 1999.
- [49] S. Aerts et al., "Exposure assessment of mobile phone base station radiation in an outdoor environment using sequential surrogate modeling," *Bioelectromagnetics*, vol. 34, no. 4, pp. 300–311, 2013, doi: 10.1002/bem.21764.
- [50] P. Baltre and R. Buckus, "Measurements and analysis of the electromagnetic fields of mobile communication antennas," *Measurement*, vol. 46, pp. 3942–3949, 2013, doi: 10.1016/j.measurement.2013.08.008.
- [51] T. Wu et al., "A large-scale measurement of electromagnetic fields near GSM base stations in Guangxi, China for risk communication," *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 155, no. 1, pp. 25–31, 2013, doi: 10.1093/rpd/ncs309.
- [52] D. Urbinello, W. Joseph, L. Verloock, L. Martens, and M. Rössli, "Temporal trends of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure in everyday environments across European cities," *Environ. Res.*, vol. 134, pp. 134–142, 2014, doi: 10.1016/j.envres.2014.07.003.
- [53] P. Bienkowski and B. Zubrzak, "Electromagnetic fields from mobile phone base station - Variability analysis," *Electromagn. Biol. Med.*, vol. 34, no. 3, pp. 257–261, 2015, doi: 10.3109/15368378.2015.1076441.
- [54] [54] W. Joseph, S. Aerts, M. Vandenbossche, A. Thielens, and L. Martens, "Drone based measurement system for radiofrequency exposure assessment," *Bioelectromagnetics*, vol. 37, no. 3, pp. 195–199, 2016, doi: 10.1002/bem.21964.
- [55] B. Tuysuz and Y. Mahmutoglu, "Measurement and mapping of the GSM-based electromagnetic pollution in the Black Sea region of Turkey," *Electromagn. Biol. Med.*, vol. 36, no. 2, pp. 132–140, 2017, doi: 10.1080/15368378.2016.1198801.
- [56] M. Cansiz, T. Abbasov, M. B. Kurt, and A. R. Celik, "Mapping of radio frequency electromagnetic field exposure levels in outdoor environment and comparing with reference levels for general public health," *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, vol. 28, no. 2, pp. 161–165, 2018, doi: 10.1038/jes.2016.64.
- [57] R. Sánchez-Montero, C. Alén-Cordero, P. L. López-Espí, J. M. Rigelsford, F. Aguilera-Benavente, and J. Alpuente-Hermosilla, "Long term variations measurement of electromagnetic field exposures in Alcalá de Henares (Spain)," *Sci. Total Environ.*, vol. 598, pp. 657–668, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.131.

- [58] K. Boz and H. H. Denli, "Spatial electromagnetic field intensity modelling of global system for mobile communication base stations in the Istanbul Technical University Ayazaga campus area," *Geospat. Health*, vol. 13, no. 1, pp. 28–34, 2018, doi: 10.4081/gh.2018.527.
- [59] J. Liu, M. Wei, H. Li, X. Wang, X. Wang, and S. Shi, "Measurement and mapping of the electromagnetic radiation in the urban environment," *Electromagn. Biol. Med.*, vol. 39, no. 1, pp. 38–43, 2020, doi: 10.1080/15368378.2019.1685540.
- [60] V. Henao-Céspedes, L. F. Díaz Cadavid, and Y. A. Garcés-Gómez, "Electromagnetic pollution maps as a resource for assessing the risk of emissions from mobile communications antennas," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 4244–4251, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i4.pp4244-4251.
- [61] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Decreto 1370 De 2018, vol. 2018, no. 50. Colombia, 2018, p. 121.
- [62] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Decreto 1078 de 2015. Colombia, 2015.
- [63] UIT-T, K.52 Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos., vol. 52. 2000.
- [64] Organización Mundial de la Salud, "Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles," 2014. .
- [65] IEEE, IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, vol. 2005, no. April. 2006.
- [66] Corte Constitucional República de Colombia, "Sentencia T-360/10." 2010.
- [67] Corte Constitucional República de Colombia, "Sentencia T-701/14." Bogotá, 2014.
- [68] Corte Constitucional República de Colombia, "Sentencia T-1062-01." Bogotá, 2001.
- [69] Corte Constitucional República de Colombia, "Sentencia T-299-08." Bogotá, 2008.
- [70] Corte Constitucional República de Colombia, "Sentencia T-332-11." Bogotá, 2011.
- [71] Corte Constitucional República de Colombia, "Sentencia T-517-11." Bogotá, 2011.
- [72] Corte Constitucional República de Colombia, "Sentencia T-1077/12." 2012.
- [73] Corte Constitucional República de Colombia, "Sentencia T-397_14." 2014.
- [74] Civ. No. 18-1209 KG/JHR, "Santa Fe alliance for public health and safety." Santa Fe, 2020.
- [75] El Espectador, "Corte ordenó desmonte de antena de telefonía celular por estar cerca de casa de paciente con cáncer," 2015. .

- [76] Radio Santa Fe, "Trascendental fallo de Corte Constitucional sobre antenas de telefonía celular," 2013. .
- [77] El Espectador, "Por vivir cerca de una antena, dicen ver hasta pequeños rayos," 2020. .
- [78] Defensoría del Pueblo Ciudad Autónoma de Buenos Aires, "Las antenas de telefonía celular y los posibles riesgos que sus radiaciones conllevan para la salud humana: Informe de la defensoría," 2016. .
- [79] Chicago Tribune, "We tested popular cellphones for radiofrequency radiation. Now the FCC is investigating," 2019. .
- [80] RT, "Demandan a Apple y Samsung por el 'riesgo de cáncer' debido a la radiación de sus teléfonos," 2019. .
- [81] Piensa Chile, "Científicos y médicos advierten de posibles efectos graves en la salud de las redes 5G," 2019. .
- [82] Medical News today, "Is 5G technology bad for our health?" .
- [83] International Agency for Research on Cancer (IARC), "IARC's Mission: Cancer research for cancer prevention." .
- [84] World Health Organization, "Electromagnetic fields (EMF)," 2018. .
- [85] A. Di Ciaula, "Towards 5G communication systems: Are there health implications?," *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 221, no. 3, pp. 367–375, 2018, doi: 10.1016/j.ijheh.2018.01.011.
- [86] S. S. Durduran, O. Uygunol, and L. Seyfi, "Mapping of electromagnetic pollution at 1800 MHz GSM (global system for mobile communication) frequency in Konya," *Sci. Res. essays*, vol. 5, no. September, pp. 2664–2672, 2010.
- [87] Ç. Kurnaz, "An empirical modeling of electromagnetic pollution on a university campus," *ACES*, vol. 33, no. 1, pp. 111–114, 2018.
- [88] Ş. Ç. Yener, O. Çerezci, and Ş. S. Şeker, "Determination of the electromagnetic pollution in local school indoor and outdoor environments," *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 17, no. 2, pp. 3509–3515, 2017.
- [89] Ö. Genc, M. Bayrak, and E. Yaldiz, "Analysis of the effects of GSM bands to the electromagnetic pollution in the RF spectrum," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 101, pp. 17–32, 2010, doi: 10.2528/PIER09111004.
- [90] International Commission on Non - Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for limiting exposure to time - varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *Health Phys.*, 1999.
- [91] Alcaldía de Manizales, "Boletín Estadístico," Manizales, 2017.

- [92] S. Narda Safety Test, "NBM 550." <https://www.narda-sts.com/de/produkte/breitband-emf/nbm-550/>.
- [93] Decreto límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos. 2005.
- [94] L. Tortosa Grau and J. F. Vicent Frances, Geometría Moderna para Ingeniería. Editorial club universitario, 2012.
- [95] QGIS, "A Gentle Introduction to GIS," 2020. .
- [96] N. Parviz Ghojogh, A. Anuar, and Z. Irina Safitri, "Assessment of the interpolation techniques on traffic noise pollution mapping for the campus environment sustainability," *Int. J. Built Environ. Sustain.*, vol. 6, no. 1, pp. 147–159, 2019, doi: 10.11113/ijbes.v6.n1-2.393.
- [97] V. Trainotti; W. G. Fano ; L. A. Dorado, Ingeniería electromagnética: polarización, reflexión de ondas, radiación electromagnética, sistemas radiantes lineales. Vol. 2. Buenos Aires: Nueva Librería, 2005.

Anexos

Cortina de datos bibliométricos

La base de datos para el desarrollo del análisis bibliométrico fue obtenida de WoS a principios del año 2020 (ver capítulo 2). Los siguientes son los datos de descarga:

Vínculo: <https://mega.nz/file/WVYlhS6K>

Clave de cifrado: Q_oDFVyBtcAH2vRzbf10e_j2mHdrQARVaEw_LXf8LKY

Base de datos de mediciones de RNI

En la siguiente tabla se relacionan los valores medidos en los puntos de la ciudad de Manizales donde se ha encontrado mayor número de antenas de telefonía móvil agrupadas y el nivel de COEM encontrado en cada punto con la metodología propuesta.

Tabla 13. Niveles de S, H, E en puntos estratégicos de la ciudad de Manizales para el estudio de caso

	Latitud	Longitud	f (MHz)	W/m^2	V/m	A/m
	5,06348	-75,52521	1900	0,0012	0,6613	0,0018
			850	0,0012	0,6726	0,0018
			2400	0,0025	0,9708	0,0026
				0,0049	1,3536	0,0036
Nivel COEM						
	5,06174	-75,52443	1900	0,0015	0,7637	0,0020
			2400	0,0009	0,5889	0,0016
			850	0,0013	0,7001	0,0019
				0,0038	1,1917	0,0032
Nivel COEM						
	5,07082	-75,53015	1900	0,0004	0,4026	0,0011
			850	0,0005	0,4385	0,0012
			2400	0,0030	1,0635	0,0028
				0,0039	1,2187	0,0032
Nivel COEM						
	5,0663	-75,50196	1900	0,0030	1,0635	0,0028
			850	0,0010	0,6062	0,0016
			2400	0,0011	0,6440	0,0017
				0,0051	1,3832	0,0037
Nivel COEM						
	5,06845	-75,51293	1900	0,0009	0,5753	0,0015
			850	0,0021	0,8838	0,0023
				0,0029	1,0546	0,0028
Nivel COEM						

	Latitud	Longitud	f (MHz)	$\overline{W/m^2}$	$\overline{V/m}$	$\overline{A/m}$
	5,066982	-75,518902	1900	0,0018	0,8238	0,0022
			2400	0,0011	0,6440	0,0017
			850	0,0005	0,4342	0,0012
Nivel COEM				0,0034	1,1322	0,0030
	5,066955	-75,518923	1900	0,0050	1,3730	0,0036
			850	0,0004	0,3883	0,0010
Nivel COEM				0,0054	1,4268	0,0038
	5,06789	-75,5172	1900	0,0022	0,9107	0,0024
			850	0,0040	1,2280	0,0033
			2400	0,0015	0,7520	0,0020
Nivel COEM				0,0077	1,7038	0,0045
	5,06612	-75,50622	1900	0,0020	0,8683	0,0023
			850	0,0020	0,8683	0,0023
			2400	0,0023	0,9312	0,0025
Nivel COEM				0,0040	1,2280	0,0033
	5,0649	-75,50026	1900	0,0100	1,9416	0,0052
			850	0,0140	2,2974	0,0061
			2400	0,0100	1,9416	0,0052
Nivel COEM				0,0340	3,5802	0,0095
	5,064127	-75,4984	1900	0,0006	0,4756	0,0013
			850	0,0100	1,9416	0,0052
			2400	0,0004	0,3883	0,0010
Nivel COEM				0,0110	2,0364	0,0054
	5,06218	-75,49477	1900	0,0041	1,2433	0,0033
			850	0,0010	0,6140	0,0016
			2400	0,0004	0,3883	0,0010
Nivel COEM				0,0055	1,4400	0,0038

	Latitud	Longitud	f (MHz)	W/m ²	V/m	A/m
	5,06472	-75,50775	1900	0,0073	1,6589	0,0044
			850	0,0006	0,4756	0,0013
			2400	0,0054	1,4268	0,0038
Nivel COEM				0,0133	2,2392	0,0059
	5,05818	-75,48681	1900	0,0043	1,2732	0,0034
			2400	0,0017	0,8006	0,0021
			850	0,0014	0,7265	0,0019
Nivel COEM				0,0074	1,6703	0,0044
	5,067327	-75,511511	1900	0,0007	0,4950	0,0013
	5,05076	-75,48385	1900	0,0060	1,5040	0,0040
			850	0,0040	1,2280	0,0033
			2400	0,0030	1,0635	0,0028
Nivel COEM				0,0130	2,2138	0,0059
	5,045969	-75,494363	1900	0,0300	3,3630	0,0089
			850	0,0100	1,9416	0,0052
Nivel COEM				0,0400	3,8833	0,0103
	5,05644	-75,48659	2400	0,0077	1,7038	0,0045
			1900	0,0072	1,6475	0,0044
			850	0,0078	1,7148	0,0045
Nivel COEM				0,0407	3,9171	0,0104
	5,07605	-75,52849	850	0,0021	0,8898	0,0024
			2400	0,0028	1,0274	0,0027
			1900	0,0041	1,2433	0,0033
Nivel COEM				0,0090	1,8420	0,0049

	Latitud	Longitud	f (MHz)	W/m^2	V/m	A/m
	5,07441	-75,52734	850	0,0036	1,1650	0,0031
			2400	0,0040	1,2280	0,0033
			1900	0,0037	1,1811	0,0031
Nivel COEM				0,0113	2,0640	0,0055
	5,06083	-75,47414	850	0,0008	0,5492	0,0015
			1900	0,0005	0,4342	0,0012
			2400	0,0011	0,6440	0,0017
Nivel COEM				0,0024	0,9512	0,0025
	5,06073	-75,48784	850	0,0120	2,1270	0,0056
			1900	0,0100	1,9416	0,0052
			2400	0,0170	2,5316	0,0067
Nivel COEM				0,0390	3,8344	0,0102
	5,03306	-75,45624	850	0,0015	0,7520	0,0020
			1900	0,0018	0,8238	0,0022
			2400	0,0019	0,8463	0,0022
Nivel COEM				0,0052	1,4001	0,0037
	5,03203	-75,46033	850	0,0041	1,2433	0,0033
			1900	0,0041	1,2433	0,0033
			2400	0,0047	1,3311	0,0035
Nivel COEM				0,0129	2,2053	0,0058
	5,047996	-75,47753	1900	0,0010	0,6140	0,0016
			850	0,0005	0,4342	0,0012
			2400	0,0011	0,6440	0,0017
Nivel COEM				0,0026	0,9901	0,0026

Contaminación electromagnética emitida por estaciones base de telecomunicaciones (3G, 4G y 5G): **propuesta metodológica para la generación de mapas de exposición**

En este libro se presentan los resultados de un proceso de investigación adelantado en relación con el tema de la contaminación electromagnética. Este tema ha ganado relevancia en los últimos años, más aún con el auge y proliferación de diferentes tecnologías de comunicación. Dado lo anterior, se ha despertado, en parte de la población, el interés por conocer cómo estas tecnologías pueden afectar el medio ambiente y posiblemente generar problemas de salud. Es por lo anterior que en este libro resultado de investigación se realiza una bibliometría para exponer al lector diferentes estudios sobre la contaminación electromagnética y sus posibles efectos sobre la salud, así como también las diferentes normatividades, fallos, sentencias y noticias a nivel nacional e internacional sobre el tema en cuestión. Finalmente se presenta una metodología para medir la contaminación electromagnética en áreas urbanas, y se valida con un caso de estudio en la ciudad de Manizales, Colombia.

www.ucm.edu.co · (60) 6 8933050

ce centro
editorial
Universidad Católica de Manizales

